Optimización de procesos y equipos utilizados en el tratamiento de agua para consumo humano en el municipio de Calamar Guaviare.

Oswaldo Amado Ariza – 20152181221

Universidad distrital Francisco José de Caldas

Facultad de medio ambiente y recursos naturales

Ingeniería Sanitaria

Bogotá D.C 2022

Optimización de procesos y equipos utilizados en el tratamiento de agua para consumo humano en el municipio de Calamar Guaviare.

Oswaldo Amado Ariza – 20152181221

Modalidad de grado: Pasantía

“Proyecto de grado presentado para optar por el título de Ingeniero Sanitario”

Gabriel Ernesto Escobar

Director interno - Docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Carlos Alexander Sogamoso

Director Externo - Asesor

Alcaldía Municipal Calamar Guaviare – Unidad de servicios públicos USP

Universidad distrital Francisco José de Caldas

Facultad de medio ambiente y recursos naturales

Ingeniería Sanitaria

Bogotá D.C 2022

Contenido

Resumen ... 5
Introducción ... 7
Pregunta de investigación ... 7
Objetivos ... 8
Objetivo general ... 8
Objetivos específicos ... 8
Marco Teórico ... 8
Marco normativo ... 15
Metodología ... 17
Resultados ... 18
Diagnóstico de la planta ... 18
- ***Información general*** ... 18
Evaluación ... 26
Generalidades de la planta de tratamiento de agua potable ... 26
Evaluación física ... 27
Cumplimiento normativo ... 54
Soluciones y alternativas ... 70
Conclusiones ... 74
Recomendaciones ... 75
Bibliografía ... 76

Ilustración 1: Entrada principal PTAP; Fuente: Propia ... 18
Ilustración 2: Fachada principal PTAP; Fuente: Propia ... 18
Ilustración 3: Ubicación PTAP; Fuente: Google Earth ... 19
Ilustración 4: Ubicación componentes sistema acueducto; Fuente: Google Earth ... 20
Ilustración 5: Captación; Fuente: Propia ... 21
Ilustración 6: Medición caudal entrada; Fuente: Propia ... 21
Ilustración 7: Torre aireación; Fuente: Propia ... 22
Ilustración 8: Canaleta Parshall; Fuente: Propia ... 23
Ilustración 9: Floculador flujo vertical; Fuente: Propia ... 23
Ilustración 10: Floculador flujo vertical; Fuente: Propia ... 23
Ilustración 11: Sedimentador; Fuente: Propia ... 24
Ilustración 12: Filtro 1; Fuente: Propia ... 24
Ilustración 13: Aplicación de cloro; Fuente: Propia ... 25
Ilustración 14: Tanque 2 elevado PTAP; Fuente: Propia ... 25
Ilustración 15: Tanque 1 Subterráneo; Fuente: Propia ... 25

Ilustración 16: Impulsión a tanques elevados; Fuente: Propia 26
Ilustración 17: Medidor de salida; Fuente: Propia 26
Ilustración 18: Sistema convencional; Fuente: RAS 2000, título C 27
Ilustración 19: Bocatoma; Fuente: Propia 28
Ilustración 20: Barcaza; Fuente: Propia 29
Ilustración 21: Sulfato de aluminio tipo A; Fuente: Propia 29
Ilustración 22: Ficha técnica del sulfato de aluminio; Fuente: propia 29
Ilustración 23: Dosificadora de sulfatos; Fuente: Propia 30
Ilustración 24: Reparación dosificadora; Fuente: Propia 31
Ilustración 25: Almacenamiento de Soda sin señalización; Fuente: Propia 32
Ilustración 26: Almacenamiento sulfato; Fuente: Propia 32
Ilustración 27: Almacén; Fuente: Propia 32
Ilustración 28: Componentes canal Parshall; Fuente: Hidráulica II 33
Ilustración 29: Canaleta Parshall; Fuente: Tratamiento agua residual 34
Ilustración 30: Vista en planta floculador vertical; Fuente: Diseño de plantas 37
Ilustración 31: Corte A-A floculador; Fuente: Diseño de plantas 37
Ilustración 32:Comparador tamaño del floc; Fuente: Water Research Assooociation. 37
Ilustración 33: Índice de floculación de Willcomb 38
Ilustración 34: Dos unidades floculadores; Fuente: Propia 39
Ilustración 35: Barandas de seguridad; Fuente: Propia 40
Ilustración 36: Escalera de acceso; Fuente: Propia 40
Ilustración 37: Estado de los paneles; Fuente: Propia 42
Ilustración 38: Canales de recolección de agua; Fuente: Propia 42
Ilustración 39: Tanque almacenamiento dilución cloro; Fuente: Propia 47
Ilustración 40: Cobertura acueducto; Fuente: Propia 48
Ilustración 41: Equipos laboratorio 50
Ilustración 42: Panel de control 50
Ilustración 43: Oficina ubicada en la Planta; Fuente: Propia 51
Ilustración 44: Zona de descanso; Fuente: Propia 52
Ilustración 45: Zonas verdes de descanso; Fuente: Propias 52
Ilustración 46: Kit primeros auxilios; Fuente: Propia 53
Ilustración 47: Baño para operario, ubicado en el laboratorio; Fuente: Propia 53
Ilustración 48: Punto ecológico y desinfección; Fuente: Propia 53
Ilustración 49: EPP; Fuente: Propia 53
Ilustración 50: Distribución puntos de muestreo; Fuente: Google Earth 54
Ilustración 51: Punto 1 55
Ilustración 52: Punto 2 55
Ilustración 53: Punto 4 55
Ilustración 54: Punto 3 55
Ilustración 55: Formato datos ensayo de jarras; Fuente: Propia 57
Ilustración 56: Medición en laboratorio; Fuente: Propia 57
Ilustración 57: Formato control parámetros dentro de la PTAP; Fuente: Propia 58
Ilustración 58: Formato registro afluente; Fuente: Propia 58
Ilustración 59: Medición parámetros; Fuente: Propia 61

Ilustración 60: Medición parámetros; Fuente: Propia 61
Ilustración 61: Resultados laboratorio; Fuente: Alfampar S.A.S. 63
Ilustración 62: Toma muestra punto comercial; Fuente: Propia 69
Ilustración 63: Capacitación USP; Fuente: Propia 70
Ilustración 64: Capacitación USP; Fuente: Propia 70

Tabla 1: Limites de caudales por ancho de garganta; Fuente: Tratamiento de agua residuales..... 34
Tabla 2: Dimensionamiento canaleta Parshall; Fuente: Tratamiento agua residual 35
Tabla 3: Datos obtenidos en planta; Fuente: propia 35
Tabla 4: Datos filtración; Fuente: Propia 44
Tabla 5: Tanques almacenamiento retro lavado; fuente: Propia 45
Tabla 6: Dosificadora de cloro en mal estado; Fuente: Propia 46
Tabla 7: Tanque de almacenamiento dilución cloro; Fuente: Propia 46
Tabla 8: Formato medición parámetros; Fuente: Propia..... 59
Tabla 9: Formato parámetros medidos; Fuente: Propia..... 61

Resumen

El agua potable o agua para consumo humano se define como aquella que posee características físicas, químicas y microbiológicas aptas para consumo humano, dicho en otras palabras, es aquella que al ser consumida por el ser humano no altera su estado de su salud; para que un volumen de agua sea potable debe ser sometida a un riguroso tratamiento denominado potabilización, y este proceso depende y variara según las características iniciales del agua y cuáles son las características y concentraciones de sustancias que esta debe poseer según la normatividad vigente. En Colombia, existen diferentes normas que aplican al sector de agua potable, que dictan desde las características de las estructuras donde se trata el agua, hasta los parámetros y valores que se debe cumplir en cada uno de ellos; es por esto, que mediante el desarrollo de un diagnóstico general de operación a la planta de tratamiento de agua potable (PTAP) San Francisco de Asís, ubicada en el municipio de Calamar, en el departamento del Guaviare, se pretende evidenciar el estado actual de la planta y procesos aplicados en el lugar, además, teniendo en cuenta lo exigido en la normatividad colombiana, como es el caso de la resolución 2115 de 2007, se realizaran seguimientos y análisis al agua procesada para evaluar si esta planta cumple o no con los lineamientos establecidos en los instrumentos evaluativos para garantizar la calidad del agua, como lo son el IRCA (Índice de Riesgo de Calidad del Agua) y el IRABAm (Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua), los cuales mediante puntajes numéricos nos dan como resultado si la planta presenta o no

un riesgo a la salud humana teniendo en cuenta las características del agua, algunas características de la planta y la continuidad del servicio. Por último, realizado el diagnóstico y análisis general de la planta, se presentarán dichos resultados a la unidad de servicios junto con algunas soluciones propuestas a las diferentes deficiencias y/o falencias en la planta, con el objetivo de mejor la calidad del servicio y optimizar la operación de la planta en general.

Abstract

Drinking water or water for human consumption is defined as that which has physical, chemical and microbiological characteristics suitable for human consumption, in other words, it is that which, when consumed by human beings, does not alter their state of health; For a volume of water to be drinkable, it must be subjected to a rigorous treatment called potabilization, and this process depends on and will vary according to the initial characteristics of the water and what are the characteristics and concentrations of substances that it must have according to current regulations. In Colombia , there are different standards that apply to the drinking water sector, which dictate from the characteristics of the structures where the water is treated, to the parameters and values that must be met in each of them; This is why, through the development of a general diagnosis of the operation of the San Francisco de Asís drinking water treatment plant (PTAP), located in the municipality of Calamar, in the department of Guaviare, it is intended to show the current state of the plant and processes applied in the place, in addition, taking into account what is required in Colombian regulations, as is the case of resolution 2115 of 2007, monitoring and analysis of the processed water will be carried out to assess whether or not this plant complies with the guidelines established in the evaluation instruments to guarantee water quality, such as the IRCA (Water Quality Risk Index) and the IRABAm (Municipal Water Supply Risk Index), which through numerical scores give us as a result whether or not the plant presents a risk to human health, taking into account the characteristics of the water, some characteristics of the plant and the continuity of the service. Finally, once the general diagnosis and analysis of the plant has been carried out, these results will be presented to the services unit along with some proposed solutions to the different deficiencies and/or shortcomings in the plant, with the aim of improving the quality of the service and optimizing the operation of the plant in general.

Introducción

En Colombia, según cifras del ministerio de vivienda para mediados del año 2021, el 93% de los colombianos ya contaban con acceso al servicio de agua potable, un equivalente aproximado a 45,5 millones de personas, cifra que pronostican en aumento debido a los diferentes proyectos y planes a corto, mediano y largo plazo.

En el municipio de Calamar, la cobertura del sistema de acueducto, es tal que no supera el 50% en zona urbana, mientras por zonas rurales, la administración no logra suplir esta necesidad a ningún usuario, siendo este un problema crucial al que se enfrenta la administración de turno y lo han hecho las administraciones pasadas sin ningún resultado positivo evidente; sumado al tema de cobertura, hay otros problemas los cuales han venido afectando el sistema y disminuyendo su calidad, dentro de ellos, encontramos la continuidad del servicio que por el momento no se extiende a más de 4 horas diarias de servicio. El estado de algunas estructuras de la planta, debido a su tiempo de operación o calidad de materiales de construcción algunas unidades o zonas de la presentan fallas o desgaste; por último, se suma el aumento evidente de la población local, dejando en evidencia que la planta se está quedando obsoleta en cuanto a demanda del servicio. Por esta razón, el pasante de ingeniera sanitaria se encargara de un respectivo diagnóstico y análisis del estado de la planta, por medio de observaciones, seguimientos y evaluaciones presentara a la unidad de servicios las falencias y fallas que posee la planta en cuanto a procesos y estructuras, así como también posibles soluciones a estos hallazgos, para que desde la administración aporten los recursos necesarios para realizar los cambios y mejoras que consideren pertinentes, esto con el objetivo de mejorar tanto la calidad del agua tratada en la planta, la cobertura y la continuidad del servicio, arrojando de manera general una optimización en la prestación del servicio.

Pregunta de investigación

¿Se logrará la optimización de los procesos y equipos utilizados en el tratamiento de agua para consumo humano en el municipio de Calamar Guaviare con el apoyo del pasante de ingeniería sanitaria asignado para tal fin?

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar una propuesta al mejoramiento de las problemáticas halladas en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) San Francisco de Asís, tomando como referencia los diferentes criterios técnicos y normativos.

Objetivos específicos

- Desarrollar un diagnóstico que permita la identificación de falencias técnicas y operativas que se presenten en los diferentes procesos de la PTAP en el municipio de Calamar Guaviare.
- Realizar controles y análisis periódicos de los parámetros y características del agua antes y después de su proceso de tratamiento en la PTAP y evaluarlos frente a los exigidos por la normatividad colombiana.
- Ejecutar una supervisión de la PTAP identificando el estado actual y criterios de diseño de las estructuras que se encuentran en la planta.
- Realizar informes de los respectivos resultados, análisis y actividades desarrolladas

Marco Teórico

El agua es una de las sustancias más importantes en el planeta, conocida por los muchos beneficios y características específicas que le otorgan una gran necesidad para muchos procesos físicos, químicos y biológicos que gobiernan el medio natural, además es indispensable en cada uno de ellos.

Químicamente el agua se define como una sustancia cuya molécula está compuesta por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno (IDEAM, 2017) Además, posee otras características químicas que la hacen única y muy versátil, como por ejemplo, la molécula posee una carga eléctrica positiva por uno de sus lados y una carga negativa por el otro, siendo causante esta característica de que haya unión entre distintas moléculas de agua, también estas moléculas poseen un carácter dipolar, traduciéndose esto en una orientación entre partículas con características similares (polares o iónicas), sumado a estas dos, el agua por su capacidad de disolver otras sustancias, aparece o suele presentarse rica en otros minerales de mucha importancia en diferentes campos, además esta capacidad permite la fácil reacción con óxidos ácidos, básicos, con los metales y con sales

dando como resultados los hidratos, por último, una muy importante es su valor de pH (potencia de hidrogeno), el cual, en su estado natural puro, es neutro, oscilando en un valor de 7 unidades.

Por otro lado, las características físicas del agua también son muy específicas y especiales, dentro de ellas encontramos una gran variedad, de las cuales podemos rescatar y destacar su densidad en estado líquido y puro (1 g/cm^3), su constante dieléctrica la cual permite la disolución de sales inorgánicas y que estas transporten electricidad con facilidad, tensión superficial elevada y su calor (tanto especifico como de vaporización) elevados, permitiendo así liberar calor y absorber calor con facilidad. (Valencia, 1992)

Por esto, el agua es usada en la mayoría de los procesos antrópicos, tanto para sobrevivir como para lograr el avance en muchos de los aspectos en que el hombre quiere progresar, siendo este, uno de los problemas más críticos y nocivos a los que nos enfrentamos en la actualidad, debido a que luego de que el agua sea utiliza en cualquier actividad, se alteran estas características naturales del agua, tanto físicas como químicas, volviéndose en la mayoría de casos, dañina para la salud humana.

Una solución que se ha presentado en el transcurso de la historia de la humanidad para disminuir o mitigar esta problemática, es someter el agua a distintos procesos físicos, químicos y biológicos, con el objetivo de disminuir esas alteraciones o cambios en algunas de sus características (carga contaminante), bien sea para usarla en alguna actividad (industrial, comercial, consumo, etc.) o para darle su destino final luego de ser utilizada (vertimiento).

A pesar que el agua llega a cubrir un 71% de la superficie terrestre, su mayor parte, está en los océanos o se encuentra congelada, siendo estos impedimentos para el humano utilizar este recurso en la mayoría de las actividades, incluida la más indispensable, el consumo; por esta razón, se puede afirmar que menos del 1% (0,4% aproximadamente) del agua de la tierra, está disponible y al alcance de los seres humanos (OMS, 2006), la cual está distribuida en lagos, ríos, embalses, atmosfera, etc. Motivo por el cual, al referirse al agua para el consumo humano, se debe tomar ciertas características físicas como químicas, las cuales no afecten la salud del consumidor y por esta razón, es necesario someter el agua destinada a este fin a ciertos procedimientos, buscando disminuir o eliminar ciertos parámetros.

A este procedimiento, se le conoce como potabilización del agua, que técnicamente, se define como sometimiento del agua a procesos, los cuales tienen por objetivo cambiar sus características físicas, químicas y microbiológicas con el fin de hacerla apta para el consumo humano, en pocas palabras, lo que se busca

es tratar el agua, tal que, pueda ser consumida por el ser humano sin verse afectado o alterado su estado de salud. (OMS, Organización Mundial de la Salud, 2006)

Datos interesantes que se presentan en este aspecto, que 2.200 millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de forma segura (OMS, Organización Mundial de la Salud, 2019). Además, se tiene calculado que 297.000 niños menores de 5 años mueren anualmente por enfermedades diarreicas, ocasionadas por el consumo de agua en mal estado o malas condiciones sanitarias (OMS, 2019). Por último, es importante recalcar, que, según la UNESCO, en 2017 cerca del 80% de las aguas residuales regresaban al ecosistema sin ningún tipo de tratamiento antes de verterse (UNESCO, 2020). Todo esto conlleva, a que los gobiernos a nivel nacional e internacional se propongan metas y retos, que logren avanzar en el aspecto de saneamiento y con ello lograr disminuir el nivel de morbilidad y mortalidad (OMS, Organización Mundial de la Salud, 2006), por otro lado, también se busca disminuir la contaminación ambiental, principalmente a fuentes hídricas y la protección de los recursos naturales no renovables. Un ejemplo de estas metas es la propuesta por el gobierno nacional de Colombia, el cual, para el año 2030 en temas de agua limpia y saneamiento, fijó como meta que 47 millones de personas en el país, tengan acceso a soluciones adecuadas de agua potable; además, se propuso que para el año 2022, un poco más de 8,5 millones de personas contaran con acceso a agua potable, además evacuación y manejo de aguas residuales (DNP, 2021).

En Colombia, el tratamiento de agua para el consumo humano se realiza por medio de estructuras llamadas Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) que se definen como “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, Minvivienda, 2000). Las cuales realizan diferentes tratamientos dependiendo del nivel de carga contaminante que se desee tratar, partiendo desde un simple cribado acompañado de una cloración, hasta procesos mucho más avanzados mediante el uso de agentes químicos, organismos biológicos o avances tecnológicos.

A pesar de que existen diferentes tipos de plantas, las cuales realizan procesos y tratamientos diferentes y específicos, el uso de ellas básicamente va de la mano con las características del agua y la necesidad de parámetros a remover o modificar; en Colombia, el tipo de planta más utilizado es el convencional, la cual, se caracteriza por manejar tratamientos físicos, en donde se eliminan turbiedad, color, olor y sabor; tratamientos químicos donde se reducen la presencia de agentes químicos contaminantes (hierro, manganeso, flúor, arsénico, etc.); y

tratamiento bacteriológico, que es la finalización del tratamiento por medio del cloro (Rojas, Potabilización del agua, 2003).

Los procesos que conforman un sistema convencional de potabilización del agua son: captación del agua, remoción de material flotante y sólidos gruesos mediante rejillas, pretratamiento, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, estabilización y distribución del agua al sistema de redes de acueducto.

Teniendo en cuenta la Ilustración 2 donde se puede evidenciar los procesos de un tratamiento convencional y el orden en que se realizan estos en una planta, partiendo del punto de captación o toma del agua de una fuente hídrica, bien sea superficial o subterránea, se explicara cada uno de los procesos y la estructuras donde se realizan:

1. Fuente: Todas las aguas provenientes de cursos o cuerpos superficiales o subterráneos, que pueden variar sus características dependiendo del lugar, clima y hora, variando consigo la necesidad de aplicar algunos procesos o variar su intensidad y duración de tratamiento. (RAS, 2000).

- Captación: Conjunto de estructuras necesarias para obtener el agua de una fuente de abastecimiento (RAS, 2000).

- Bocatoma: Estructura hidráulica que capta el agua desde una fuente superficial y la conduce al sistema de acueducto (RAS, 2000).

2. Rejillas: Dispositivo instalado en una captación para impedir el paso de elementos flotantes o sólidos grandes. (RAS, 2000).

3. Pretratamiento: Procesos destinados a la remoción y eliminación de materiales suspendidos y sedimentables que hayan superado el proceso de rejillas o cribado. (RAS, 2000)

- Desarenadores: Destinados a la remoción de las arenas y sólidos que están en suspensión en el agua, mediante un proceso de sedimentación (RAS, 2000)

- Presedimentadores: Tanques o embalses para retención de sólidos suspendidos presentes en el agua de forma continua o intermitente (RAS, 2000).

4. Coagulación: Proceso que se realiza con el fin de remover las sustancias en suspensión, en forma coloidal o en solución en el agua cruda, mediante la adición al agua de coagulantes o auxiliares de coagulación que permitan aglutinarlas y formar flocs de forma que puedan luego ser removidas del agua (RAS, 2000).

- Coagulantes: Sustancias químicas que inducen el aglutinamiento de las partículas muy finas, ocasionando la formación de partículas más grandes y

pesadas (RAS, 2000). El número de coagulantes es muy amplio, ya que día a día se investiga más en el tema, buscando una mayor efectividad en menos tiempo y que tenga un costo económico y repercusiones en la salud bajas, es por ello por lo que el sulfato de aluminio es el más utilizado, debido a su amplia efectividad, velocidad y su bajo costo, clasificado dentro del grupo de los coagulantes metálicos y dejando a un lado y con menos uso los polímeros inorgánicos y los orgánicos.

5. Floculación: Aglutinación de partículas inducida por una agitación lenta de la suspensión coagulada.

• Floculantes hidráulicos: Utilizan el cambio de dirección de flujo del agua, inducido por diferentes mecanismos, para producir la turbulencia necesaria para promover la formación del floc y derivan su energía de la carga de velocidad que el líquido adquiere en su tránsito por un conducto; existen los siguientes floculadores hidráulicos: Flujo horizontal; flujo vertical; floculador Alabama; flujo helicoidal; floculador de lechos porosos (RAS, 2000).

• Floculadores mecánicos: son aquellos que requieren de un equipo electromecánico para mover un agitador de paletas o álabes (RAS, 2000). Dentro de los floculadores mecánicos tenemos los giratorios (agitación producida por un giro de paletas alrededor de un eje horizontal o vertical), los de turbina (la agitación se produce mediante grupos de álabes o turbinas dispuestos a lo largo de un eje horizontal que se instalan en tanques alargados y pueden comunicar un movimiento de rotación a la masa de agua a diferentes velocidades) y los reciprocantes (donde la agitación se produce por desplazamiento vertical hacia arriba y abajo de unas parrillas dentro del agua). (RAS, 2000)

• Floculadores hidromecánicos: Los floculadores hidromecánicos utilizan la energía hidráulica a la entrada del floculador para mover una turbina de impulso similar a la rueda o turbina Pelton la cual puede girar con baja cabeza hidráulica. Esta rueda trasmite su movimiento de rotación a su eje el cual va colocado en posición horizontal, y este a su vez a través de poleas y correas de poliuretano, trasmiten su movimiento rotatorio a un agitador de paletas similar al de los floculadores rotatorios convencionales de flujo horizontal. (RAS, 2000)

6. Sedimentación: Proceso en el cual los sólidos suspendidos en el agua se decantan por gravedad; los sedimentadores deben estar compuestos por 4 zonas, zona de entrada, zona de sedimentación, zona de salida y zona de recolección de lodos. Importante tener en cuenta a la hora de realizar el diseño, implementar dos unidades de sedimentadores con las mismas capacidades, con el objetivo de realizar mantenimiento y limpieza intercaladamente y que no se saturen. (RAS, 2000)

7. Filtración: Proceso mediante el cual se remueven las partículas suspendidas y coloidales del agua al hacerlas pasar a través de un medio poroso, el cual, dependiendo del grosor o cantidad de materiales porosos, nos dan la calidad y velocidad del filtro, siendo esta última, uno de los parámetros para clasificar los filtros (filtros lentos y filtros rápidos) (RAS, 2000).

8. Desinfección: Este es uno de los procesos más importantes y primordiales que se debe realizar, sin importar la calidad del agua ni el tipo de tratamiento que se le vaya a realizar; la desinfección es “el proceso físico o químico que permite la eliminación o destrucción de los organismos patógenos presentes en el agua” (RAS, 2000) y para llevarse a cabo suelen usarse diferentes métodos tanto físicos tanto químicos, el más conocidos de ellos es la cloración (cloro gaseoso o sales de cloro), además de este método, tenemos la ozonificación (ozono), uso de rayos ultravioleta (UV), yodo (I), plata coloidal, entre otros, que básicamente se eligen dependiendo de las características del agua y método que se pueda utilizar en cada uno de los casos, sin olvidar el costo que pueden llegar a tener.

9. Estabilización: es el proceso final, antes de proceder con el respectivo almacenamiento o distribución, este proceso consiste en regular o estabilizar el pH y bajar el nivel de agentes corrosivos del agua mediante la utilización de algún producto químico.

10. Distribución: Es el proceso final luego de realizar el tratamiento al agua y al final, obtener un producto, que posee características físicas, químicas y microbiológicas aptas para el consumo humano, en este proceso, por medio de la red local de acueducto se lleva el servicio a cada una de las viviendas a donde llegue el sistema.

11. Manejo de lodos: Es el proceso de extracción, tratamiento y disposición de los lodos, producto del tratamiento del agua; son los procesos de pretratamiento (desarenador), sedimentación y filtración los que generan o dejan como resultado una mayor cantidad de lodo, el cual, es necesario retirarlos periódicamente del sistema para optimizar los procesos y disminuir tanto la calidad como la velocidad de operación de los diferentes tratamientos. Luego de ser retirados, estos lodos deben ser sometidos a diferentes procesos, los cuales buscan disminuir su volumen, peso y carga contaminante que puedan llegar a presentar.

Es importante mencionar, que estos procesos y estructuras se presentan o no en una planta de tratamiento dependiendo de las características iniciales del agua, teniendo claro que parámetros se van a tratar y en que concentraciones se desea culminar el proceso; en muchos casos será necesario hacerle varios procesos en diferentes estructuras, así como en muchos otros simplemente requerirá uno o dos procesos básicos, esto se da de la siguiente manera: a nivel mundial, existen

diferentes estudios que cuantifican el valor o concentración de ciertos parámetro o sustancias en el agua para consumo humano, estos valores ligados a sus afecciones en la salud de los seres humanos, buscando así, que el organismo llegue a asimilar cada una de las sustancia presentes en el volumen hídrico de consumo sin sufrir daños en su bienestar. Estos valores permisibles varían de un lugar a otro dependiendo varios factores, es por ello, que existen normativas a nivel nacional o local en cada país que dictan y regulan estas concentraciones y parámetros.

En el caso colombiano, en temáticas de agua para consumo humano, diseño de redes y procesos de tratamiento de agua potable existen varias normas, las cuales nos indican desde las estructuras, características, dimensiones y materiales de diseño de una planta de potabilización, los procesos y tiempos en que se deben realizar cada uno de ellos y estos valores mínimos o máximos permisibles, los cuales basan en diferentes bases teóricas o estudios de la zona.

Uno de los reglamentos más importantes en este aspecto, se desarrolló en el año 2000, se denomina RAS 2000, siglas que representa “Reglamente técnico del sector de agua potable y saneamiento básico” el cual señala los requisitos técnicos que deben cumplir las obras, diseños y procedimientos correspondientes al sector de agua potable y saneamiento básico; el documento se encuentra dividido en capítulos, cada uno de ellos con temas en específico como acueducto, alcantarillado, residuos sólidos y otros aspectos relacionados.

En este caso, se tomará el capítulo B, Sistemas de acueducto, el cual tiene por alcance “fijar los criterios básicos, los requisitos mínimos y los valores específicos y límites que deben tenerse en cuenta en los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de acueducto en el territorio nacional”, por otro lado y siguiendo en el mismo documento encontramos el titulo C, sistemas de potabilización, en este capítulo buscan “fijar los criterios básicos, los requisitos mínimos, los valores específicos, límites y recomendaciones que deben tenerse en cuenta en los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la construcción, la supervisión técnica, la puesta en marcha, la operación y el mantenimiento de los sistemas de potabilización de agua para consumo humano”, cabe resaltar que por ser documentos elaborados en el año 2000, con el paso del tiempo han presentado modificaciones en algunos aspectos que aquí se reglamentan, como es el caso de la resolución 0330 de 2017, la cual tiene por objetivo “adoptar el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”.

Además del RAS 2000, se toma como referencia la resolución 2115 del 2007, “por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano”, y de la cual, se usaron los indicadores de riesgo para la salud por consumo de agua “IRCA” e “IRABAm”, instrumentos usados para evaluar cuantitativamente la calidad del agua y el nivel de riesgo que esta presenta a la salud humana, los cuales funcionan mediante la asignación de puntajes de riesgo a cada característica (física, química, microbiológica).

Por último, se toma el decreto 1575 de 2007, “por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano” por medio de este sistema se busca monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua envasada.

Por medio de estos documentos normativos, se procedió a hacer el desarrollo de la actividad, realizando análisis y evaluación de la planta, haciendo énfasis en su diseño y en sus diferentes procesos, para así, llegar a la conclusión si era pertinente realizar cambios o modificaciones.

Marco normativo

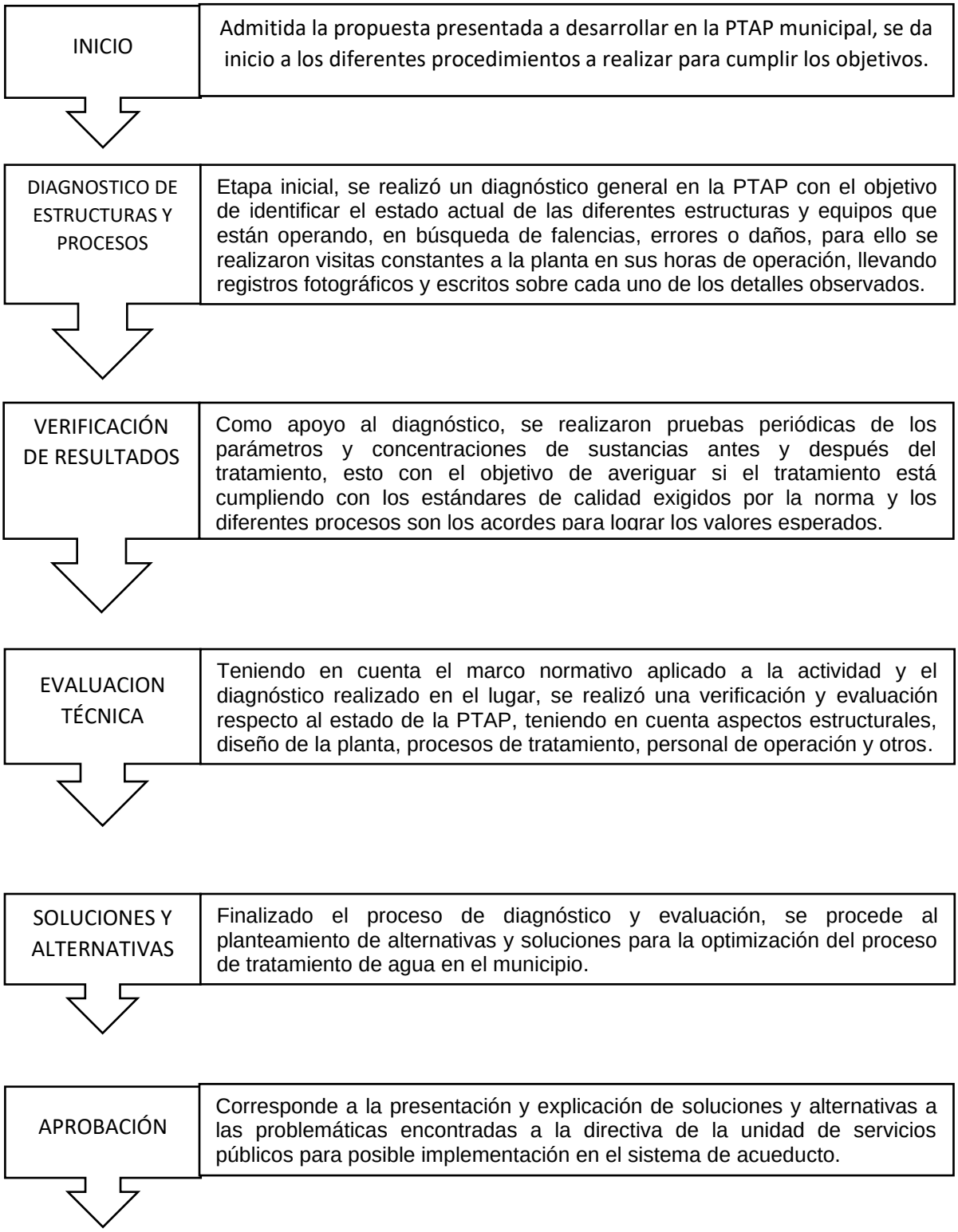
Las empresas en el territorio nacional encargadas de la prestación del servicio de acueducto se encuentran regidas por normas muy específicas, a continuación, se mencionan algunas de las más importantes que van desde temas administrativos hasta el caso puntual en temas de saneamiento ambiental.

- *Articulo 31*; Constitución política de Colombia: Al municipio como entidad fundamental de la división político-administrativa del Estado le corresponde prestar los servicios públicos que determine la ley, construir las obras que demande el progreso local, ordenar el desarrollo de su territorio, promover la participación comunitaria, el mejoramiento social y cultural de sus habitantes y cumplir las demás funciones que le asignen la Constitución y las leyes.
- *Ley 99 de 1993*: Por la cual 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— y se dictan otras disposiciones.
- *Ley 80 de 1993*: Por la cual se expide el estatuto general de contratación de la administración pública.

- *Ley 136 de 1994*: Por la cual se dictan normas tendientes a modernizar la organización y el funcionamiento de los municipios.
- *Ley 142 de 1994*: Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.
- *RAS 2000: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*
- *Ley 388 de 1997* de Desarrollo Territorial que ordena elaborar planes municipales de ordenamiento territorial.
- *Decreto 302 de 2000*: Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios domiciliarios de acueducto y alcantarillado.
- *Decreto 1905 de 2000*: Por el cual se por el cual se modifican los estatutos y el reglamento de funcionamiento de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.
- *Decreto 1575 de 2007*: Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
- *Resolución 2115 de 2007*: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
- *Decreto 1075 de 2005*: Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.
- *Resolución 0811 de 2008*: Por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución.
- *Resolución 1063 de 2016*: Por la cual se establecen los requisitos de presentación, viabilización y aprobación de proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico que soliciten apoyo financiero de la Nación, así como de aquellos que han sido priorizados en el marco de los Planes Departamentales de Agua y de los programas que implemente el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, a través del Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico, y se dictan otras disposiciones.
- *Resolución 0330 de 2017*: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009.

Metodología

Para el desarrollo de los objetivos o metas propuestas en este trabajo de grado se desarrolló la siguiente metodología y de la siguiente forma:



INFORME	Proceso final del trabajo de grado, aquí se realiza la presentación de evidencias obtenidas e informe del proceso realizado.

Resultados

Diagnóstico de la planta

- ***Información general***

El municipio de Calamar, cuenta con el servicio de acueducto para el casco urbano gracias a la planta de potabilización San Francisco de Asís, la cual es administrada directamente por la Unidad de Servicios Públicos (USP) perteneciente a la administración municipal y que funciona con recursos públicos provenientes directamente del Plan Departamental de Aguas (PDA) la cual hace parte de la gobernación departamental; la planta es de carácter netamente público y la unidad además del servicio de acueducto, cubre los servicios de alcantarillado y aseo (recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos). (Guaviare P. , 2021).

En el periodo administrativo actual, la unidad de servicios y por ende la planta de agua potable, está bajo el control y directriz del Ingeniero Carlos Alexander Sogamoso, profesional en ingeniería industrial y quien ha desarrollado funciones administrativas en diferentes lugares en administraciones pasadas, además, del personal dedicado a los demás servicios y funciones de la unidad, la planta está bajo la supervisión constante de su operador, el cual cuenta con suficiente experiencia para desarrollar este cargo, sumado a esto, en la planta hace presencia constante un técnico que desarrolla funciones varias en la planta. (Guaviare A. C., 2022)



Ilustración 2: Fachada principal PTAP; Fuente: Propia



Ilustración 1: Entrada principal PTAP; Fuente: Propia

La planta San Francisco de Asís fue diseñada y puesta en marcha en el año 2007, en un terreno de área equivalente a 2584,68 m^2 (0,26 ha) en el periodo administrativo del señor alcalde Aldemar Gavilán con recursos del estado por medio del presupuesto del sistema general de regalías asignado al municipio y que en su momento fue diseñada para el abastecimiento del casco urbano que contaba con un aproximado de 2000 personas. Se encuentra ubicada en el barrio Villa Alicia, exactamente en la salida hacia la vereda La Gaitana, sus coordenadas son:

Latitud	Longitud	Altura
1°57'41.87"N	***72°39'27.82"O***	***232 msnm***



Ilustración 3: Ubicación PTAP; Fuente: Google Earth

La planta municipal es de tipo convencional, realizando procesos básicos tanto físicos como químicos; en sus inicios contaba solo con un tanque elevado ubicado en el centro del municipio, con una capacidad de 250000 litros y un tanque de almacenamiento subterráneo ubicado en la planta con capacidad de 200000 litros; en cuanto a captación de recurso hídrico la planta cuenta con dos, el principal siempre ha sido el mismo, el cual se encuentra ubicado a 654 metros de distancia en línea recta, sobre el rio principal del municipio, rio Itilla, sobre una bocatoma de tipo flotante y que trabaja alternadamente con dos electrobombas durante el transcurso del día, dichas electrobombas poseían una potencia de 50 HP y brindaban 38 lps cada una en su capacidad máxima, en la actualidad, dichas electrobombas fueron modificadas generando una potencia de 25 HP y una

capacidad de 28 lps; la segunda fuente de captación se realizó en el año 2012, consiste en un perforado dentro del área de la planta que se suele utilizar en casos de emergencia o como fuente secundaria.



Ilustración 4: Ubicación componentes sistema acueducto; Fuente: Google Earth

A medida que la población incrementa, la necesidad de aumentar y mejorar el servicio de acueducto es evidente, por tal motivo, se ha invertido recurso y mejorado el servicio desde la parte física y operativa, hasta la parte administrativa, de tal manera que actualmente la organización y personal que opera en la planta corresponde a:

- Carlos Alexander Sogamoso: Ingeniero industrial de profesión, director de la unidad de servicios públicos.
- Karen Gil: secretaria de la unidad de servicios públicos.
- Mauricio Rincón – Operador de la planta de tratamiento de agua potable, el cual posee un técnico en manejo ambiental y lleva aproximadamente 15 años en el puesto de operador, iniciando su sabor desde que la planta inicia su operación.
- Alberto Reyes – Auxiliar de la unidad de servicios públicos, tiene varias funciones dentro de la planta, dentro de ellas está el apoyo al operador de la planta, reparación y estado óptimo de las redes del sistema.
- Paola Bernal: Técnico en apoyo al operador de la planta, encargada de las mediciones constantes de los parámetros del proceso de tratamiento.

En cuanto a la parte locativa y operativa de la planta potabilizadora, se evidencia que al igual que su parte administrativa, esta también ha presentado una mejora, principalmente en temas de optimización de los procesos y algunas cuantas adiciones de estructuras, actualmente cuenta con los siguientes componentes, procesos y actividades:

- Abastecimiento: El proceso de abastecimiento de agua se realiza de dos fuentes, la primera y de mayor caudal se realiza en una bocatoma de tipo flotante, ubicada sobre un costado del rio Itilla (1°57'20.56"N; 72°39'28.68"O), la cual cuenta con dos electrobombas marca Siemens, con capacidad 28 lps y con 25 HP cada una, actualmente estas bombas suministran un total de 28 litros por segundo para la operación de la planta. La segunda fuente de abastecimiento de recurso hídrico es por medio de una bomba sumergida tipo lapicero en un perforado realizado dentro del terreno de la planta, con una profundidad de 96 m y capacidad de suministro de 6,8 lps, dicha fuente se pone en uso solo en casos de emergencia o en casos donde la fuente principal de abastecimiento no esté funcionando de la manera correcta.



Ilustración 5: Captación; Fuente: Propia

- Aducción: El transporte de agua desde la captación hasta la planta para su respectivo tratamiento se realiza por medio de tuberías en PVC con diámetro de 6” y una longitud de 821 m, estas tuberías fueron cambiadas en el año 2017 en un respectivo mantenimiento realizado a la red y respectivo reemplazo de tuberías de asbesto por PVC; por otro lado, los operarios de la unidad están constantemente en revisión de que dichas tuberías no presenten fugas o daños.



Ilustración 6: Medición caudal entrada; Fuente: Propia

- Medición de caudal: Es el primer paso o proceso dentro de la planta de tratamiento, con la utilización de un macromedidor de chorro de 6” en la entrada de la planta se logra calcular la cantidad de agua

en litros o metros cúbicos que ingresan a la planta para su respectivo tratamiento, dicho macromedidor se instaló hace aproximadamente 3 años, ya que la estructura carecía de esta herramienta y se realizaba la medición de caudal con el uso de la canaleta Parshall.

- Aireación: Una torre conformada por 5 bandejas sobrepuestas y que componen lo que se llama proceso de aireación es la siguiente estructura en procesar el agua, dichas bandejas poseen una medida de 2,5 m X 2 m (5 m^2) y el espaciamiento entre bandejas es igual a 45 cm.



Ilustración 7: Torre aireación; Fuente: Propia

- Coagulación: Seguidamente, el caudal es transportado por una tubería de 6” hasta lo que se conoce como mezcla rápida, allí por medio de la adición de coagulante, para este caso sulfato de aluminio tipo A, el agua reacciona a un proceso químico que genera una desestabilización en las cargas eléctricas de las partículas suspendidas en el agua ocasionando que estas se unan y con ello aumenten su tamaño y su densidad.
  Se recalca que en este proceso se utilizan dos canaletas Parshall, las cuales permiten la adición del coagulante y se encargan de generar turbulencia en el agua, permitiendo la mezcla del agua y el químico.



Ilustración 8: Canaleta Parshall; Fuente: Propia

- Floculación: También conocido como mezcla lenta, es el complemento del proceso anterior, se realiza en dos floculadores de flujo vertical, cada uno de ellos compuesto por 9 secciones, las cuales poseen dimensiones de 58 cm de ancho, 58 cm de longitud y una profundidad de 345 cm, cuenta con pantallas de 0,5 cm hechas en fibra de vidrio, las cuales permiten la regulación de la velocidad del caudal, brindando un tiempo de detención aproximado de 25 minutos y un gradiente en rangos entre 30 $^{s-1}$ a 60 s^{-1}.
  Este floculador tiene 3 m de longitud, 3,5 m de profundidad y 2 m de ancho, con un volumen de 24,5 m^3 cada uno de los floculadores, el cual se presenta en las siguientes fotografías:



Ilustración 10: Floculador flujo vertical; Fuente: Propia



Ilustración 9: Floculador flujo vertical; Fuente: Propia

- Sedimentación: Este proceso se desarrolla por medio de dos sedimentadores tipo colmena, el cual tiene una inclinación de 45°, una altura de 1,04 m, depositando en el fondo los sólidos o partículas de mayor tamaño.
  El tamaño del sedimentador es de 2,80 metros de profundidad, 3,7 metros de longitud y un ancho de 3 metros, con un área de 31,08 m^3.



Ilustración 11: Sedimentador; Fuente: Propia

- Filtración: El proceso se lleva a cabo en dos filtros con volumen de 16,8 m^3 (1,42 m de ancho; 2,82 m de altura; 4,20 m de longitud), la composición de dichos filtros inicialmente era una capa de antracita, arena media, granate y grava; posteriormente, estos materiales se cambian por indicaciones de un proceso de optimización realizado en el año 2021 por parte del Plan Departamental de Aguas, implementando un lecho filtrante compuesto por arena gruesa, arena media, arena fina, grava y antracita, recalcando que la capa de arena es de un amplio tamaño. (el cambio de materiales ocasiona que el filtro colapse de manera rápida y el proceso de filtración sea mucho más lento).



Ilustración 12: Filtro 1; Fuente: Propia

- Desinfección: Para el proceso de desinfección se utiliza cloro granulado con concentración de 70% y disuelto en un tanque con capacidad de 500 L de

agua, logrando así una concentración final para aplicación de 15% (12 L por kilo, para una dilución de una caneca que contiene 40 kg a cada 500 L), el proceso se realiza por medio de una dosificadora de cloro, que tiene capacidad de entregar un total de 10 L por hora de trabajo.



Ilustración 13: Aplicación de cloro; Fuente: Propia

- Almacenamiento: Para el proceso de almacenamiento se cuenta con 2 tanques subterráneos ubicados en el terreno de la planta, con capacidad de 200000 L cada uno y con dos tanques elevados, los cuales se llenan usando dos electrobombas ubicadas en la planta similares a las usadas en la bocatoma, el primero de los tanques ubicado en el centro del municipio, el cual tiene una capacidad de 250,000 L construido y en operación desde el año 1992, el otro tanque, fue construido en el año 2016 en el terreno de la planta y tiene una capacidad de 200,000 L.



Ilustración 15: Tanque 2 elevado PTAP; Fuente: Propia



Ilustración 14: Tanque 1 Subterráneo; Fuente: Propia

- Distribución: A partir de la presión otorgada por los tanques elevados, se logra la distribución de agua potabilizada en los 8 barrios del municipio que cuentan con cobertura del sistema de acueducto.
  Dicho proceso se realiza por tuberías en PVC de diámetros que van desde las 6” hasta las 1” en donde se realizan conexiones domiciliarias y logran llevar a los diferentes usuarios la presión superior a 10 m.c.a. requeridas por el sistema.



Ilustración 17: Medidor de salida; Fuente: Propia



Ilustración 16: Impulsión a tanques elevados; Fuente: Propia

Evaluación

Generalidades de la planta de tratamiento de agua potable

En la planta se realizan los procesos de captación, aducción, aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, almacenamiento y distribución, y teniendo en cuenta lo requerido en el RAS 2000, titulo C, para los niveles de complejidad bajo y medio no debe diseñarse menos de dos unidades en serie para los procesos de coagulación, floculación, sedimentación y filtración, esto con lograr tener siempre en funcionamiento la planta para así poder realizar mantenimiento y limpieza a una de las dos mientras la otra opera con normalidad. (Ministerio de vivienda, Minvivienda, 2000)



Ilustración 18: Sistema convencional; Fuente: RAS 2000, título C

Evaluación física

En el proceso de evaluación se tuvieron en cuenta todos los procesos realizados en la planta para la potabilización del agua, partiendo desde el proceso de captación hasta el proceso de distribución, para ello se analizó la calidad de la estructura en donde o por medio de la cual se realiza el proceso y la técnica utilizada en cada uno de ellos. (Codena, 2018)

Captación y aducción

En el proceso de captación se realiza la inspección de la balsa, se revisan los demás equipos y elementos que componen este paso, tales como circuitos, sistemas de seguridad y alarmas, así como también se inspecciona el estado de las mangueras y tuberías.

Adicionalmente, para el proceso de aducción, se verifica que estas no hayan cumplido su vida útil y que se registre el hecho el cambio de material de construcción, ya que muchas de las tuberías del sistema se construyeron en asbesto, debido al alto riesgo que este material representa a la salud humana, es obligatorio el cambio de tuberías.

En este procedimiento se identifica que las electrobombas fueron modificadas hace algunos años, buscando reducir su potencia y con ello reducir el consumo de energía, este procedimiento no altera el proceso ya que las bombas siguen suministrando el caudal necesario para la operación del sistema, en cuanto al estado de las electrobombas y su vida útil, su ficha técnica indica que está diseñada para 40000 horas de uso, teniendo en cuenta el uso diario al que se someten dichas electrobombas, su vida útil esta sobre los 14 años, lo que nos indica que estos equipos a la fecha ya requieren un cambio, a pesar de que se le

realizan mantenimientos preventivos y se han reemplazado algunas de sus piezas deterioradas.

Por otro lado, los circuitos de la estación de bombeo requieren un cambio, muchos de ellos se encuentran a la intemperie y deteriorados, teniendo en cuenta el nivel de exposición que estos tienen frente a los operarios que frecuentan el lugar se convierten en un riesgo para el sistema.

En cuanto al acceso a la barcaza, es necesaria la instalación de una escalera de acceso a dicha plataforma desde la orilla del rio o tierra firme, a la fecha el acceso a la plataforma se hace mediante escalones improvisados sobre la superficie, poniendo en riesgo a los operarios que requieren en ocasiones llegar hasta la barcaza, como se observa en la Ilustración 19, no se tiene ningún acceso seguro a la estructura.



Ilustración 19: Bocatoma; Fuente: Propia

También es necesario un cambio en la conexión que existe entre las electrobombas a la red en tubería PVC que trasporta el agua hasta la planta, esta conexión es una manguera de succión de caucho flexible de 6 pulgadas, la cual se puede evidenciar que está dañada y como contraparte y solución fue un sello con neumático amarrado a su alrededor y así impedir la fuga de agua, esta solución no es correcta, además que aun permite la fuga de ciertas cantidades de agua durante las horas de operación.

La barcaza ya lleva en operación un periodo de tiempo superior a los 10 años, por ello es necesario realizar un mantenimiento y adecuación a la estructura, ya que la estructura se encuentra deteriorada y no cumplen de manera óptima con su

función, algunas de ellas son el techo y la maya de seguridad, causando que las electrobombas en ocasiones se mojen y que a ella ingresen personas no autorizadas.



Ilustración 20: Barcaza; Fuente: Propia

En cuanto a lo indicado por el titulo B del RAS 2000, las características de la captación flotante cumplen con lo que allí se encuentra estipulado, la plataforma de impulsión es tipo flexible, permitiendo el desplazamiento dependiendo del nivel del agua en el rio; además se aclara que el proceso no cuenta con decantadores o desarenadores ni rejillas, ya que en la succión se cuenta con una coladera la cual impide el ingreso de solidos de gran tamaño.

Coagulación

Este proceso se realiza gracias a la utilización de sulfato de aluminio granulado tipo A (sólido y color blanco con concentración menor de hierro) como coagulante y mediante la aplicación de soda caustica con regulador de pH por la alteración que este sufre al adicionar el coagulante.



Ilustración 21: Sulfato de aluminio tipo A; Fuente: Propia



Ilustración 22: Ficha técnica del sulfato de aluminio; Fuente: propia

En el proceso se ven involucradas dos dosificadoras, una para soda caustica y la otra para el sulfato de aluminio, ambas dosificadoras se alimentan de dos tanques de 500 L en donde se hace el proceso de dilución de los químicos, desde este cuarto el cual está aislado y separado de otros procesos, se transporta la solución hasta la canaleta Parshall donde se mezclan con el cuerpo de agua a tratar, estas dosificadoras vierten un total de 20 L por hora de funcionamiento y operan de 6 a 7 horas al día.

El estado de las dosificadoras es delicado, se evidencia a simple vista que requieren un cambio, una de ellas presenta remiendos realizados por el operario para evitar que el proceso se detenga y el sistema colapse, por otro lado las tarimas o bases donde reposan dichos equipos no son seguras y representan riesgos tanto humano como para las mismas maquinas, debido a que dichas tarimas son demasiado pequeñas y las dosificadoras no están sujetas a alguna superficie fija, teniendo un riesgo de caída constante.



Ilustración 23: Dosificadora de sulfatos; Fuente: Propia

En cuanto al estado de los tanques para disolver los químicos están en buen estado, en este proceso se requiere una herramienta para el proceso de mezcla y agitación a la hora de realizar la dilución de químicos en el agua, específicamente en un material no corrosivo ni que pueda contaminar la nueva sustancia.



Ilustración 24: Reparación dosificadora; Fuente: Propia

Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS), para la evaluación química de este proceso, se debe verificar y evaluar basándose en el estado de las tolvas o depósitos de los compuestos para el respectivo proceso, así como también el estado óptimo de las diferentes tuberías o ductos que transportan sustancias para el debido proceso.

Para la respectiva evaluación de la coagulación se inicia realizando una verificación del proceso de almacenamiento de sustancias químicas, donde se identifica algunas falencias y aciertos en el debido proceso:

- El primer aspecto en el que la planta no logra cumplir con lo requerido, se relaciona con el proceso de señalización dentro y fuera del cuarto de almacenamiento de sustancias químicas, evidenciando que las señalizaciones existentes se encuentran en lugares que no corresponden o se encuentran deterioradas, dificultando su visualización.



Ilustración 25: Almacenamiento de Soda sin señalización; Fuente: Propia

- Por otro lado, el diseño de entrada y cuarto de almacén de sustancias es adecuado para el material y su respectivo almacenamiento, cumpliendo con el espacio requerido para la cantidad de mercancía que allí se guarda constantemente.
- También se evidencia que los productos allí almacenados corresponden a los que se rotulan y se pretenden disponer en el almacén.



Ilustración 27: Almacén; Fuente: Propia



Ilustración 26: Almacenamiento sulfato; Fuente: Propia

- El proceso de almacenamiento y forma de realizarse presenta algunas falencias, debido a que las tarimas donde se ubican algunos de los bultos de químicos se encuentran en deteriorado estado o carecen de tarimas, quedando directamente sobre el suelo y con ello generando daño en los productos por humedad o insectos.
- En contraparte, se evidencia que el operario de la planta, se encarga de ordenar por orden cronológico la llegada de productos a la planta, dejando los elementos más antiguos para uso inmediato, impidiendo que los productos o elementos duren más del tiempo estipulado en las instalaciones.

Canaleta Parshall: Es la estructura encargada de recibir el caudal proveniente de las bandejas de aireación, dicha estructura está hecha de acero inoxidable con una tubería o canal de diámetro de 6”, para el proceso de evaluación se procede a revisar su geometría y realizar algunos cálculos. (Ruiz, 2008)

- Geometría de la unidad: Para los cálculos de diseño, el primer factor a tener en cuenta es el caudal que se trabaja en la planta, tanto el mínimo como el máximo, posteriormente se verifica que sus dimensiones en sus diferentes secciones sean acordes con los estipulado o propuesto en la normativa vigente para diseño de estas estructuras.

  Dimensiones de la canaleta Parshall:

Caudal	**28 lps**
Sección convergente	**18 cm**
Garganta	**8 cm**
Sección divergente	**30 cm**

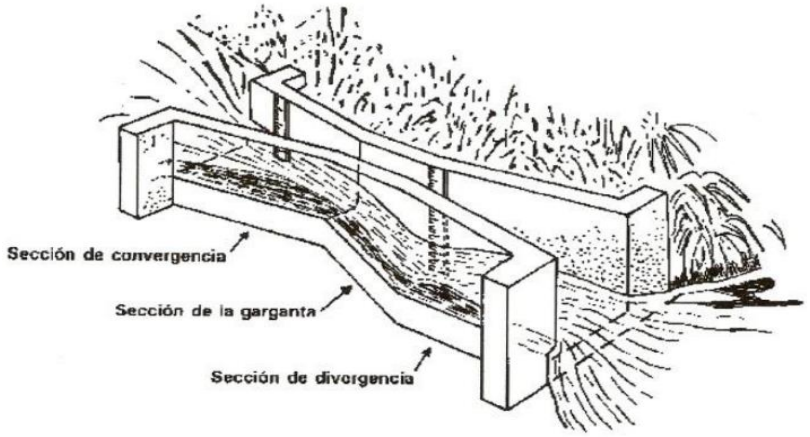


Ilustración 28: Componentes canal Parshall; Fuente: Hidráulica II

Ancho W (Pulg)	Limites de caudal (L/s)	
	Q Minimo	Q Maximo
1	0,28	5,67
2	0,57	14,15
3	0,85	28,31
6	1,42	110,44
9	2,58	252
12	3,11	455,9
18	4,24	696,5
24	11,9	937,3
36	17,27	1427,2
48	36,81	1922,7
60	45,31	2424
72	73,62	2931

Tabla 1: Limites de caudales por ancho de garganta; Fuente: Tratamiento de agua residuales

Teniendo en cuenta el caudal que ingresa a la planta, se realiza la evaluación del ancho de la garganta en canaleta Parshall, que al tomar el caudal máximo de 28 l/s obtenemos un ancho de 3” (7,61 cm), al realizar la medición de la garganta de la canaleta presenta en la planta obtenemos un ancho de 8 cm (3,14”), cumpliendo con el valor establecido. (Rojas, Tratamiento de aguas residuales , 2000)

Posteriormente con el cálculo del ancho de la garganta, se hallan los demás valores para evaluar el tamaño de las demás secciones de la estructura:

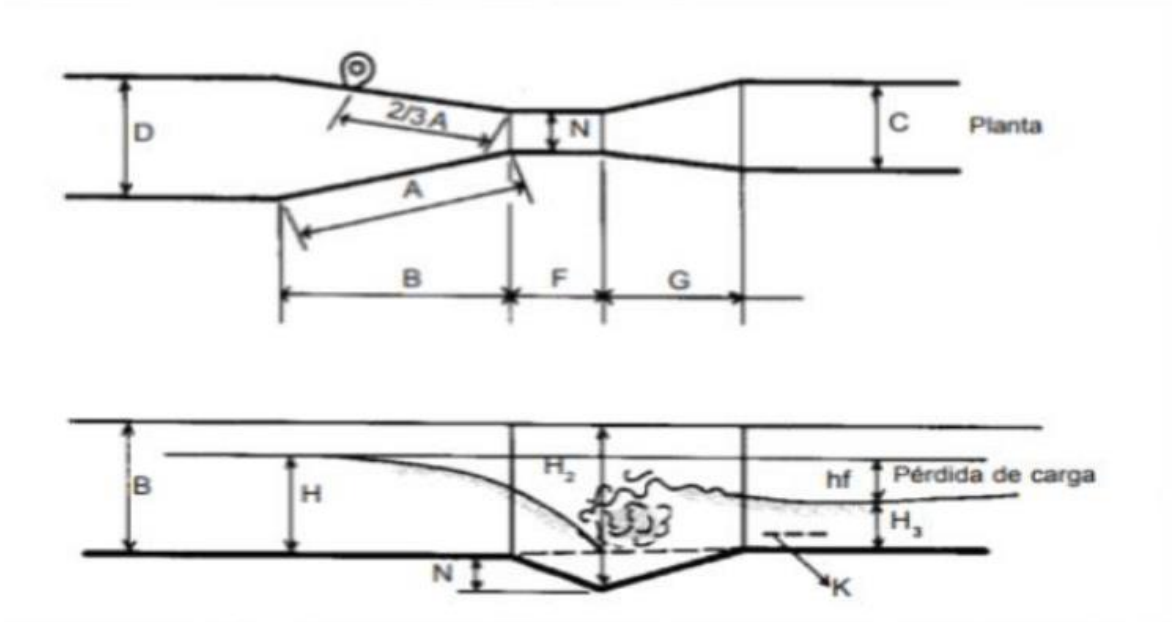


Ilustración 29: Canaleta Parshall; Fuente: Tratamiento agua residual

W	(cm)	A	B	C	D	E	F	G	K	N
1 (Pulg)	2,5	36,6	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9
2 (Pulg)	5,1	41,4	40,6	13,5	21,4	35,6	11,4	25,4	2,2	4,3
3 (Pulg)	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7
6 (Pulg)	15,2	62,1	61	39,4	40,3	45,7	30,5	61	7,6	11,4
9 (Pulg)	22,9	88	86,4	38	57,5	61	31	45,7	7,6	22,9
1 (Pie)	30,5	137,2	134,4	61	84,5	91,5	61	91,5	7,6	22,9
1(1/2) (Pie)	45,7	144,9	142	76,2	102,6	91,5	61	91,5	7,6	22,9
2 (Pie)	61	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9
3 (Pie)	91,5	167,7	164,5	122	157,2	91,5	61	91,5	7,6	22,9
4 (Pie)	122	183	179,5	152,2	193,8	91,5	61	91,5	7,6	22,9
5 (Pie)	152,5	198,3	194,1	183	230,3	91,5	61	91,5	7,6	22,9
6 (Pie)	183	213,5	209	213,5	266,7	91,5	61	91,5	7,6	22,9
7 (Pie)	213,5	228,8	224	244	303	91,5	61	91,5	7,6	22,9
8 (Pie)	244	244	239,2	274,5	340	91,5	61	91,5	7,6	22,9
10 (Pie)	305	274,5	427	366	475,9	122	91,5	183	15,3	34,3

Tabla 2: Dimensionamiento canaleta Parshall; Fuente: Tratamiento agua residual

Al realizar las respectivas mediciones y comparaciones, se concluye que la canaleta Parshall diseñada para esta planta cumple con la mayor parte de las medidas que se especifica en la Tabla 2, con estos datos y teniendo en cuenta ecuaciones establecidas en diferentes fuentes bibliográficas, es posible le cálculo de otras características tanto de la canaleta como del caudal que pasa por allí.

Datos Obtenidos		
Partes Canaleta	**Valor**	**Unidad**
Caudal (Q)	31	Lps
Ancho garganta (W)	6	Pul
Gravedad(g)	9,810	m/s
Altura paredes sección divergente (K)	0,02	M
Ancho Sección divergente (C)	0,25	M
Longitud sección divergente (G)	0,40	M
Pesos especifico (ɣ)	9773	N/m^3
Temperatura (T)	27	°C
Viscosidad (µ)	0,00085	N/m^2
Longitud sección convergente (A)	0,20	M
Altura paredes sección convergente (B)	0,25	M
Ancho sección convergente (D)	0,15	M
Profundidad (E)	0,6	M
Longitud garganta (F)	0,17	M
Altura lamina agua (ha)	0,42	m

Tabla 3: Datos obtenidos en planta; Fuente: propia

- Punto de aplicación de las sustancias químicas: Aquí se revisa que el punto donde se vierte el coagulante en forma líquida, este debe aplicarse en el punto de mayor turbulencia (inicio del resalto), en forma constante y distribuido de manera uniforme en toda la masa de agua.
- Condiciones hidráulicas de las obras de interconexión: Se verifica que el proceso predecesor y siguiente a la canaleta estén en óptimas condiciones, permitiendo tanto la recepción como la entrega del caudal con las características necesarias.

Floculación hidráulica

Para la evaluación de este proceso el principal factor o aspecto a tener en cuenta es la geometría de la unidad, donde se determina si esta fue proyectada y construida de forma correcta, además se debe verificar que se encuentre en buen estado, teniendo en cuenta su estructura y sus respectivos mantenimientos.

El primer paso fue calcular el diseño del floculador, el cual debe garantizar un gradiente (G)= $20s^{-1}$ y $70s^{-1}$, un tiempo de detención del agua entre 20 a 30 min y una velocidad entre 0,2 m/s y 0,6 m/s, dicho cálculo se realiza teniendo en cuenta las pérdidas de carga y longitud de trayectoria del flujo. (RAS 2000).

- Numero de compartimientos: $m = 0{,}045\sqrt[3]{(\frac{bLG}{Q})^2 * t}$

  Donde: *b= ancho del tramo o canal*
  L= longitud del tramo
  T= tiempo de retención del tramo
- Perdida de carga (h_2): $h2 = \frac{(m+1)V_1^2 + mV_2^2}{2g}$

  Donde: V_1= Velocidad en los canales
  V_2= Velocidad en los pasajes de un compartimiento a otro
- Velocidad en los pasajes (V_2): $V_2 = \frac{2}{3}V_1$
- Gradiente de velocidad (G_1): $G_1 = \sqrt{\frac{\gamma}{\mu} * \sqrt{\frac{1}{2}g} * \sqrt{\frac{f}{4R_H} * V_1^{1,5}}}$

  Donde: f= coeficiente de Darcy Weisbach, que varía entre 0,01 y 0,03.
  R_H=A/P radio hidráulico del canal.

A continuacion se presenta dos ilustraciones de como se observa un floculador de flujo vertical, tanto su vista en planta como en corte A-A

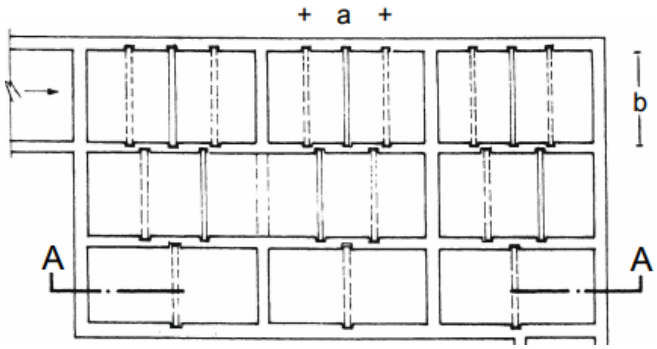


Ilustración 30: Vista en planta floculador vertical; Fuente: Diseño de plantas

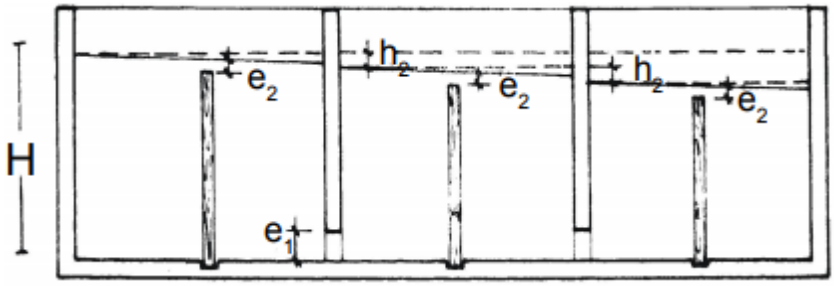


Ilustración 31: Corte A-A floculador; Fuente: Diseño de plantas

- Tamaño del floc: Se realiza el ejercicio subjetivo propuesto por Water Research Associaition (fuente CEPIS/OPS) donde se pudo evidenciar que siguiendo la respectiva metodología teniendo en cuenta el tamaño del floculo (2,25mm – 3mm) se caracteriza por ser un floculo bueno, con tamaño relativamente bueno y grande que se sedimenta fácil pero no completamente.

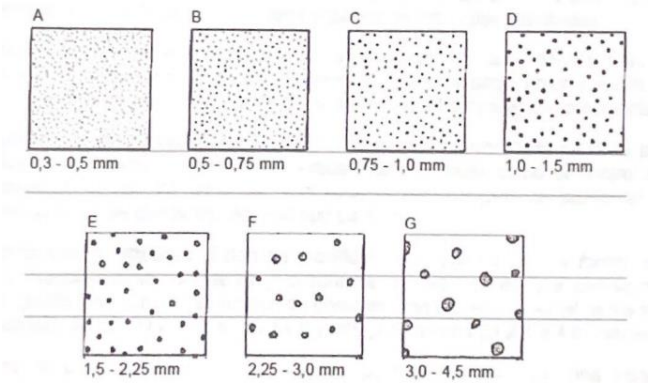


Ilustración 32: Comparador tamaño del floc; Fuente: Water Research Assoociation.

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

Ilustración 33: Índice de floculación de Willcomb

Lo primero que se debe recalcar es que la unidad de floculación corresponde a una de flujo vertical, distribuido en 9 secciones en forma cuadriculada de 58 cm y con 3,45 m de profundidad, las pantallas son de fibra de vidrio y tienen un ancho de 0,5 cm, dichas pantallas están perfectamente distribuidas, lo cual logran disminuir el gradiente de velocidad desde el caudal que ingresa con una velocidad superior hasta el caudal que sale de la unidad de floculación con una velocidad lo suficientemente baja para lograr lo que se conoce como mezcla lenta y la unión de floc requerida. (Parra, 1981)



Por ende, para el proceso de floculación no se realiza ninguna recomendación debido a que la estructura y el proceso en sí, cumplen con los gradientes y

tiempos de retención necesarios para lograr resultados óptimos, además la estructura está en buen estado y en condiciones de limpieza aceptables.

Sedimentación

Dentro del proceso de sedimentación, la OPS (Organización Panamericana de Salud) y CEPIS, establecen que los factores que afectan el proceso son los siguientes:

- Características físico-químicas del agua (turbiedad, color y temperatura principalmente)
- Características y eficiencia del pretratamiento (mezcla y floculación)
- Configuración y diseño de las unidades y zonas del proceso
- Características de obra de interconexión
- Operación y mantenimiento
- Geometría y comportamiento de canales de distribución

Por ende, en el proceso de la planta se procede al desarrollo de evaluación de estos factores para la identificación de la eficiencia del proceso o posteriores soluciones, para esto la metodología utilizada se enfocó en los siguientes aspectos:



Ilustración 34: Dos unidades floculadores; Fuente: Propia

- El número de unidades que componen cada una de las estructuras, sin importar el nivel de complejidad del sistema, se debe contar con por lo menos 2 unidades en servicio sin importar la etapa en la que este el proceso, en la infraestructura este requerimiento se cumple, ya que se cuentan con dos estructuras para el procedimiento de sedimentación, los cuales tienen las mismas características y dimensiones.
- El segundo aspecto evaluado fue el acceso a la unidad de sedimentación, bien sea para procesos de mantenimiento o procesos de limpieza, por ello se debe contar con escaleras permanentes o escalones sobre el nivel del agua y que dichos elementos tengan acceso al fondo de la estructura, además de esto, se deben tener elementos de seguridad como barandas en toda la zona de sedimentación; la planta cuenta con pasos sobre el proceso de sedimentación los cuales tienen 1,5 m de ancho y que cuentan con las respectivas barandas de seguridad en excelente estado.

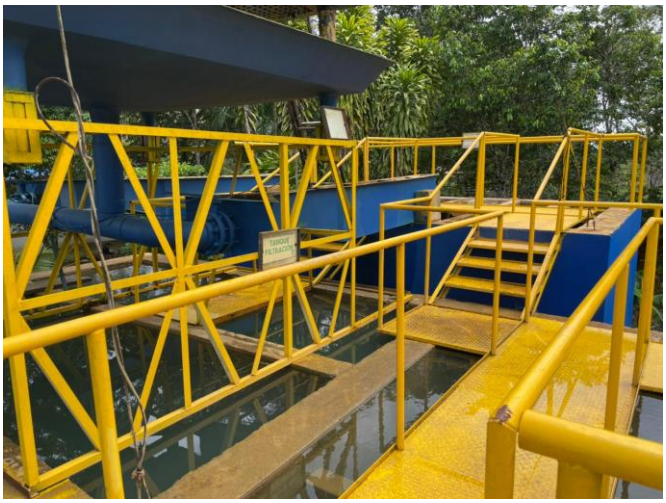


Ilustración 35: Barandas de seguridad; Fuente: Propia



Ilustración 36: Escalera de acceso; Fuente: Propia

- Por último se evalúa la geometría de la unidad y el estado de la misma, las cuales por lo general son de tasa alta, lo que se traduce a un área menor a utilizar; para la evaluación de la unidad se tuvieron en cuenta la zona de entrada del caudal a la estructura de sedimentación, que contara con la respectiva compuerta para ingreso o bloqueo de la estructura; otro aspecto aquí analizado fue la zona de decantación, que contara con los respectivos paneles o pantallas y que estas se encontraran en buen estado; en la zona de salida se detalló que los decantadores cubrieran el total del área de sedimentación y que respectivamente tuvieran el canal para evacuación de

agua tratada, esto para evitar que se arrastren flóculos previamente retenidos entre las placas de los decantadores; y de manera general se evalúa el buen estado y condición del proceso, evitando omitir estructuras deterioradas, en mal estado o sin su respectivo proceso de limpieza periódico.

Para ello se realiza el cálculo de algunos aspectos y factores que ocurren dentro del proceso que establecen la calidad y eficacia del proceso, dentro de los encontramos:

- Carga superficial (CS): $CS = \frac{Q}{A}$

  Donde: Q= Caudal

  A= Área

  Que como lo exige la resolución 0330 de 2017, para este tipo de sedimentador el valor de carga superficial debe estar entre 100 a 110 $m^3/m^2/día$.
- Velocidad promedio: $V0 = \frac{Q}{A*Sen\theta}$
- Velocidad critica de asentamiento: $vsc = \frac{Sc*V0}{Sen\theta+Lc*Cos\theta}$
- Longitud sedimentador sin corregir: $L = \frac{l}{d}$
- Longitud relativa para región de transición: $l' = 0{,}013 * \frac{V0*d}{\vartheta}$
- Longitud relativa del sedimentador de tasa alta en flujo laminar, corregida en la longitud de transición: $Lc = L - l$
- Numero de Reynolds: $N_{RE} = \frac{V0*d}{\vartheta}$; por el valor de Reynolds obtenido, se puede identificar que se habla de un flujo laminar (N_{RE}<2100).

Los puntos más críticos y parte de la eficiencia del proceso depende o está orientada a la zona de entrada y de salida, por ende son los puntos que más atención reciben a la hora de la evaluación; por parte de la zona de entrada, suelen formarse cortocircuitos si esta no distribuye homogéneamente el caudal que ingresa, para ello en la plata se cuenta con un vertedero que a lo ancho del sedimentador seguido de una cortina o pantalla de distribución con orificios ubicados de manera homogénea por toda la zona de entrada; por parte de la zona de salida, la planta cuenta con unidades (canales) en la parte superficial que recolectan de manera eficiente el agua superficial.

En cuanto a la zona de sedimentación, se utiliza la metodología de Hazen y Camp que se basa en buscar y lograr una sola dirección y velocidad del flujo en todo el sedimentador y que la concentración de partículas de cada tamaño sea la misma de una sección vertical en la zona inicial del sedimentador; dichas condiciones son complejas de encontrar en el proceso, por ello se realizan algunas pruebas en donde se buscan espacios

muertos y se determina el tiempo de retención, básicamente con el uso de trazadores o indicadores solidos en diferentes pruebas, dando como resultado que el proceso de sedimentación cumple de manera eficiente los principios bases con los que fue diseñada y con los que se logra una eficiente sedimentación.

El proceso de sedimentación se realiza de manera eficiente, obteniendo buenos resultados y en el tiempo estimado, para este paso se reporta un deterioro y mal estado en los sedimentadores tipo colmena que aquí se usan, muchos de ellos quebrados en la parte superior debido al tiempo de uso y al proceso de limpieza o lavado; por otro lado, al realizar los cálculos sobre sus dimensiones, se observa que estas cumplen y están dentro de los lineamientos.



Ilustración 37: Estado de los paneles; Fuente: Propia

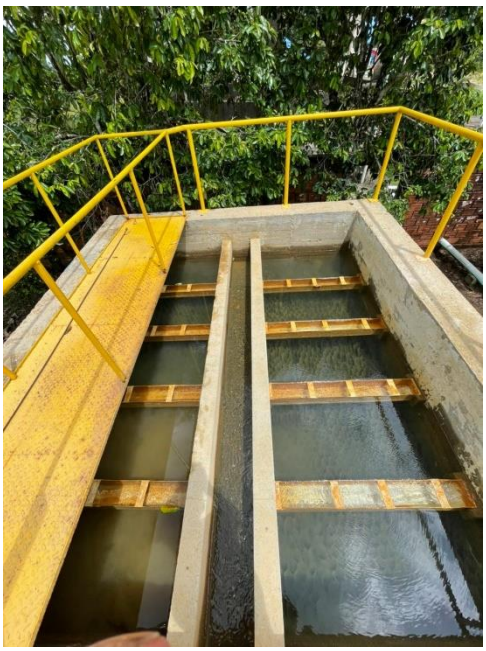


Ilustración 38: Canales de recolección de agua; Fuente: Propia

Un aspecto importante a recalcar es la falta de un manejo adecuado a los lodos que se obtienen de este proceso y el proceso de filtración, donde se podría dar un aprovechamiento para no perder el agua que se desecha al momento de eliminar los lodos del sistema y realizar un tratamiento in situ a estos lodos y que al ser desechados no arrastren carga contaminante o químicos producto del tratamiento anterior.

Filtración

Luego de revisar el tipo de filtro usado en el proceso, lo primero que se evalúa en este paso corresponde al estado de la estructura, que no presente agrietamientos o se encuentre con paredes sucias, por otro lado, se realiza la respectiva evaluación de si sus dimensiones son las adecuadas para el caudal que se trabaja en la planta, tanto en sus horas pico como en el tiempo de menor caudal.

Se realiza la evaluación de los componentes del filtro y que estos funcionen de manera correcta y que sus materiales estén en buen estado, dentro de sus componentes, se analizaron:

- Cama de soporte para el medio filtrante, generalmente es grava y que además se encarga de distribuir el agua para el lavado del filtro.
- Canales de entrada y salida del agua
- Canales o tuberías para entrada y salida del agua del lavado del filtro
- Equipos y accesorios de control y monitoreo

Para la evaluación del filtro, se realiza por medio del control y verificación de la calidad de filtración después de los 15 minutos posteriores al retro lavado, en este tiempo se pueden aceptar valores hasta 0,30 UNT, donde este debe generar valores de turbiedad menores o iguales a 0,10 UNT en el 95% del tiempo.

El medio filtrante está compuesto por un lecho mixto en capas de antracita, arena media y fina, estas capas descansan sobre un lecho de grava el cual está sobre el sistema de drenaje ubicado en el fondo de los filtros por donde pasa el agua filtrada por medio de una tubería, para ser llevada al proceso de desinfección, los materiales que componen esta estructura son de antracita, arena media, granate y grava.

Otro aspecto fundamental evaluado en el proceso, corresponde a las características geométricas de la unidad y sus componentes, por ejemplo, que las válvulas, tuberías y canales aquí empleados primero estén en óptimo funcionamiento y que además sus tamaños y dimensiones estén acordes al tamaño o área de filtración, que cuenten con la capacidad para proveer y extraer el agua filtrada sin retrasar el proceso. Por otro lado, se realiza la evaluación de la caja de filtro, que el falso fondo exista de antemano y que este en buenas condiciones, que se cuente con su respectivo sistema de drenaje lo cual permita que el agua ascienda en procesos de autolavado y descienda para el proceso de filtración, además, en esta área se realiza un detalle minucioso respecto al tamaño de los componentes del filtro teniendo en cuenta las características promedio del agua a filtrar, el tamaño del filtro y el caudal filtrado, con el objetivo de anticipar un mal tratamiento o un retraso en el proceso de filtración.

Datos de filtros		
Ancho	1,42	m
Longitud	4,20	m
Altura desde corona al lecho	1,6	m
Canales de lavado	2	Und
Numero de filtros	2	Und
Caudal de lavado	14,000	m^3
Caudal por filtro	13,9	lps
Área por filtro	5,96	m^2

Tabla 4: Datos filtración; Fuente: Propia

- Numero de filtros: $0{,}044 * \sqrt{Q} = 0{,}044 * \sqrt{2678} = 2$; observando el resultado, se confirma que la PTAP cumple con el numero de unidades de filtros, cabe aclarar que la planta por poseer un tanque de lavado de los filtros, la resolución 0330 de 2007 recomienda tener como mínimo 3 unidades. (Garavito, L. F. 1968).
- Tasa filtración: $Vf = \frac{Q}{Af} = \frac{1339\frac{m^3}{día}}{5{,}96m^2} = 405\,\frac{m^3}{m^2 * día}$; valor que según la resolución 330 no cumple con el rango establecida pero que está muy cercano al mínimo aceptable, la razón de esto se debe al pequeño caudal que maneja la planta por cada filtro y al cambio de materiales realizados anteriormente.
- % eficiencia: $\%E = \frac{(Turbiedad\ afluente - turbiedad\ efluente)}{turbiedad\ afluente} * 100 = \frac{(5{,}8UNT - 1{,}6UNT)}{5{,}8UNT} * 100 = 72\%$E
- Para el proceso de retro lavado, la planta cuenta con dos tanques de plástico con volumen de 10000 L cada uno, ubicados a 10 metros de distancia de los filtros y se cuenta con una electrobomba de 25HP para el sistema de retro lavado de forma ascendente, además la canaleta de recolección del agua de lavado está en perfecto estado y cuenta con el tamaño suficiente para la recolección del caudal usado en esta tarea.



Tabla 5: Tanques almacenamiento retro lavado; fuente: Propia

Desinfección

En la evaluación del proceso se analizaron los siguientes aspectos:

- Instalaciones: Tanto las instalaciones del proceso de cloración como el lugar donde este se almacena, deben cumplir una serie de requisitos y estándares que logren facilitar la operación del sistema en forma segura y prevenir accidentes laborales, algunos de estos requisitos son el buen estado general de las estructuras, aislamiento de otras instalaciones o procesos, libre de humedad, buena ventilación y sistemas de seguridad de ingreso y salida en buen estado.
- Alarmas: Se identifico que el sistema de alarmas por posibles fallas en el proceso, derrames o fugas de sustancias, existiera y estuviera en buen estado.
- EPP: Verificar que el personal que ingresa a la planta, específicamente que esté involucrado con el proceso de desinfección, esté utilizando los diferentes elementos de protección personal, además que el lugar de almacenamiento de estos elementos de protección se encontrara en buen estado y fuera del lugar del proceso de cloración.
- Capacidad del almacén: El almacén debe contar con suficiente especio para lograr un buen almacenamiento de las cantidades periódicas de cloro granulado que se traen, permitiendo el movimiento dentro de la estructura y almacenar de forma óptima y en orden cronológico cada uno de los productos recibidos.
- Sistema de emergencia: La planta debe contar con un sistema automático de emergencia, en caso de ocurrencia se pueda seguir con el proceso sin

alteraciones ni retrasos, caso puntual y más común, es la ausencia o fallas en el fluido eléctrico, por ende, se debe contar con una planta de energía que supla la necesidad por el periodo de ausencia del fluido del servicio público.

- Dosificadora: Es uno de los componentes más importantes en este proceso, es el encargado de suministrar la concentración de cloro optimo en todo el proceso de operación de la planta, por ende, se verifica que esta se encuentre en un perfecto estado, funcionando de la mejor manera, dosificando la dosis que se requiere, se encuentren ubicados en un lugar estratégico, fuera de peligro de golpes o de sufrir algún daño.



Tabla 6: Dosificadora de cloro en mal estado; Fuente: Propia

- Por último, se evalúa la concentración de cloro suministrada, identificando la cantidad y los métodos utilizados por el operador para el proceso.



Tabla 7: Tanque de almacenamiento dilución cloro; Fuente: Propia

Realizado la verificación, se encuentran algunas fallas en el proceso, la primera de ellas es el estado de la dosificadora y el tiempo de uso que esta tiene, donde se observa a simple vista que se encuentra en mal estado debido al tiempo de uso y a algunos golpes que esta ha recibido a causa del lugar donde se ubica para su trabajo, siendo una superficie elevado de 30 cm por 20 cm donde reposa este importante equipo y que debido a las vibraciones por su operación ha presentado caídas y daños en su estructura; además de esto, se suma el tiempo de servicio que tiene la dosificadora y la vida útil en horas que establece la ficha técnica del equipo, donde de 8 años de uso que recomienda la fábrica, este equipo lleva 11 años en uso.

Por otro lado, el tanque de 500 L donde se realiza el proceso de dilución del cloro granulado se encuentra algo deteriorado por su uso y por estar expuesto al sol y al agua.



Ilustración 39: Tanque almacenamiento dilución cloro; Fuente: Propia

Distribución

En el proceso de distribución se realiza un inventario de las diferentes redes existentes, identificando el estado de las mismas, la cobertura en el casco urbano y el tipo de tubería que se encuentra en funcionamiento; además se realiza un inventario de los contadores que se encuentran instalados en el municipio, identificando cuales están en buen estado y operando, con el objetivo de lograr implementar una tasa de cobro por consumo.

El primer aspecto que se destaca en este paso es que la cobertura en el municipio aun no es total, de los 11 barrios legales del municipio, aún hay 3 sin el servicio de acueducto; el estado de la red de tuberías del sistema en su mayoría está en

buenas condiciones ya que la unidad ha venido realizando cambios y reparaciones en esta.

La mayor problemática que se ve en este proceso se relaciona con el cobro por consumo de agua en los usuarios, el problema radica en que la unidad de servicios no tiene aún la totalidad de los contadores instalados y los pocos que están instalados no están funcionando de manera correcta, debido a esta problemática, se presentan grandes pérdidas económicas que afectan la unidad, ya que por ello no se pueden realizar inversiones y mejoras en el servicio.



Ilustración 40: Cobertura acueducto; Fuente: Propia

Laboratorio

En la PTAP municipal se cuenta con algunos equipos para realizar medición de parámetros de forma instantánea en los diferentes puntos que se requiere, dichos equipos pertenecientes a la unidad de servicios públicos, los cuales en su mayoría se adquirieron en el año 2021 directamente de las fábricas, están actualmente calibrados y en buen estado, el listado de equipos que encontramos son los siguientes:

- Medidor multiparamétrico Hl98194: Es un medidor portátil impermeable con registro que monitorea hasta 12 parámetros de calidad del agua, los cuales 6 son medidos y 6 calculados. La sonda multisensor con microprocesador permite la medición de parámetros claves como son pH, ORP, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura.

- Turbidímetro: Instrumento marca Hanna Instruments modelo Hi 9870-01, instrumento diseñado para medir la calidad del agua, proporcionando una lectura fiable y precisa en valores de turbidez baja, midiendo valores en el rango 0,00 a 1000 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbiedad), el proceso de medición se basa en los principios sobre la turbiedad, donde esta se puede definir como la propiedad óptica que hace que la luz sea dispersada y absorbida, en lugar de ser transmitida. La dispersión de la luz que pasa a través de un líquido es causada principalmente por solidos suspendidos, siendo así que, con una mayor turbidez en el agua, es una cantidad mayor de luz dispersada; el medidor Hanna se basa en un sistema óptico, que gracias a un sistema conformado principalmente por un microprocesador y dos detectores (90° y 180°) se tomen lecturas y datos de un haz de luz que se envía a través de la muestra de agua a medir, teniendo la capacidad de identificar muchas de las variables que afecta la intensidad y la forma de la luz dispersada, como lo son la longitud de onda de la luz incidente, tamaño de las partículas, forma, índice de refracción y color.
- Colorímetro de color de agua Hl 727: El color aparente del agua es aquel en el que aún se encuentra materia en suspensión, el color real es el color del agua luego de haber retirado la turbiedad (materia en suspensión), para la medición de este parámetro se usan Unidades de Platino Cobalto (UPC) y la AWWA admite valores máximos de 15 UPC.

  Equipo rápido y fácil de usar, para medir un solo parámetro en el sitio, con rango de 0 a 500 UPC, con dos recipientes de vidrio de 10 ml, uno para calibrar (agua desionizada) y el otro para realizar la medición de la muestra.
- Colorímetro para cloro libre Hl 701: Dispositivo diseñado para realizar la medición de cloro libre en una muestra de agua, de forma fácil, rápida y en el lugar de trabajo, con rango desde 0 hasta los 250 ppm (mg/L) para cloro libre y desde 0 hasta 350 ppm (mg/L) para cloro total.
- Test de jarras: Es una herramienta del laboratorio para calcular la dosificación optima de coagulante y regulador de pH, para este caso de sulfato de aluminio y soda caustica, el equipo actualmente está en buen estado y se utiliza a diario al iniciar las jornadas en la planta de potabilización.



Ilustración 41: Equipos laboratorio

Sala de control

La sala de control de la planta solo cuenta con un tablero en el cual se da inicio o fin a la operación de la planta como tal, se encuentra ubicado en una sala, cerca de la entrada de la planta y la sala es compartida con dos electrobombas que envían el agua a los tanques elevados para su almacenamiento; cabe recalcar que el tablero funciona de manera correcta, dando la opción desde allí de encender o apagar las electrobombas ubicadas en la bocatoma y controlar los demás procesos dentro de la planta.



Ilustración 42: Panel de control

Oficinas

Las oficinas principales del servicio de acueducto están ubicadas en la alcaldía municipal, ubicada a 790 m de la planta, allí funciona la unidad de servicios públicos, es el lugar donde se tiene toda la información sobre el servicio, se atiende al personal, se cobra por el servicio y demás. En las instalaciones de la planta, se encuentra una pequeña oficina donde se tienen los registros de las mediciones diarias de los parámetros que se toman en los diferentes procesos.



Ilustración 43: Oficina ubicada en la Planta; Fuente: Propia

Zona de esparcimiento

La planta cuanta con una amplia zona verde, fresca y limpia, la cual permite que las personas que allí trabajan encuentren lo necesario para esparcirse un poco.



Ilustración 45: Zonas verdes de descanso; Fuente: Propias



Ilustración 44: Zona de descanso; Fuente: Propia

Otros componentes

Según el nivel de complejidad del municipio, el cual corresponde a un nivel de complejidad de **sistema bajo,** dentro del diseño del edificio de operación deben contemplarse los siguientes ambientes:

- Sala de dosificación de coagulantes, alcalinizantes, etc.
- Laboratorio equipado como mínimo con la dotación básica para realizar los ensayos de prueba de jarras, demanda de cloro, turbiedad, color y pH.
- Oficina del administrador.
- Bodega general para almacenamiento de productos químicos y repuestos.
- Servicios sanitarios

Aunque la planta cumple con la mayoría de los ambientes que debe contener el edifico de operación contemplado en el titulo C del reglamento técnico de agua potable (RAS 2000), debido a la falta de recursos para inversión y optimización, en el lugar aún faltan algunos procesos y componentes importantes, los cuales permitirían mejores resultados, sumado a esto, también están ausentes algunos aspectos y estructuras que dentro del sistema de Seguridad y Salud en el Trabajo (SST) son necesarios y requeridos, en ellos encontramos el parqueadero tanto de operarios como de visitantes, un vestuario, cafetería o cocina, baños tanto para operarios como visitantes, cuarto de aseo separado, oficinas del laboratorio, laboratorio fisicoquímico y microbiológico, sala de reuniones, oficina del ingeniero y un punto de encuentro seguro para reacción inmediata ante cualquier accidente o emergencia.



Ilustración 47: Baño para operario, ubicado en el laboratorio; Fuente: Propia



Ilustración 46: Kit primeros auxilios; Fuente: Propia



Ilustración 49: EPP; Fuente: Propia



Ilustración 48: Punto ecológico y desinfección; Fuente: Propia

Cumplimiento normativo

Para este proceso se revisan los pasos realizados dentro de la planta de potabilización y los resultados en cuanto a calidad del agua tratada, para eso se tiene en cuenta las mediciones periódicas de parámetros antes y después de los diferentes procesos, así como de la calidad del agua en proceso de distribución tomada en puntos estratégicos de muestreo en el municipio; además se realiza la evaluación y verificación de otros componentes de cada uno de los procesos realizados, como lo son, la parte locativa, el personal que allí opera, la frecuencia de prestación del servicio, el porcentaje de cobertura, entre otros.



Ilustración 50: Distribución puntos de muestreo; Fuente: Google Earth

Como se puede observar, en la imagen se detalla la distribución de los 5 puntos de toma de muestras distribuidos estratégicamente en el municipio, en este aspecto se observó una problemática relacionada con las estructuras hechas para la toma de muestras, básicamente porque eran cajones en concreto de muy pequeño tamaño sobre el nivel del suelo, lo que dificultaba la toma de muestra de agua, el ingreso de residuos, agua y animales a las bajas, por ende, se plantea y se desarrolla una modificación en dichas estructuras, aumentando su tamaño y aumentando su altura a 80 cm del nivel del suelo.

Puntos de muestreo	
 *Ilustración 51: Punto 1*	 *Ilustración 52: Punto 2*
 *Ilustración 53: Punto 4*	 *Ilustración 54: Punto 3*

La prestación de servicios públicos se rige bajo un conjunto de normas las cuales tienen injerencia en todo el territorio nacional, en ellas se plasman muchos o todos los estándares de calidad y otros aspectos que estos deben de cumplir desde sus procesos administrativos hasta sus procesos operativos; según la ley 142 de 1994 "***Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.”***, los servicios que componen o que deben estar en el grupo de públicos y domiciliarios son los servicios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, telefonía pública básica conmutada, telefonía móvil rural, y distribución de gas combustible.

Para el caso del servicio público de acueducto, la misma ley lo define como “la distribución municipal de agua apta para el consumo humano, incluida su conexión

y medición. También se aplicará esta ley a las actividades complementarias tales como captación de agua y su procesamiento, tratamiento, almacenamiento, conducción y trasporte.” Siendo esta la norma principal para poderse otorgar los permisos para operar como empresa prestadora de servicios públicos sin importar si es de carácter público, privado o mixto.

En temas de calidad del agua, es en la resolución 2115 de 2007 la encargada de establecer los niveles permisibles en cuanto a calidad y otros aspectos en el servicio de acueducto y es con el uso de esta resolución que se identifica el nivel de riesgo que tiene la prestación del servicio a una comunidad determinada; para este caso, primero se evalúa los aspectos en cuanto a calidad por niveles permisibles de algunos parámetros o características del agua y posteriormente se evalúan otros aspectos del sistema, como lo son la cobertura, la preparación y conocimiento de sus operarios, entre otros aspectos.

La resolución está conformada por 37 artículos, dentro de ella se puede encontrar definiciones, el objetivo de la norma, bases y lo más importante, aquí se encuentra los valores máximos y mínimos, es decir los valores permisibles para algunas características en cuanto a la calidad del agua, las cuales van a ser requeridas dependiendo del nivel de complejidad del municipio donde opere la planta y los requerimientos establecidos por la autoridad ambiental y sanitaria; además aquí se encuentran los instrumentos para calcular el nivel de riesgo del servicio hacia la comunidad, se calcula mediante la asignación de valores o puntajes a cada uno de los parámetros que estén fuera de los valores permitidos por la norma, sumado a esto, se evalúa tanto la cobertura del sistema, la forma o métodos usados para aumentar su cobertura y se adiciona la puntuación por la preparación o estudio de cada uno de los trabajadores involucrados en el proceso. La suma de estos puntajes asignados a cada uno de los aspectos es lo que finalmente establecen el IRCA (Índice Riesgo de Calidad del Agua) siendo esta la herramienta que decide si una planta puede o no seguir operando de la forma en que lo está haciendo o requiere algunos ajustes o cambios en su modo de operar.

Teniendo en cuenta los valores establecidos y permitidos por las autoridades, junto con los demás requisitos de operación mencionados en la resolución 2115 de 2007, se procede a realizar la verificación y análisis de los valores tomados en la planta y los puntos de muestreo durante un lapso determinado, para ello se muestran los últimos resultados obtenidos, para el caso de parámetros diarios, se toman algunos de los valores más elevados en cada característica medida.

Medición de parámetros puntuales

Dicho proceso se llevó fue desarrollado por el pasante de ingeniería sanitaria, el cual se encargó de la toma de muestras, medición de parámetros puntuales y se encargó de guiar y corregir al operador encargado anteriormente de este proceso, el cual tenía falencias en la toma de dichas muestras; esta actividad se realizó por un periodo de dos meses, durante los siete (7) días de la semana en las horas de operación de la planta y prestación de servicio.

El desarrollo se divide en tres partes, el primero se llevó a cabo en el laboratorio, por medio del uso del ensayo de jarras, este proceso se realizaba antes de iniciar la operación de la planta, entre las 5:30 de la mañana y las 6:30, con esto se buscaba hallar la dosificación óptima de sulfato de aluminio y soda caustica para iniciar con la prestación del servicio; en dicho proceso se realiza la medición de parámetros como pH, Temperatura, Turbiedad, Color y Conductividad, y se lleva el respectivo registro en el siguiente formato:

UNIDAD DE SERVICIOS PBLICOS						CODIGO				OPERADOR					
						ENSAYO DE JARRAS				COORDINADOR					
ELABORO		APROBO						VERSION					FECHA		
PRUEBA DE JARRAS							#		Q EN PLANTA						
AGUA CRUDA						DOSIFICACION		pH con CAL	AGUA DOSIFICADA				AJUSTE A PLANTA		
#	Ph	T°	COND.	COLOR	TURBIEDAD	SULFATO ppm	SODA ppm		TURBIEDAD	COLOR	T°	Ph	SULFATO (g/min)	SODA (g/min)	
1															
2															
3															
4															
5															
6															

Ilustración 55: Formato datos ensayo de jarras; Fuente: Propia

En la Ilustración 55 se evidencia el formato para registro de los parámetros medidos antes de realizar el proceso de dosificación y después de este en el ensayo de jarras, así se podría identificar de manera rápida y fácil la efectividad de la dosificación realizada, para posteriormente implementarla escala real en la potabilización del agua



Ilustración 56: Medición en laboratorio; Fuente: Propia

Como se observa en la Ilustración 56 se está realizando el proceso de medición de parámetros con los equipos del laboratorio y se lleva el

registro, tanto documento físico como en equipo de cómputo, esto desarrollado por el pasante, con apoyo del técnico en de planta.

El siguiente paso o componente es la medición de parámetros en algunos puntos estratégicos de la planta, principalmente en el ingreso a la estructura, en la coagulación y en la cloración, esto con el objetivo de lograr identificar si en alguno de los pasos realizados las características del agua cambiaban de manera significativa, pudiendo identificar fallas en los procesos y proponer soluciones inmediatas; durante el tiempo de observación, se evidenciaba una variación constante en el caudal de entrada a la planta, principalmente en épocas de verano o sequias, cuando el nivel del agua era bajo y en el proceso de captación se lograba filtrar greda o barro, alterando drásticamente la turbiedad y otros parámetros, siendo necesario aumentar la dosificación y mover la manguera de aducción del punto donde se encontraba; por otro lado, en la coagulación, en ocasiones se modificaba el pH por la adición del sulfato de aluminio y la soda, por ello era necesario volver a realizar ensayo de jarras y calcular una nueva dosificación.

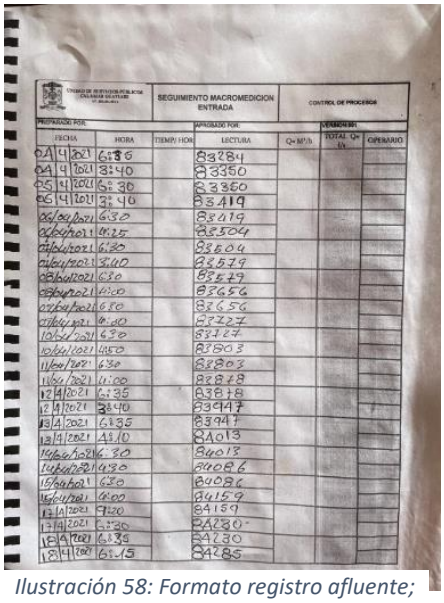


Ilustración 58: Formato registro afluente; Fuente: Propia

UNIDAD DE SERVICIOS PUBLICOS EN CLAMAR							SEGUIMIENTO MACROMEDICION DE SALIDA									CONTROL DE PROCESOS						
PREPARADO POR:										APROBADO POR:										VERSION:		
MES:																						
DIA	ENTRADA A LA PLANTA						DOSIFICACION QUIMICA			ENTRADA A FILTROS			SALIDA FILTROS			SALIDA PLANTA						
	HORA	CONDT	T°	TURBIEDAD	COLOR	PH	g/min SODA	g/min SULFATO	g/h HIPOCLORITO	TURBIEDAD	COLOR	PH	TURBIEDAD	COLOR	PH	TURBIEDAD (2 UNT)	COLOR (15 UPC)	CLORO (0,3 - 2)	CLORO TOTAL	CONDUCTIVIDAD	PH (6,5 - 9)	OPERARIO
1																						
2																						
3																						
4																						
5																						
6																						
7																						
8																						
9																						
10																						
11																						
12																						
13																						
14																						
15																						
16																						
17																						
18																						
19																						

Ilustración 57: Formato control parámetros dentro de la PTAP; Fuente: Propia

En la Ilustración 57 se puede evidenciar el formato que se utilizó en la planta para llevar el registro y control de los parámetros medidos en el ingreso de la planta, en los procesos de coagulación, filtración y cloración; se observa la medición de conductividad, turbiedad, temperatura, color, pH y cloro.

El tercera parte de este proceso consistió en las mediciones diarias en los 5 puntos de muestreo ubicados en el casco urbano, esto con el objetivo de garantizar que el agua estuviera llegando a toda la zona y lograr medir la calidad con la que estaba llegando a los domicilios y lugares de comercio, para ello se utiliza un formato sencillo en el que se registran los parámetros de pH, turbiedad, color, cloro residual y temperatura; dicho formato se llenaba por hora o por muestra medida en cada uno de los puntos:

Fecha:			Hora:
Parámetro	**Valor obtenido**	**Lugar de medición**	**Cumple / No Cumple**
pH			
Temperatura			
Turbiedad			
Color			
Cloro residual			

Tabla 8: Formato medición parámetros; Fuente: Propia

En los siguientes cuadros se presentan los promedios de los valores obtenidos por cada una de las semanas en las que se realizó el ejercicio de medición en los puntos de muestreo:

Mes #1 – Semana 1			
Parámetro	Valor obtenido	Lugar de medición	Cumple / No Cumple
pH	6,4	Punto 3	Cumple
Temperatura	22,5 °C	Punto 1	Cumple
Turbiedad	2,2 UNT	Punto 5	No Cumple
Color	14 UPC	Punto 5	Cumple
Cloro residual	2,1 Mg/L	Planta	No Cumple
Mes #1 – Semana 2			
Parámetro	Valor obtenido	Lugar de medición	Cumple / No Cumple
pH	6,7	Planta	Cumple
Temperatura	24,5 °C	Planta	Cumple

Turbiedad	2,0 UNT	Punto 5	Cumple
Color	16 UPC	Punto 5	No Cumple
Cloro residual	1,9 Mg/L	Planta	Cumple
Mes #1 – Semana 3			
Parámetro	Valor obtenido	Lugar de medición	Cumple / No Cumple
pH	6,1	Punto 2	Cumple
Temperatura	25,8 °C	Punto 4	Cumple
Turbiedad	1,9 UNT	Punto 5	Cumple
Color	13 UPC	Punto 2	Cumple
Cloro residual	1,8 Mg/L	Planta	Cumple
Mes #1 – Semana 4			
Parámetro	Valor obtenido	Lugar de medición	Cumple / No Cumple
pH	6,7	Punto 4	Cumple
Temperatura	20,5 °C	Planta	Cumple
Turbiedad	2 UNT	Punto 2	Cumple
Color	14 UPC	Punto 2	Cumple
Cloro residual	2,0 Mg/L	Punto 1	Cumple
Mes #2 – Semana 1			
Parámetro	Valor obtenido	Lugar de medición	Cumple / No Cumple
pH	6,9	Punto 5	Cumple
Temperatura	21,5 °C	Punto 1	Cumple
Turbiedad	2 UNT	Punto 3	Cumple
Color	14 UPC	Punto 3	Cumple
Cloro residual	1,7 Mg/L	Punto 1	Cumple
Mes #2 – Semana 2			
Parámetro	Valor obtenido	Lugar de medición	Cumple / No Cumple
pH	7	Punto 3	Cumple
Temperatura	19,5 °C	Punto 1	Cumple
Turbiedad	1,4 UNT	Punto 2	Cumple
Color	12 UPC	Punto 5	Cumple
Cloro	2 Mg/L	Planta	Cumple

residual			
Mes # 2 – Semana 3			
Parámetro	Valor obtenido	Lugar de medición	Cumple / No Cumple
pH	7	Punto 3	Cumple
Temperatura	22,5 °C	Planta	Cumple
Turbiedad	1,5 UNT	Punto 3	Cumple
Color	12 UPC	Punto 4	Cumple
Cloro residual	2 Mg/L	Planta	Cumple
Mes #2 – Semana 4			
Parámetro	Valor obtenido	Lugar de medición	Cumple / No Cumple
pH	7,2	Punto 5	Cumple
Temperatura	21,5 °C	Punto 4	Cumple
Turbiedad	1,2 UNT	Punto 2	No Cumple
Color	10 UPC	Punto 2	Cumple
Cloro residual	1,4 Mg/L	Punto 5	No Cumple

Tabla 9: Formato parámetros medidos; Fuente: Propia

Se presentan los valores por semana ya que el ejercicio de medición en algunas ocasiones se realizó más de una vez al día, sin embargo, se puede afirmar que, pese al pequeño tamaño de la planta, los parámetros medidos en los puntos de muestreo diarios, muy pocas veces y por valores mínimos están por fuera de los permitidos en la normatividad, en la Ilustración 59 y la Ilustración 60 podemos observar la medición de parámetros puntuales con el uso de equipos como el turbidímetro y el multiparamétrico en los punto 1 y 3 de muestreo, proceso realizado junto con el operario de la planta de potabilización.



Ilustración 60: Medición parámetros; Fuente: Propia



Ilustración 59: Medición parámetros; Fuente: Propia

Medición de muestras en laboratorio

Es un paso fundamental para la evaluación de la calidad del servicio, dicho proceso de realiza una vez al mes, el ejercicio consiste en tomar muestras aleatorias del efluente de la planta de potabilización y enviarlas a un laboratorio en la ciudad de Villavicencio, en donde se tiene un convenio con el laboratorio ALFAMPAR S.A.S., se aclara que el procedimiento de toma de muestras, almacenamiento, envió y rotulación se encuentran bajo los estándares exigidos por la ley, el laboratorio realiza la medición de los parámetros que se les indica y por medio de correo se realiza paso de información hacia la unidad de servicios en el municipio de Calamar, el tiempo que transcurre entre el envío de las muestras y la obtención de información puede variar, aunque normalmente se tarda de 24 a 48 horas en retornar la información con los valores de los parámetros de las muestras, para que seguido a esto y teniendo en cuenta los parámetros que están incumpliendo los valores permisibles se realice las acciones pertinentes para solucionar dicha problemática, posteriormente se vuelve a tomar las muestras y se repite el proceso hasta que el problema subsane y todos los parámetros estén en el rango permitido. Los parámetros que se solicita medir son los siguientes con sus respectivos valores del último mes:



ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
Dra. AMPARO RESTREPO DE ÁVILA

ALFAMPAR S.A.S.
NIT: 900.129.681-6
CRA 38 #35-16 BARZAL

Informe de Resultados
Nº de Análisis: A / 29235

Identificación del Cliente

Cliente	MUNICIPIO DE CALAMAR	Dirección	ED PALACIO MUNICIPAL
NIT	800.191.431-1	Departamento	GUAVIARE
Teléfonos	3174027746 3164660379 3204768673	Municipio	CALAMAR

Identificación de la Muestra

Tipo de muestra	AGUA POTABLE (IRCA)	Fecha Toma Muestra	9/09/2022 6:00:00
Lugar de Toma	CRA 6 CON CALLE 14 B/ INDEPENDENCIA	Fecha Recepción Muestra	9/09/2022 15:45:00
Punto de Toma	PUNTO Nº 4	Fecha Inicio Análisis	9/09/2022 15:50:00
Responsable Toma y Transporte	EMPRESA	Fecha Dictamen	19/09/2022 13:52:10

ANALISIS AGUAS POTABLES CON CLORUROS Y MESOFILOS

PARÁMETRO	RESULTADO		MÉTODO ANALÍTICO	VALOR ADMISIBLE
GRUPO FÍSICO-QUÍMICO				
Color	<5	UPC	SM 2120-B-C	Hasta 15 UPC
pH	7,07	udes. pH	SM 4500-B	6.50 - 9.00 Unidades de pH
Conductividad	104	µS/cm	SM 2510-B	Hasta 1000 µ S/cm
Turbiedad	0,75	UNT	SM 2130-B	Hasta 2 UNT
Cloro Residual Libre	1,61	mg/l	SM 4500-G	0.3 - 2.0 mg/l
Cloro Total	1,65	mg/l	SM 4500-G	Hasta 2 mg/l
Dureza Total	9	mg/l	SM 2340-C	Hasta 300 mg/l
Calcio	3,6	mg/l	SM 3500-D	Hasta 60 mg/l
Magnesio	0,00	mg/l	SM 3500-B	Hasta 36 mg/l
Alcalinidad	4,5	mg/l	DIN-ISO 9963-1(D23-2C24	Hasta 200 mg/l
Nitratos	<4	mg/l	SM 4500-H	Hasta 10 mg/l
Nitritos	<0,02	mg/l	SM 4500-B	Hasta 0.1 mg/l
Sulfatos	30	mg/l	SM 4500-E	Hasta 250 mg/l
Hierro	<0,1	mg/l	SM 3500-B	Hasta 0.3 mg/l
Cloruros	2	mg/l	SM 4500-G	Hasta 250 mg/l
Sólidos Disueltos Totales	50	mg/l	Electrométrico	mg/l
GRUPO MICROBIOLÓGICO				
E. Coli	0	ufc/100ml	SM 9222-J	0 ufc/100ml
Coliformes totales	0	ufc/100ml	SM 9222-J	0 ufc/100ml
Mesófilos	* 110	ufc/100ml	SM 9215-D	100 ufc/100ml

IRCA por Muestra	Nivel de Riesgo
00 %	Sin riesgo - Agua apta para consumo humano

Legislación de la Muestra

Res. 2115/2007

Dra. AMPARO RESTREPO DE ÁVILA — BACTERIOLOGÍA
Dra. AMPARO RESTREPO DE ÁVILA
Ing. Químico ALFONSO ÁVILA CAMPOS

Los valores marcados con el signo * indican que el resultado obtenido no cumple con los riesgos admisibles según la normativa.
Los análisis hacen referencia exclusivamente a las muestras recibidas en el diaphora indicadas en este informe o la muestra tal como se recibió del cliente.
El Laboratorio no se hace responsable de la información suministrada por el cliente asociada a la toma y cuyo desviaciones que puedan afectar la validez de los resultados.
Este informe no podrá ser reproducido ni total ni parcialmente sin el consentimiento del Laboratorio.
El plazo máximo para cualquier observación sobre los resultados de este informe es de 3 días hábiles contados a partir de la fecha de expedición del mismo.
**El presente documento es válido únicamente si tiene el sello seco.

Página 1 de 1

REGISTRO PXCCAP - AUTORIZADO POR EL MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL - RESOLUCIÓN 172 DEL 4 DE FEBRERO DEL 2022

Ilustración 61: Resultados laboratorio; Fuente: Alfampar S.A.S.

El laboratorio se encarga de enviar los resultados en el menor tiempo posible, con los respectivos parámetros y valores para cada uno de ellos, en la Ilustración 61 se observa el respectivo reporte del mes de septiembre del año 2022, con el respectivo análisis del valor IRCA por muestra, teniendo en cuenta los valores arrojados en el análisis de la muestra; De los 16 parámetros físico-químicos

evaluados, ninguno de ellos está por fuera de los valores aceptables, por otra parte, en cuanto al valor de los parámetros microbiológicos, los valores para E. Coli y Coliformes totales están en el valor exigido, a diferencia el valor de los Mesófilos esta 10 ufc por encima del valor máximo permitido, siendo este parámetro indicativo de contaminación general, dichos organismos resisten las temperaturas medias, siendo algunos de ellos patógenos y otros no nocivos, donde los primero de ellos se encuentran normalmente en pequeñas cantidades en las aguas ricas en nutrientes, por ende los mesófilos, por sí solos, no son prueba de contaminación pero son sinónimo de alerta y precaución. El valor IRCA por muestra se sostuvo en un 0,0%, representando un nivel de riesgo "sin riesgo" siendo este el mejor resultado esperado, siendo un agua apta para consumo humano y se recomienda continuar con la vigilancia.

- *Calculo IRCA por muestra*:

$$IRCA\ (\%) = \frac{\sum puntajede\ riesgo\ asignado\ a\ las\ carcateristicas\ no\ aceptables}{\sum puntajes\ de\ riesgo\ asignados\ a\ todas\ las\ carcateristicas\ analizadas} * 100$$

Calculado el IRCA, se procede a calcular el índice de riesgo municipal por abastecimiento de agua para consumo humano (IRABAm), dicho valor oscilará entre cero (0) y cien (100) puntos, donde cero (0) corresponde al cumplimiento de las condiciones aceptables para cada uno de los criterios de tratamiento, distribución y continuidad del servicio y cien (100) puntos para el más alto riesgo cuando no cumple ninguno de ellos. (social, 2007).

$$IRABAm = \left(\frac{\sum IRABApp}{tpp}\right)(0{,}6) + (IRDm)(0{,}4)$$

Donde:

m = Municipio.
pp = Persona prestadora.
tpp = Total de personas prestadoras en el municipio que calcularon el IRABApp.
IRABApp = Índice de riesgo por abastecimiento de agua de la persona prestadora.
IRDm = Índice de riesgo por distribución en el municipio. Es un indicador que tiene por objeto determinar el riesgo en salud humana por la forma como se distribuye el agua en el municipio. El máximo puntaje equivale a 100 puntos.

Para calcular el *IRABAm*, es necesario el cálculo de otros valores, tales como el *IRABApp* y el *IRDm:*

- ***Calculo IRABApp**:*

$$IRABA\ pp = 100 - (IT + IC)$$

Pp: persona prestadora.

IT: Índice de tratamiento: Es el puntaje que se asigna al evaluar los procesos de tratamiento, ensayos básicos de laboratorio en planta de tratamiento y trabajadores certificados de la persona prestadora. El máximo puntaje equivale a ochenta (80) puntos.

IC: Índice por continuidad: Es el puntaje que se asigna a la persona prestadora, con la información de continuidad de su área de influencia. El máximo puntaje equivale a veinte (20) puntos.

- ***Calculo Índice por continuidad**:*

$$IC = \frac{\sum(Nhs) * (Ps)}{730 * (Pt)} * \frac{24h}{día}$$

Nhs) = Número de horas prestadas en un mes en el sector
(Ps) = población servida del sector
730 = Número de horas que tiene un mes
(Pt) = población total servida por la persona prestadora.

- **Cálculo del índice de riesgo por distribución en el municipio (IRDm**), se tendrá en cuenta la siguiente fórmula:

$$IRDm = 100 - [(E1x\%Red) + (E2x\%Pilas) + (E3x\%Carrotanque) + (E4xOtros) + (G * F)]$$

Donde:

% Red = Fracción porcentual del total de la población en el municipio que recibe agua para consumo humano por medio de una red de distribución.

% Pilas = Fracción porcentual del total de la población en el municipio que recibe agua para consumo humano por medio de pilas públicas.

% Carrotanques = Fracción porcentual del total de la población en el municipio que recibe agua para consumo humano por medio de carrotanques.

% Otros = Fracción porcentual del total de la población en el municipio que recoge agua para consumo humano directamente de pozos, lluvias, fuentes superficiales, garrafas, baldes, etc.

G = Número de total de conexiones domiciliarias/ Número de viviendas

F = Constante, valor de 10.

Teniendo en cuenta características del sistema de acueducto del municipio y de la planta San francisco de Asís, se realiza el proceso de evaluación y se halla el índice de riesgo, para ello se realizan las siguientes operaciones:

- ***IRABAm* para PTAP en el municipio de Calamar Guaviare**:

$$IRABAm = \left(\frac{\sum IRABApp}{tpp}\right)(0{,}6) + (IRDm)(0{,}4)$$

Para el cálculo del *IRABAm* se procede a calcular otros valores incognitos presentes en la ecuación, correspondientes al *IRABA* por persona prestadora y al índice de riesgo por distribución.

- **Cálculo del *IRABApp* para PTAP en el municipio de Calamar Guaviare**:

$$IRABA\ pp = 100 - (50 + 0) = 35$$

Valor Índice de Tratamiento se calculó teniendo en cuenta la suma entre los tratamientos realizados, la dotación de equipos en el laboratorio y la preparación y certificación de los trabajadores.

Para el puntaje por dotación de equipos de laboratorio para el tratamiento de agua se realiza teniendo en cuenta cuales equipos posee la planta y se le asigna un valor de 3 puntos por cada equipo, para la PTAP San Francisco de Asís se asignaron un total de 15 puntos ya que se cuenta con la totalidad de equipos para la medición de dichos parámetros.

Para el tercer criterio se tiene en cuenta la certificación de los trabajadores directamente involucrados con la plata, donde teniendo en cuenta el porcentaje de trabajadores certificados se asigna un respectivo puntaje, en la planta municipal se cuenta con 3 trabajadores directamente relacionados con la planta, de los cuales 2 de ellos cuentan con la respectiva certificación referente al plan nacional de capacitación y asistencia técnica para el sector de agua potable, saneamiento básico y ambiental.

Al revisar los 3 criterios de puntuación y realizar la respectiva suma para el cálculo del valor del Índice de Tratamiento (IT) obtenemos los siguientes puntos:

$$IT = 25 + 15 + 10 = 50\ puntos$$

Posteriormente se calculó el puntaje por índice de continuidad, teniendo en cuenta el área o zona de cobertura por persona prestadora del servicio en el total del área a prestar el servicio; para el caso del municipio, solo se cuenta con una prestadora del servicio en el área municipal urbana.

$$IC = \frac{120 * (900)}{730 * (900)} * \frac{24h}{día} = \frac{3{,}9h}{d}$$

Según el índice de continuidad, con valores inferiores a 10 horas/día, la continuidad es insuficiente y asigna un valor de 0.

Calculado el *IRABApp* se procede a calcular el índice de riesgo por distribución municipal para así poder lograr calcular el *IRABA* municipal, para el cálculo del *IRD* se tiene en cuenta lo siguiente:

- **Cálculo del *IRDm* para PTAP en el municipio de Calamar Guaviare**:

Para el cálculo del índice de riesgo por distribución se tiene en cuenta los diferentes métodos utilizados para la distribución de agua a la comunidad, cabe resaltar que en el municipio solo se utiliza la red de distribución para suplir esta necesidad en la comunidad, por otro lado, la población que no es atendida por el sistema, se abastece por medio de aljibes o perforados, consumiendo agua sin ningún tipo de tratamiento.

$$IRDm = 100 - \left[(90x82{,}3\%) + (50x0\%) + (10x0\%) + (5x17{,}7\%) + \left(\left(\frac{900}{1300}\right) * 10\right)\right] = 100 - (74{,}07 + 0 + 0 + 0{,}885) + (6{,}92)) = 18{,}125$$

Calculados los valores de *IRABApp* y el *IRDm* se puede calcular el valor *IRABAm*, junto con el valor del número total de personas prestadoras del servicio en el municipio, que para el caso corresponde a una sola entidad encargada de realizar esta actividad, obtenemos el siguiente resultado:

- **Calculo *IRABAm* para la PTAP municipio de Calamar Guaviare:**

$$IRABAm = \left(\frac{35}{1}\right)(0{,}6) + (18{,}125)(0{,}4) = \mathbf{28,25}$$

Finalmente se procede a dar un veredicto o clasificación final teniendo en cuenta los puntajes obtenidos en el cálculo del *IRABApp* y el *IRABAm,* y con dichos puntajes se establece un nivel de riesgo a la salud humana y se brindan unas acciones a desarrollar para mejorar el estado y los problemas presentes tanto en la planta como en el resto del sistema de acueducto.

Para el caso puntual del municipio de Calamar y su planta de potabilización, luego de realizar los cálculos, se clasifico en un rango entre *25,1 – 40* que establece un nivel de riesgo medio y a su vez ordena que la persona prestadora debe disminuir, mediante gestión directa, las deficiencias en el tratamiento y continuidad del servicio y para el municipio el alcalde propondrá y ejecutará acciones correctivas a mediano y largo plazo, para disminuir el índice de riesgo por distribución.

Para finalizar, se recalca la importancia de llevar un registro de los resultados en cuanto a calidad del agua, así como lo exige la resolución 2115 de 2007 en su artículo 23, donde indica que la persona prestadora del servicio debe llevar o tener un libro o registro sistematizado de control de la calidad de agua para consumo humano, es obligación mantenerlo actualizado y contener como mínimo la cantidad de agua captada (en la entrada de la planta de tratamiento); la cantidad de agua suministrada (contabilizada por medidores en red); los resultado de los análisis microbiológicos, físicos y químicos del agua, de acuerdo con los requerimientos mínimos señalados en la presente resolución; los resultados de los análisis físicos, químicos y microbiológicos adicionales definidos en el mapa de riesgo; la cantidad de productos químicos utilizados, tales como coagulantes, desinfectantes, alcalinizantes, entre otros; una bitácora o libro de novedades presentadas como anomalías, emergencias, problemas en equipos y personal, calidad de insumos y actos de orden público que puedan afectar la calidad en la prestación del servicio; por ultimo un registro de los resultados de las evaluaciones de demanda de cloro u otro desinfectante aprobado por el Ministerio de la Protección Social.

En la planta San Francisco de Asís, se resalta el uso de libros y formatos actualizados diseñados para llevar el registro de todo lo que ocurre y se realiza dentro de la planta y en el resto del sistema de acueducto, allí se incluye principalmente los resultados de las mediciones de los parámetros diarios, las anomalías en estos resultados, se registra además el caudal que ingresa a la planta pero desafortunadamente por falta de recursos, la unidad no cuenta con los medidores domiciliarios en todas las viviendas donde distribuye el servicio, por ende es imposible llevar la medición del agua suministrada a cada vivienda.



Ilustración 62: Toma muestra punto comercial; Fuente: Propia

Como se puede observar en la Ilustración 62, se desarrolla el proceso para la toma de una muestra de agua en un punto del sector comercial proveniente directamente del tanque de almacenamiento del sistema de acueducto, posteriormente se rotula, se almacena y se envía al laboratorio para la respectiva medición de parámetros. En la imagen se observa al operario de la planta junto con la ingeniera encargada de realizar la inspección de calidad por parte de la secretaria de salud departamental.

Este proceso de recolección y envío de muestras a un laboratorio en otra ciudad se realiza ya que ni en la planta ni en el municipio se cuenta con las personas o los equipos requeridos para dichas mediciones.

Los parámetros que el laboratorio se encarga de medir se centran principalmente en los que la autoridad sanitaria (secretaria de salud departamental) le exige a la unidad de servicios públicos para cumplir con lo exigido en la normativa nacional, teniendo en cuenta el nivel de complejidad y otras características del municipio y la planta de potabilización.

Otras actividades

En el tiempo de acompañamiento y desarrollo de pasantía, se realizaron acompañamientos a algunas actividades realizadas por la unidad de servicios, específicamente en lo relacionado con el sistema de acueducto, donde se rescatan las siguientes actividades:

- Actualización del catastro de las redes de acueducto del casco urbano municipal, donde se coordinó junto con algunos operarios y contratistas para llevar a cabo la actividad satisfactoriamente, donde se logra evidenciar la falta de contadores en gran parte de las acometidas del municipio, se logra sacar un valor exacto de las viviendas sin conexión al sistema de acueducto y se identifican 43 conexiones fraudulentas a la red.

- Charlas con la comunidad sobre uso racional del agua y manejo de las cuencas hídricas, actividad que se llevó a cabo en el barrio el centro y comuneros, en los principales establecimientos comerciales.
- Capacitaciones a los operarios de la planta en temas de seguridad y salud en el trabajo, uso adecuado de los químicos en el proceso de potabilización, manejo de equipos de laboratorio, toma adecuada de muestras y medición de parámetros.



Ilustración 63: Capacitación USP; Fuente: Propia



Ilustración 64: Capacitación USP; Fuente: Propia

Soluciones y alternativas

Teniendo en cuenta el estado de la planta y la organización que la unidad de servicios públicos tiene para la ejecución y desarrollo de modificaciones e inversiones en el sistema de acueducto, se proponen algunas soluciones o alternativas a los problemas y falencias encontradas en el sistema de acueducto del municipio, principalmente en la planta de tratamiento de agua potable San Francisco de Asís.

- Captación y aducción:

Para el proceso de captación se plantean algunos modificaciones o cambios en cuanto a estructura principalmente:

- Mantenimiento a la barcaza: Cambio de pintura, mejoramiento en el cerramiento de las electrobombas y cambio o arreglo del techo para impedir el ingreso del agua por precipitaciones.
- Escaleras de acceso: Se requiere la instalación de unas escaleras plegables para el ingreso a la barcaza para temas de revisión y

mantenimiento por parte de los trabajadores, preferiblemente que se pueda asegurar para que las personas que visiten el lugar no se la lleven o la muevan del sitio.

- Cambio en el cableado: Se requiere una modificación o arreglos en el cableado presente sobre la barcaza, que llevan energía a las electrobombas, ya que estos se encuentran en mal estado.
- Manguera de succión: En la actualidad se encuentra desgastada y presenta fugas, requiere cambio.
- Mantenimiento y revisión periódico a las tuberías que transportan el agua hasta la planta, verificando que las tuberías estén en buen estado y no se presenten fugas.

- Aireación

  El proceso funciona de manera correcta, se recomienda realizar una limpieza a las bandejas para impedir la presencia de hongos sobre la parte externa de las bandejas.

  Se resalta en este proceso que en la planta se realiza limpieza y mantenimiento a las bandejas y materiales periódicamente, manteniendo el proceso y sus estructuras en buen estado y funcionando correctamente.
- Coagulación: Para el proceso de coagulación se tienen algunas alternativas, las cuales incluyen además el proceso de almacenamiento de las sustancias usadas en la respectiva actividad, son las siguientes:

- Dosificadoras: Principalmente se plantea un cambio en estos importantes equipos, teniendo en cuenta su estado y tiempo de uso, por otro lado, teniendo en cuenta el costo de estos equipos, como solución temporal se plantea un mantenimiento por el operario de la planta y un técnico que visita constantemente el lugar, además se plantea un refuerzo en la base donde reposan dichos equipos, teniendo en cuenta que es por esta superficie que constantemente los equipos reciben daños.
- Coagulantes: Debido al uso del sulfato de aluminio como coagulante, se genera una alteración en el pH del agua, obligando a usar un regulador de pH en el proceso y aumentando los costos de manera considerada, por ello se venía planteando el uso de un nuevo coagulante que disminuya esta alteración en el pH y que logre reducir costos y optimizar el proceso, dentro de las sustancias que se evaluaron se encuentra el PAC (hidroxicloruro de aluminio) que fue la que arrojo resultados más convenientes en cuanto a su estabilidad en el pH y su total disolución en el agua, evitando así aumentarla turbiedad del agua.

  Otra alternativa que se planteo es la utilización de menos coagulante en el proceso, ya que, al realizar el ensayo de jarras por varios días

consecutivos, se evidencia que muchas veces se usa una mayor cantidad de sulfato de aluminio y soda caustica de la realmente necesario para un óptimo proceso, aumentando así costos y atrofiando el proceso.

- Tanques de dilución: teniendo en cuenta que la mezcla se está haciendo con una herramienta en madera y en mal estado, la cual deja solidos en la mezcla y puede partirse en cualquier momento, se propone adquirir una barra metálica de un metro de longitud para realizar el proceso de agitación y mezcla en los tanques de dilución y soda para la coagulación.
- Almacenamiento: Se propone un mantenimiento y cambio de camas para colocar la soda y el sulfato, buscando que el almacenamiento se realice de una forma segura y correcta.
- Señalización: Se desarrolla e implementa una nueva señalización dentro de la planta, dejando de una forma clara cada operación y estructura de la planta, delimitando zonas de riesgo físico y químico, además se actualizan las fichas técnicas de las sustancias químicas que se manejan en el tratamiento del agua.

- Sedimentación: Teniendo en cuenta el estado de los sedimentadores tipo colmena que aquí se utilizan, se propone como una solución y forma de optimizar el proceso, realizar un cambio de dichos paneles, muchos de ellos quebrados en la parte superior debido a los procesos de limpieza.

  En cuanto a la problemática por el manejo adecuado de lodos, principalmente por costos en un tratamiento se descarta cualquier proceso o alternativa de tratamiento, como segunda opción, se plantea la utilización de estos lodos en el relleno de huevos en algunas de las vías urbanas o rurales del municipio por medio del uso de maquinaria perteneciente a la administración.

- Filtración

  En este proceso se plantea una modificación en los componentes del lecho filtrante, ya que hace poco tiempo se realizó un cambio en los materiales y cantidades de los mismos en los filtros y estas modificaciones generaron que los filtros se colmaten de manera rápida, colapsando el sistema, esto debido a primero a que en los nuevos materiales agregaron una gruesa capa de arena y segundo que dicha capa de arena posee un tamaño de grano muy pequeño, generando que el agua dure un mayor tiempo retenida y retrase el proceso. Teniendo en cuenta que los filtros funcionaban de manera correcta y con buenos resultados, se realizan los cambios requeridos dejando los materiales antiguos nuevamente en los filtros, los cuales eran antracita, arena media, granate y grava.

- Desinfección

La principal problemática fue el estado de la dosificadora de cloro y el lugar donde se opera dicha dosificadora, por ende, se plantea la adquisición de una nueva dosificadora con las mismas características y se propone mejorar las condiciones, tanto ubicación y tamaño, de la base donde reposa y opera dicho equipo.

En cuanto al tanque de dilución del cloro granulado, al evidenciarse el estado y proponerse el cambio de tanque, inmediatamente se adquiere uno con las mismas dimensiones completamente nuevo y se realiza el respectivo reemplazo.

- Distribución

  En este proceso se resalta la mayor problemática del sistema de acueducto y es la falta de medidores, por el momento la unidad ya se encuentra adelantando procesos para la adquisición de medidores y su respectiva instalación, por otro lado, la cobertura en los barrios faltantes se relaciona con la falta de recursos para inversión, proceso que ya se viene adelantando y están a la espera de la nueva asignación presupuestal del siguiente año.

- Estructura de la planta

  En este aspecto se plantean o proponen algunas alternativas que se pueden aplicar a futuro, básicamente aquí se incluye lo relacionado con la estructura de la planta actual y posibles que se pueden implementar, como lo son algunos baños, una oficina para el ingeniero o trabajadores de la planta, un cuarto para cambio y guardar pertenencias, un parqueadero y otras instalaciones que pueden ser necesarias para mejorar los procesos y para un mejor ambiente laboral.

- Apoyo profesional

  Una propuesta que se realizó, pero que dicha propuesta ya está en discusión con la administración, es la contratación de un profesional que se encargue de la operación de la planta, una persona con mejor preparación y más conocimiento en el tema que oriente y apoye el proceso, dicha propuesta se está presentando hace un poco más de 2 años, pero se ha declinado debido a la falta de recursos.

Conclusiones

Finalizado el tiempo que se planteó para el desarrollo del presente trabajo de grado se concluye lo siguiente:

- Se concluye que de todos los procesos analizados y evaluados que componen el sistema de acueducto municipal, es en la distribución donde se presentan el mayor número de falencias y donde se requiere una intervención y optimización urgente, esto con el objetivo de lograr un mayor ingreso económico, haciendo que el sistema sea viable, evitando que se presente un número tan elevado de perdidas en recurso hídrico, lo que se traduce a pérdidas económicas.
- A la fecha de finalización, dentro de la potabilización de agua, es en la filtración donde se evidencia dificultades en el proceso, esto relacionado con los nuevos materiales que componen el filtro, destacando el exceso de arena con diferente tamaño de grano, ocasionando un proceso lento y un colapso en este proceso.
- Teniendo en cuenta el diagnóstico general que se realizó a la infraestructura de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Calamar Guaviare, es posible afirmar que estructuras como los sedimentadores, floculadores, sistema de captación y su principal tanque elevado de almacenamiento se encuentran en un estado avanzado de deterioro, por su demandante uso y por sus años de antigüedad, por ende, estas estructuras requieren un buen mantenimiento o un cambio.
- Tomando los valores arrojados por los índices de riesgo municipal y por empresa prestadora del servicio, es necesario la contratación inmediata de personal idóneo, con conocimiento y experiencia para apoyar las operaciones realizadas en la planta y el sistema en general, por otro lado, el aumento de la prestación del servicio en horas diarias se requiere de manera urgente, ya que es este uno de los factores que más afecta la calificación de la planta.
- Basado en las mediciones diarias de parámetros como turbiedad, color y pH, es posible identificar valores anormales en los últimos minutos de la prestación del servicio, problema que se genera por él envió directo desde el proceso de cloración en la planta hasta la red de distribución, ignorando el tiempo de aquietamiento y contacto requerido para culminar el debido proceso.
- Durante el proceso, se realizaron ejercicios y pruebas con diferentes coagulantes que teóricamente prometían buenos resultados en aguas con

concentraciones muy altas de turbiedad, ejemplo el PAC (Policloruro de aluminio), además algunos indicaban poca alteración en el pH después de usarse, caso particular en el municipio de Calamar, los resultados con estos nuevos productos no fueron tan eficientes debido a las condiciones iniciales del agua, donde presentan valores de turbiedad bajos y pH neutro.

- Se logro encontrar algunas falencias en el sistema de acueducto del municipio y se logró proponer alternativas que solucionen dichos inconvenientes presentes tanto en la planta como en el sistema en general, por el momento se espera que la administración preste atención a las propuestas y logren la inversión necesaria para llevar a cabo los cambios planteados.

Recomendaciones

- Se requiere sensibilizar a la comunidad del municipio a que utilicen el agua de manera consciente, evitar el derroche de este recurso y darle uso adecuado, esto teniendo en cuenta los picos de temperatura que suelen presentarse en la región y que generan sequía y déficit de recurso hídrico en las cuencas, generando que el recurso que ofrece el servicio sea más limitado y racionado, sumado a esto, buscar generar conciencia en la comunidad sobre la importancia de cuidar el medio ambiente, la necesidad inmediata de evitar acciones como la deforestación y contaminación de fuentes hídricas.
- Realizar una inversión adquiriendo una maya que proteja y aleja residuos de gran tamaño como ramas y piedras de la barcaza y del sistema de captación de agua, esto con el fin de evitar posibles accidente y daños en esta estructura.
- Poner en práctica un sistema de aprovechamiento y recirculación del agua utilizado en el lavado de filtros, ya que para este ejercicio se utiliza una gran cantidad de agua, aproximadamente 12,000 m^3 de agua entre 2 y 3 veces al día, convirtiendo esto en un problema de desperdicio de recurso hídrico.
- Se recomienda implementar un proceso de manejo de lodos eficiente y responsable, que genera beneficios a la comunidad, bien sea como abono o como material para rellenar vías secundarias y terciarias del municipio.
- Atender las soluciones y alternativas expuestas en capítulos anteriores del presente documento, con el fin de lograr una optimización en el sistema de acueducto del municipio de Calamar Guaviare.

Bibliografía

Codena, B. I. (2018). *Principios de Evaluación Para Plantas de Tratamiento de Agua Potable.* Quito; Ecuador: Editorial Académica Española.

DNP. (2021). *Departamento Nacional de Planeación* . Obtenido de https://www.dnp.gov.co/programas/vivienda-agua-y-desarrollo-urbano/Paginas/agua-potable-y-saneamiento-basico-.aspx

Guaviare, A. C. (2022). Obtenido de http://www.calamar-guaviare.gov.co/

Guaviare, P. (2021). *Plan Departamental de Aguas Guaviare*. Obtenido de http://www.pdaguaviare.gov.co/noticias/plan-de-gestion-integral-de-residuos-solidos-y-plan-150438

IDEAM. (Febrero de 2017). *IDEAM*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.ideam.gov.co/documents/24189/359218/PLAN+ESTRAT%C3%89GICO+CONSOLIDADO+VERSI%C3%93N+AJUSTADA+2015-2018+JUNIO+23/e1ed2624-2f00-4ba6-9527-310446aed348?version=1.0

Ministerio de vivienda, c. y. (2000). *Minvivienda.* Obtenido de https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/reglamento-tecnico-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras

Ministerio de vivienda, c. y. (2000). *RAS 2000.* Obtenido de https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico/reglamento-tecnico-sector/reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras

Ministerio de vivienda, c. y. (06 de Junio de 2007). *https://minvivienda.gov.co.* Obtenido de https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007#:~:text=Por%20medio%20de%20la%20cual,del%20agua%20para%20consumo%20humano.

OMS. (Junio de 2006). *Organizacion Mundial de la Salud*. Obtenido de https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water

Parra, J. A. (1981). *Manual de tratamiento de aguas.* Medellín: Universidad de Medellín.

Rojas, J. R. (2000). *Tratamiento de aguas residuales .* Bogota D.C.: Escuela Colombiana de Ingeniería .

Rojas, J. R. (2003). *Potabilización del agua.* Bogota: 3ra Ed. Bogota; Escuela Colombiana de ingeniería .

Ruiz, P. R. (2008). *Hidráulica II.* Bogota D.C.

Sáez, A. (2018). *Omnia.* Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf

social, M. d. (09 de Mayo de 2007). *minsalud.gov.co.* Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IA/INS/Informe%20Vigilancia%20Calidad%20Agua%20a%C3%B1o%202012[1].pdf

UNESCO. (Febrero de 2020). *UNESCO*. Obtenido de https://es.unesco.org/themes/water-security/wwap/wwdr/2020

Valencia, J. A. (1992). *Teoria de la coagulación del agua.* Bogota D.D.: ed. Acodal.