

**FORTALECIMIENTO DE LA GESTIÓN AMBIENTAL Y OPERATIVA EN LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE SANTA TERESA
DEL MUNICIPIO DE TIBASOSA BOYACÁ**



XIMENA PATRICIA REATIGUI MATEUS

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
INGENIERIA AMBIENTAL
TUNJA – BOYACÁ
2025**

**FORTALECIMIENTO DE LA GESTIÓN AMBIENTAL Y OPERATIVA EN LA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE SANTA TERESA
DEL MUNICIPIO DE TIBASOSA BOYACÁ**



XIMENA PATRICIA REATIGUI MATEUS

**Informe de pasantía para optar por el título de:
INGENIERA AMBIENTAL**

Director:

**Ing. ELISA MARIA AVELLANEDA DIAZ
MsC. Manejo y Sostenibilidad Ambiental**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
INGENIERIA AMBIENTAL
TUNJA – BOYACÀ
2025**

Nota de aceptación:

Firma del jurado

Firma del jurado Tunja

(02,09,2025)

AGRADECIMIENTOS

A Dios por poner permitirme rodearme de personas maravillosas que han contribuido a mi crecimiento personal, académico y profesional, guiándome en cada paso.

A mi mamá y a mis hermanos por su amor incondicional, por creer siempre creer en mí y estar presentes en cada etapa de este proceso, dándome la fuerza para seguir adelante.

A los Ingenieros de la facultad de Ingeniería Ambiental, quienes con compromiso y dedicación me brindaron las herramientas y conocimientos necesarios para formarme profesionalmente.

Al acueducto ASUAPES por abrirme las puertas y permitirme realizar mis prácticas profesionales, a las Ingenieras y operarios quienes siempre estuvieron dispuestos a ayudarme y enseñarme durante este tiempo.

TABLA DE CONTENIDO

1	RESUMEN	6
2	INTRODUCCIÓN	7
3	OBJETIVOS.....	9
3.1	Objetivo General	9
3.2	Objetivos Específicos.....	9
4	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
5	JUSTIFICACIÓN.....	11
6	MARCO REFERENCIAL	12
6.1	Marco teórico	12
6.2	Marco conceptual.....	16
6.3	Marco legal	18
7	METODOLOGIA	19
8	RESULTADOS.....	34
8.1	Inspecciones en los sistemas de TAP.....	34
8.2	Análisis de la calidad del agua	34
8.3	Propuestas de optimización	38
8.4	Análisis de lodos.....	49
9	ANÁLISIS DE RESULTADOS	52
10	APORTES DE LA PASANTIA.....	53
11	CONCLUSIONES.....	55
12	RECOMENDACIONES	56
13	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	57
14	ANEXOS	60

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Demanda de cloro	15
Figura 2. Proceso de potabilización	17
Figura 3. Metodología implementada en la pasantía.....	20
Figura 4. Ubicación del sistema de acueducto ASUAPES.....	21
Figura 5. Bocatoma acueducto ASUAPESE.....	22
Figura 6. Desarenador	23
Figura 7. Agitador de sulfato de aluminio	24
Figura 8. Sistema de coagulación.....	25
Figura 9. Sistema de floculación.....	26
Figura 10. Sistema de sedimentación	27
Figura 11. Celdas del sedimentador	28
Figura 12. Capa de barro del sedimentador.....	28
Figura 13. Filtro 5	29
Figura 14. Filtros rápidos.....	29
Figura 15. Medidor de cloración	30
Figura 16. Secado de lodos	32
Figura 17. Equipo de FRX portátil S TITAN 500 marca BRUKER	33
Figura 18. Equipo difracción de rayos X (DRX)	33
Figura 19. Equipo microscopia electrónica de barrido	34
Figura 20. Ensayo de prueba de jarras.....	35
Figura 21. Difractograma para una muestra seca	50
Figura 22. Análisis químico a través de EDS en microscopia electrónica de barrido	51
Figura 23. Microscopia que muestra posibles aglomeraciones de alúmina .	51

1 RESUMEN

El agua potable de calidad es un derecho fundamental y esencial para la salud pública y el bienestar de las comunidades. Sin embargo, muchas plantas de

tratamiento de agua potable, especialmente en zonas rurales, enfrentan retos operativos que pueden comprometer la eficiencia de los sistemas y la calidad del agua suministrada (Monitoreo de La Calidad Del Agua, 2016.) En este contexto, el presente proyecto tiene como objetivo implementar estrategias para la mejora de la gestión y operación de la PTAP de Santa Teresa, abordando aspectos claves como la eficiencia en el tratamiento del agua, el cumplimiento normativo y la sostenibilidad del recurso hídrico. Para ello, durante la fase inicial del proyecto se llevaron a cabo inspecciones en la planta, observación directa de los procesos unitarios con el fin de identificar las deficiencias en cada etapa del proceso. Se logró identificar la inestabilidad en la dosificación de los productos químicos, deficiencias en el sistema de cloración, y carencias en el manejo adecuado de los lodos generados durante el proceso. Además, se realizaron uno análisis de la calidad del agua tratada mediante pruebas fisicoquímicas, comparando los resultados con los estándares establecidos en la normativa vigente. Se realizaron prueba de jarras con el fin de determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio. A partir de estos análisis se formularon propuestas de mejora enfocadas en la optimización de la dosificación, el fortalecimiento del plan de manejo ambiental y el seguimiento de índice de riesgo de calidad del agua.

Con base en estos diagnósticos, se proyectó el desarrollo de soluciones específicas para optimizar la eficiencia operativa y minimizar los impactos ambientales, la cual estas soluciones incluirán la implementación de mejoras en los procesos de tratamiento y monitoreo del recurso hídrico, garantizando un uso más sostenible del agua.

2 INTRODUCCIÓN

Diversos estudios han señalado que Colombia se destaca como uno de los

países con mayor riqueza hídrica en el mundo. No obstante, esta abundancia contrasta significativamente con la limitada disponibilidad de agua potable para la población. Solo el 30% del recurso hídrico se encuentra accesible para los municipios y de ese porcentaje apenas un 15% corresponde a agua de calidad apta para el consumo humano. Muchos municipios del país presentan deficiencias en el acceso a agua potable, especialmente en las zonas rurales, la cual varias entidades territoriales colombianas carecen de una infraestructura que es garante suministro constante y seguro de agua potable (Agua y Saneamiento - Desarrollo Sostenible,). Como consecuencia de esto las comunidades enfrentan enfermedades relacionadas con el consumo de agua contaminada, siendo las infecciones gastrointestinales las más frecuentes. En este sentido la planta de tratamiento de agua potable de Santa Teresa que abastece a 495 usuarios, presenta un sistema de tratamiento convencional, pero con múltiples oportunidades de mejora en sus procesos operativos. A lo largo de la pasantía, se evidenciaron deficiencias en cuanto a la dosificación de coagulantes, en el sistema de cloración, en la gestión de lodos, lo cual afecta la eficiencia del tratamiento el cumplimiento de los parámetros normativos que son exigidos para que el agua sea apta para el consumo humano.

Cuyo propósito principal es contribuir al fortalecimiento de la planta, a través de la inspección, análisis y propuestas de soluciones que esta presenta. Centrándose en el análisis integral del sistema de potabilización, desde la captación hasta la desinfección, incluyendo también aspectos ambientales como el manejo de lodos generados durante el proceso.

La metodología aplicada combinó enfoques teóricos y prácticos, realizando pruebas de jarras, análisis fisicoquímicos, evaluación de infraestructura, inspección de todo el sistema y observación directa del manejo de lodos. A partir de esto, se generaron propuestas de mejora que integran criterios de sostenibilidad, eficiencia operativa y cumplimiento normativo.

En definitiva, este documento recoge los hallazgos, análisis, resultados y aportes realizados durante la pasantía, con el objetivo de contribuir al mejoramiento de la gestión del recurso hídrico en la planta y de garantizar una prestación más segura y eficiente del servicio de agua potable a la comunidad beneficiaria.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

Implementar estrategias para la mejora de la gestión y operación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Santa Teresa.

3.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar inspecciones en los sistemas de TAP para identificar las deficiencias en los procesos desde la captación hasta la distribución.
- Analizar la calidad del agua tratada mediante la ejecución de pruebas fisicoquímicas comparando los resultados con los parámetros establecidos en la normativa vigente.
- Elaborar propuestas de optimización en los procesos de tratamiento y operación de la PTAP, incorporando estrategias que mejoren la eficiencia en el uso del recurso hídrico y minimizando los impactos ambientales.

4 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El acceso al agua potable de calidad es un derecho fundamental y un factor determinante en la salud pública y el desarrollo sostenible por lo que, en muchas plantas de tratamiento de agua potable especialmente en zonas rurales, se presentan desafíos operativos que pueden comprometer la eficiencia del sistema y la calidad del agua distribuida a la comunidad (The Worldwatch Institute, 2008). En este contexto la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Santa teresa desempeña un papel crucial en el abastecimiento de agua para sus habitantes. Durante la ejecución de la pasantía se identificaron una serie de problemáticas en la planta, entre ellas la inestabilidad en el proceso de dosificación del coagulante, ausencia de sistemas de control en turbidez, deficiencias en el sistema de cloración que impiden una dosificación continua y eficiente. Asimismo, se evidenció las limitaciones en el tiempo de retención en los procesos de floculación y sedimentación o que afecta la correcta remoción de sólidos suspendidos. Adicionalmente, se detectó que los niveles de cloro residual en los tanques de almacenamiento no cumplen con los rangos establecidos por la normativa lo cual puede representar un riesgo sanitario. Además, el sistema no cuenta con un manejo de lodos lo que puede tener implicaciones para la salud y el medio ambiente. De igual manera se han registrado valores elevados en el índice de Riesgo de la Calidad del Agua los cuales indican una posible afectación en la calidad del agua distribuida a la comunidad. Estos resultados no pueden atribuirse a una única causa, ya que este contempla parámetros fisicoquímicos, microbiológicos, representan una señal de alerta sobre la necesidad de evaluar integralmente el sistema y aplicar medidas correctivas.

Ante este panorama, se hace necesario realizar un diagnóstico integral del estado actual de la planta, con el fin de proponer estrategias operativas y técnicas que contribuyan a mejorar la eficiencia del proceso de potabilización, asegurando el cumplimiento de la normativa vigente, fortaleciendo la calidad el servicio prestado a la comunidad.

5 JUSTIFICACIÓN

El agua potable segura es un pilar fundamental para la salud pública, el desarrollo sostenible y la equidad social. En Colombia, la gestión del recurso hídrico enfrenta grandes desafíos debido a factores como la contaminación de fuentes hídricas, la eficiencia en la infraestructura de tratamiento y distribución y la falta de estrategias efectivas para mejorar la eficiencia en el proceso de potabilización (Agua y Saneamiento - Desarrollo Sostenible, 2015.) En este contexto, este proyecto busca fortalecer la gestión ambiental en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Santa Teresa, a través de la evaluación de la calidad del agua, el control de indicadores de funcionamiento y la implementación de mejoras en los procesos de potabilización.

Se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 agua limpia y saneamiento, el cual busca garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua. En particular, contribuye a la mejora de la calidad del agua mediante la reducción de contaminantes, aumentar la eficiencia del uso del agua en todos los sectores e implementar la gestión integrada de los recursos hídricos en todos los niveles (Agua y Saneamiento - Desarrollo Sostenible, 2015.) En el contexto nacional, el Plan Nacional de Desarrollo Colombia, potencia mundial de la vida. Resalta la urgencia de fortalecer los sistemas de abastecimiento y tratamiento de agua potable, garantizando su calidad y disponibilidad para todas las regiones del país. Dentro de este marco este responde a los ejes estratégicos de Ordenamiento del territorio alrededor del agua, promoviendo la sostenibilidad del recurso hídrico y de crecimiento verde y acción climática, al incentivar el uso eficiente del agua y la mitigación de impactos ambientales (Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026, 2024).

Desde una perspectiva social, el proyecto responde a un compromiso ético del profesional con su entorno, al generar conocimiento aplicable que beneficia directamente a la población, promoviendo una cultura del agua basada en el uso responsable y la gestión adecuada de los recursos. Así esta no solo representa una experiencia académica de aprendizaje, sino también un aporte al fortalecimiento de la comunidad y a un derecho vital para las futuras generaciones (La Importancia Del Agua Para Vivir, 2025).

6 MARCO REFERENCIAL

6.1 Marco teórico

El agua potable se usa especialmente para el consumo humano, la higiene personal y labores domésticas básicas (OMS,2013). Antes de alcanza las condiciones necesarias para dicho uso, el agua se considera agua cruda o bruta la cual se obtiene de la fuente más adecuada, como acuíferos, cauces, cuencas hidrográficas o zonas de captación (Rios, Agudelo & Gutierrez, 2017).

La captación del agua se realiza por medio de estructuras o dispositivos ubicados cerca del recurso hídrico, que permiten su transporte hacia una estación de tratamiento. Existen diversos métodos para potabilizar el agua, los cuales se clasifican en función de los componentes o impurezas que se desean eliminar y según los parámetros establecidos de calidad (Rios, Agudelo & Gutierrez, 2017).

Con este tratamiento se busca optimizar la calidad del agua que ingresa a la planta, entendiendo por calidad del agua el conjunto de características sensoriales, físicas, químicas y microbiológicas las cuales deben cumplir con los estándares mínimos que exige la normativa vigente (Ministerio de vivienda, ciudad y territorio Colombia, 2000).

Para garantizar la calidad del agua tratada es fundamental realizar un seguimiento constante mediante diversos análisis en laboratorio, entre estos se destacan los análisis básicos, que permiten medir parámetros esenciales como la turbiedad, color, cloro residual, pH, así como la presencia de coliformes torales y las propiedades fisicoquímicas del agua, brindando información detallada sobre su composición. Por otro lado, los análisis microbiológicos están orientados a detectar y cuantificar microorganismos valorando tanto su tipo como su concentración (Ministerio de la protección social,2007).

En el sistema integral para el tratamiento del agua potable se basa en una solución integrada que contempla diversas etapas necesarias para convertir el agua en potable. El cual incluye procesos como la coagulación, floculación, sedimentación, clarificación, filtración y desinfección. Según las propiedades del agua a tratar se puede optar por una filtración simple o doble, la doble es una de las más adecuadas en casos donde el agua presenta altos niveles de coloración o concentración de hierro y manganeso.

Cada planta debe ser diseñada tomando como base el análisis del agua y su trazabilidad, lo cual se recomienda una estructura modular que integre todas las etapas del proceso, donde los tanques pueden ser fabricados en acero o en fibra de vidrio y deben contenedor lechos filtrantes compuestos por grava, arena, antracita, carbón activado y alguna resina especial. Cuando el agua presenta una

concentración significativa de hierro es necesario aplicar una etapa previa de oxidación, la cual puede lograrse mediante torres de aireación o un proceso de precloración (Bautista, 2017).

Las propiedades físicas, también conocidas como organolépticas, son aquellas que describen aspectos perceptibles de la materia, ya sea a través de los sentidos o mediante instrumentos especializados, en este caso estas propiedades permiten evaluar su calidad y aceptabilidad.

Operaciones del tratamiento de agua potable

En la etapa de coagulación el tratamiento de agua potable se realizan dos procesos fundamentales, la dosificación y la mezcla rápida. Una vez incorporados los coagulantes y los agentes auxiliares, es esencial que estos se dispersen de manera inmediata y uniforme en el cuerpo de agua. Para ellos se utilizan unidades de mezcla rápida, las cuales pueden ser de tipo hidráulico o mecánico.

Dentro de las unidades hidráulicas más empleadas se encuentran el resalto hidráulico, los vertederos, los mezcladores estáticos y los difusores. En cuanto a las unidades mecánicas, se destacan los mezcladores mecánicos. No obstante, para sistemas de baja y media complejidad, se recomienda utilizar exclusivamente métodos hidráulicos, ya que los mecanismos no suelen ser adecuados en estos casos.

Los coagulantes al ser sustancias de origen químico como compuestos de hierro aluminio, reaccionan con los componentes de agua especialmente con la alcalinidad, generando un precipitado de gran volumen y con capacidad de absorción. En el caso de los coagulantes químicos, dicho precipitado está compuesto principalmente por hidróxido metálico del agente utilizado. Existen diferentes grupos de coagulantes: los vegetales, los polielectrolitos y ayudantes de coagulación. Los dos primeros están relacionados con el proceso de coagulación mientras que los polielectrolitos actúan en la etapa de floculación, favoreciendo a formación de flóculos más densos y con mejores características de sedimentación. Los coagulantes metálicos como las sales de hierro son muy conocidas por su alta eficiencia en la formación de flóculos pesados, lo que permite una sedimentación más rápida. No obstante, su uso es limitado por su elevado precio y por las condiciones estrictas de pH que requiere para funcionar adecuadamente. En cambio, las sales de aluminio como lo es el sulfato de aluminio se usan más por su bajo costo, facilitando la preparación y su manejo, además de su capacidad para coagular eficazmente en un amplio rango de pH.

El sulfato de aluminio se encuentra en un rango de efectividad de pH que va de 5.5 a 8.0, lo cual permite reducir las intervenciones necesarias para ajustar el pH del

agua en etapas previas del tratamiento, disminuyendo así los costos operativos de la planta. En el caso de aguas superficiales, las dosis aplicadas suelen oscilar entre 5 y 50 mg/L. Es fundamental establecer previamente la cantidad adecuada de sulfato de aluminio mediante prueba de jarras. Si se aplica una dosis superior a la requerida esta puede producir una inversión eléctrica, provocando que los coloides recuperen su carga negativa y no se logre eliminar la turbidez. Asimismo, si el pH del agua está entre los rangos óptimos del coagulante, el proceso pierde eficacia. Por otro lado, si la dosis es insuficiente, no se neutralizan completamente las cargas lo que puede impedir la adecuada formación de flóculos (Peña, 2015).

Para conocer la dosis óptima de coagulante en el sistema se debe determinar dependiendo del nivel de turbidez del agua a tratar. Esta dosis corresponde a la cantidad precisa de coagulante, en una concentración específica, que permite generar flóculos más compactos y con mayor velocidad de sedimentación lo que se traduce en una mayor eficiencia en la reducción de turbidez. Cabe mencionar que esta dosis no es fija, ya que varía según las características físicas y químicas del agua, es por eso no existe una fórmula matemática universal que permita calcular considerando todas las variables implicadas. La mejor forma es estableciendo la dosis adecuada mediante pruebas de laboratorio que simulen los procesos de coagulación y floculación con el agua que se va a tratar (Peña, 2015).

En el proceso de floculación del tratamiento de agua potable, se pueden utilizar tres tipos principales de floculadores: hidráulicos que son los que generan la turbulencia necesaria a partir del cambio de dirección del flujo del agua, utilizando la energía adquirida durante su recorrido por los conductos, dentro de este tipo se encuentran opciones como los de flujo horizontal, flujo vertical, de flujo helicoidal y los de lechos porosos. De igual manera se encuentran los floculadores mecánicos dependen de equipos electromecánicos que activan sistemas de agitación mediante paletas, existen distintos modelos los giratorios en lo que el movimiento se da alrededor de un eje, los de turbina, que emplean grupos de álabes distribuidos en tanques alargados para generar distintos niveles de rotación del agua, y los reciprocantes, que agitan el líquido mediante el movimiento vertical de parrillas. Sin embargo, en sistemas de baja complejidad no se recomienda el uso de este tipo de floculadores (Díaz, 2017).

Y por último se encuentran los floculadores hidromecánicos aprovechan la energía hidráulica de entrada para accionar una rueda de impulso, esta rueda transmite su movimiento a un eje horizontal, el cual a través de poleas y correas permiten que el sistema funcione de forma eficiente, incluso con una carga hidráulica baja.

La sedimentación es un proceso indispensable cuando se lleva a cabo una coagulación por barrido o por adsorción, ya que es esencial para eliminar la

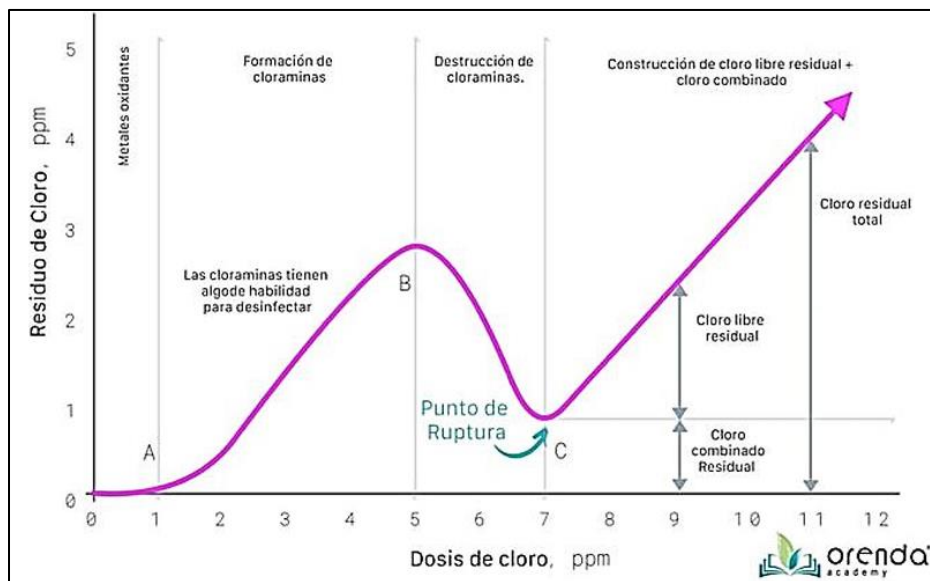
turbiedad del agua. En otras situaciones, su aplicación dependerá de los resultados obtenidos en pruebas de laboratorio o mediante estudios piloto.

La filtración consiste en hacer que el agua atraviese un material poroso, usualmente arena, grava donde se activan diversos mecanismos que eliminan partículas. A eficiencia de esta remoción depende tanto de las propiedades del agua con partículas suspendidas como del tipo de medio filtrante que se utiliza.

Este proceso de filtración puede emplearse como único tratamiento cuando el agua es muy clara o como etapa final de refinamiento en el tratamiento de aguas turbias, aunque la arena es el medio más común, también se utilizan otros materiales como granate, magnetita, carbón activado e incluso pelo de coco en filtros rápidos, en cambio para los filtros lentos la arena es el medio más eficiente y recomendado.

El proceso de desinfección se refiere a los procesos que son diseñados para la eliminación de microorganismos patógenos que se encuentran en el agua, el método más común para lograrlo es la cloración, debido a las ventajas del cloro el cual se puede encontrar en diferentes formas líquidas, gaseosa o granular, siendo mucho más económico y alto poder oxidante y posee buena solubilidad. El proceso de cloración implica una serie de reacciones químicas que ocurren tras la adición de cloro al agua:

Figura 1. Demanda de cloro



Fuente: Nuñez de la fuente, 2024

Fase 0 al A: El cloro reacciona con sustancias reductoras de origen inorgánico con el ion ferroso, el ion manganoso. Allí en esta fase todo el hipoclorito se consume completamente, lo que significa que no queda cloro libre en el sistema.

Fase A al B: allí los compuestos inorgánicos han sido oxidados, el cloro añadido comienza a reaccionar con la materia orgánica que se encuentra en el agua.

Fase B al C: Después de alcanzar el punto máximo de la curva, este inicia con una fase en la que los compuestos clorados generados anteriormente comienzan a descomponerse.

6.2 Marco conceptual

La captación del agua del río Chicamocha se realiza por medio de una bocatoma lateral, diseñada para desviar el caudal hacia el sistema de tratamiento. Esta estructura cuenta con varios elementos como rejillas de protección y compuertas de control, que permiten manejar el flujo y evitar el ingreso de materiales sólidos gruesos.

Una vez que él se capta el agua es transportada por una tubería de aducción hacia el desarenador, cuya función es disminuir la velocidad del flujo y facilitar la sedimentación de partículas pesadas como arena y grava. Esta estructura actúa como una primera barrera física de tratamiento protegiendo los demás equipos y optimizando el rendimiento de los procesos.

Debido a la diferencia de cotas entre el desarenador y la planta, se emplea un sistema de bombeo que impulsa el agua a través de una tubería de conducción hasta la primera unidad de tratamiento que es la coagulación, que tiene como objetivo desestabilizar las partículas coloidales presentes en el agua cruda. Para ello, se usan compuestos químicos como el sulfato de aluminio, la solución del coagulante es dosificada por gravedad a través de una tubería controlada por una válvula. La dosificación se determina a partir de prueba de jarras, las cuales permiten definir la dosis óptima en función de la caída del agua que ingresa.

Posteriormente el agua pasa al floculador siendo una estructura en la que se genera agitación lenta y constante. En esta etapa las partículas desestabilizadas por el coagulante se agrupan para formar flóculos de mayor tamaño y peso. Este proceso favorece la eficiencia de la siguiente estructura el cual es el sedimentar allí los flóculos formados se depositan por acción de la gravedad, permitiendo la separación entre el agua clarificada y los sólidos sedimentables. Este proceso requiere un tiempo de retención hidráulico adecuado para garantizar la eficiencia de la decantación. En algunos casos, se usan las curvas de sedimentación como referencia para comparar la eficiencia teórica con la práctica.

Después de este proceso el agua fluye hacia el sistema de filtración, el cual consta de unidades de lecho granular como la arena, antracita, grava que eliminan partículas en suspensión que no fueron removidas en las etapas anteriores. Los

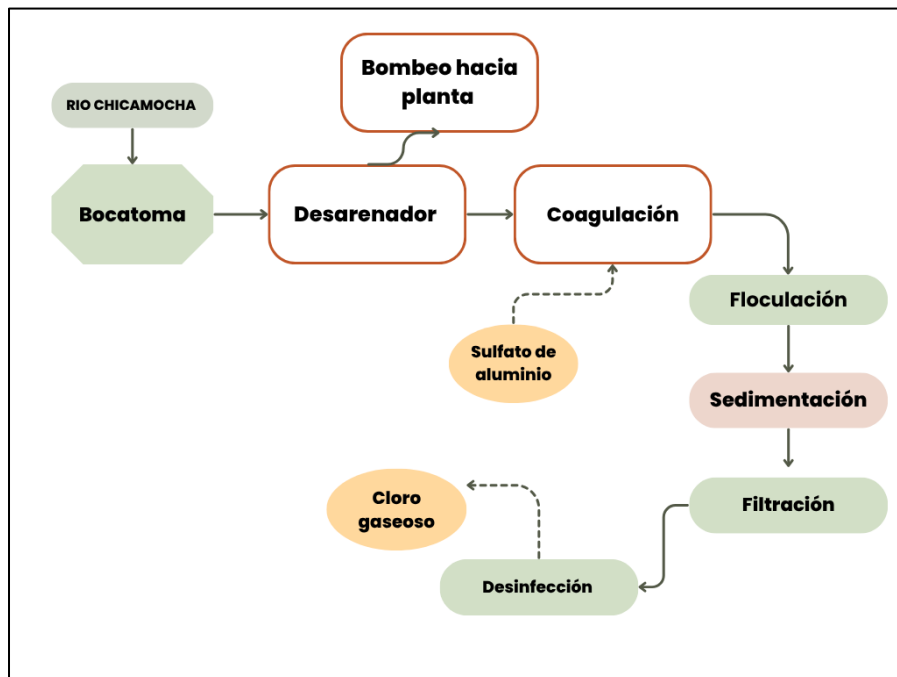
filtros funcionan por flujo descendente y requieren mantenimiento periódico mediante retro lavado para conservar su eficiencia operativa.

Cuando el agua es filtrada pasa por un proceso de desinfección donde se aplica cloro gaseoso con el fin de eliminar microorganismos patógenos presentes en el agua. La dosificación se realiza a través de un sistema de inyección y se debe garantizar un cloro residual libre entre 0.3 y 2.0 mg/lb tal como lo establece la resolución 2115 de 2007, siendo un paso fundamental para asegurar la potabilidad del agua hasta el punto de consumo.

El agua ya tratada es almacenada en tanques y posteriormente conducida por gravedad hacia la red de distribución, para asegurar la eficiencia de esta etapa, es importante realizar un control sobre las pérdidas en la red, que incluyen fugas o conexiones no autorizadas.

En cumplimiento con lo establecido con la resolución 082 de 2009, la planta también debe contar con elementos complementarios como formatos de inspección sanitaria, protocolos de seguridad y planes de contingencia frente a posibles emergencias operativas. La normatividad vigente exige además monitoreo constante de parámetros como turbidez, pH, color y presencia de cloro residual en distintos puntos del sistema, para garantizar que el agua entregada cumpla con los estándares de calidad.

Figura 2. Proceso de potabilización



Fuente: Autores,2025

Se puede observar de manera general el recorrido del agua desde su captación en la fuente hasta su desinfección, pasando por las principales etapas del tratamiento: desarenador, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. Cada una de estas etapas cumple con su función específica dentro del proceso de potabilización, para así garantizar microorganismos e impurezas que se encuentran en el agua cruda.

6.3 Marco legal

Entre los fundamentos legales que respaldan tanto la ejecución de este proyecto como el adecuado funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable de Santa Teresa, se incluyen normativas que regulan los procesos relacionados con la calidad del agua destinada al consumo humano. A continuación, se detallan dichas disposiciones.

Decreto 1575 del 2007: Sistema destinado a resguardar y supervisar la calidad del agua destinada al consumo humano, con el fin de identificar y mitigar los riesgos sanitarios asociados a su consumo desarrollado por el Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Resolución 2115 del 2007: Establece los parámetros técnicos, herramientas fundamentales y periodicidad de los procedimientos de control y monitoreo relacionados con la calidad del agua potable en todo el país, desarrollado por el Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.

Tabla 1. Parámetros físicos según la resolución 2115 de 2007

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	EXPRESADAS COMO	VALOR MÁXIMO ACEPTABLE
Color aparente	Unidades de platino cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad	2

Fuente: Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, 2007

Resolución 1096 de 2000 (RAS): Reglamento Técnico del sector de agua potable, título B sobre sistemas de potabilización, establece lineamientos fundamentales, requisitos mínimos, valores de referencia y límites técnicos que deben considerarse en los sistemas de acueducto.

Resolución 0330 de 2017: Regula los aspectos técnicos necesarios para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de infraestructuras relacionadas con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.

Ley 142 de 1994: Aplica los servicios públicos domiciliarios, alcantarillado, energía eléctrica a las actividades que realicen las personas que son las prestadoras de los servicios públicos.

Norma técnica Colombiana NTC-ISO 5667-5: Aborda las pautas esenciales para realizar el muestreo de agua potable en instalaciones de tratamiento y redes de distribución. Esta normativa proporciona los lineamientos fundamentales que deben seguirse en las prácticas de toma de muestras destinada al agua para consumo humano.

Norma técnica colombiana NTC 3903: Define un procedimiento estándar conocido como método de jarras, utilizado para ensayar procesos de coagulación y floculación. Este método permite establecer la cantidad adecuada de reactivo químico necesario para eliminar del agua las partículas disueltas, en suspensión de naturaleza coloidal y aquellas que presentan dificultad para sedimentarse, mediante pruebas que incluyen coagulación, floculación y sedimentación por gravedad.

Dichas disposiciones han sido una herramienta clave para orientar tanto el diagnóstico técnico como la ejecución de actividades prácticas dentro de la planta. Estas resoluciones, decretos y normas técnicas consultadas no solo fijan los parámetros de calidad que debe cumplir el agua para el consumo humano, sino que también definen los procedimientos de control, monitoreo, operación y diseño que deben seguir las plantas para garantizar su eficiencia.

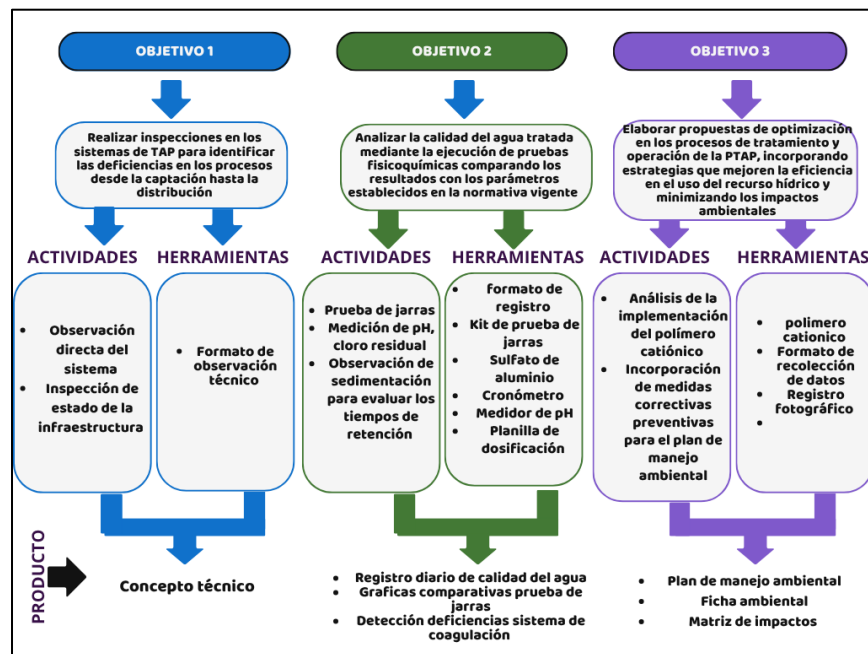
Durante el desarrollo de este, el cumplimiento de los límites de turbidez, cloro residual, color y demás parámetros fisicoquímicos establecidos en la normativa permitió identificar fallencias en el tratamiento. Además, de que las guías técnicas relacionadas con el diseño y funcionamiento en las unidades de tratamiento sirvieron como referencia para evaluar el estado de las estructuras, su tiempo de retención y su rendimiento, así como para sustentar las propuestas de optimización orientadas a mejorar la eficiencia hidráulica y operativa de la planta.

7 METODOLOGIA

La metodología implementada en el desarrollo de la pasantía tuvo un enfoque mixto, siendo teórico como práctico. Desde el componente teórico, se llevó a cabo una revisión normativa relacionada con la operación de plantas de tratamiento de agua potable, los estándares de calidad exigidos por la normativa nacional y las técnicas

más apropiadas para la mejora de procesos. Por otro lado, el componente práctico consistió en visitas técnicas, pruebas de campo, recolección de datos, observación directa, permitiendo así una comprensión integral del funcionamiento de la planta y sus desafíos.

Figura 3. Metodología implementada en la pasantía



Fuente: Autores, 2025.

La Figura 2. muestra de manera clara y ordenada a metodología estructura con base a los objetivos propuestos en el proyecto, relacionado para cada uno las actividades realizadas para alcanzar el objetivo, las herramientas técnicas y operativas necesarias y los productos obtenidos de cada objetivo.

Para el primer objetivo se priorizó la inspección del sistema desde la captación hasta la distribución, haciendo uso de la observación directa y listas de chequeo para evaluar el estado de la infraestructura. Esto permitió construir un concepto técnico sobre el estado funcional y operativo de la planta.

La planta de tratamiento de agua potable está ubicada en las coordenadas 5°47'29.51"N 72°59'46.60"O, el área de la planta es de 260 m2, y el sistema de tratamiento de agua potable es de tipo convencional que incluye procesos químicos, físico y biológicos para la remoción de contaminantes.

Figura 4. Ubicación del sistema de acueducto ASUAPES



Fuente: Autores, 2025.

Se parte de un recorrido por los diferentes componentes del sistema de tratamiento, desde la bocatoma hasta la planta. Se visualiza los puntos clave del sistema, este recorrido permitió identificar las deficiencias operativas, condiciones físicas y observar el sistema de aducción. Lo cual esta información fue fundamental para comprender el funcionamiento real del sistema y proponer acciones de mejora acorde con la necesidades técnicas y operativas del acueducto.

La fuente de abastecimiento es el rio Chicamocha se origina en la ciudad de Tunja, dando inicio como rio jordán atravesando diferentes municipios para luego unirse al rio Fonce y el rio Suarez para formar finalmente el rio Sogamoso. El área total de la cuenca que está en la jurisdicción de CORPOBOYACÁ es de 6127 Km² de la cual se capta un caudal de 4.7 m³/s.

Figura 5. Bocatoma acueducto ASUAPESE



Fuente: Autores,2025.

En la **captación** del agua del río se hace uso de una bocatoma que consta de un canal de aducción siendo de forma rectangular que se encuentra perpendicular al flujo, se usan 7 rejillas de 2" cada una, las cuales realizan el proceso de cribado, además de que tiene una compuerta y una tubería de 8" y se encarga de conducir el agua al desarenador.

Figura 6. Desarenador



Fuente: Autores,2025.

Este se encuentra ubicado en la parte centro de la vereda de Santa Teresa, aproximadamente a unos 300 metro de la bocatoma, allí se encuentra el sitio de las bombas, las cuales trabajan con una potencia de 24 caballos de fuerza para poder conducir en tuberías de 6" hacia la planta de tratamiento.

Seguidamente el proceso de **coagulación** se lleva a cabo utilizando sulfato de aluminio como coagulante, este compuesto es preparado en un tanque de 1000 litros, el cual se encuentra ubicado junto a la canela parshall. Dentro del tanque la disolución se homogeniza mediante un sistema de agitación por aireación por aireación, lo cual facilita la distribución uniforme del coagulante en el volumen total del agua asegurando una adecuada disolución.

Figura 7. Agitador de sulfato de aluminio



Fuente: Autores,2025.

El sulfato de aluminio es conducido a través de una tubería de $\frac{1}{2}$ pulgada, que cuenta con una válvula de control manual. Esta permite ajustar el flujo del coagulante según las condiciones del agua cruda que ingresa a la planta. Actualmente la dosificación se realiza de forma manual dependiendo del caudal tratado y de los resultados obtenidos en las pruebas de jarras que se ejecuta al inicio del proceso, estas pruebas permiten determinar de manera aproximada la dosis más adecuada, basándose en observaciones visuales sobre la formación de flóculos y la calidad del agua.

Figura 8. Sistema de coagulación



Fuente: Autores,2025.

Si bien este método ha sido funcional, se identificó que no existe un protocolo técnico estandarizado que permita determinar la dosis óptima precisa y consistente, teniendo en cuenta las condiciones fisicoquímicas del agua cruda. Esta ausencia de criterios técnicos que pueden llevar a sobredosificaciones de coagulante afectando la eficiencia del tratamiento.

La **floculación** siendo una estructura de concreto de dimensiones 2.64 largo, 2.4 ancho y 2.6 de profundidad, lo cual da un tiempo de retención de 45 minutos, teniendo en cuenta que el tiempo promedio de retención en estos floculadores debe estar entre 20 y 40 minutos según el RAS 2000 por ende, el tiempo de retención no cumple con lo establecido por la norma.

Figura 9. Sistema de floculación



Fuente: Autores,2025.

Esta estructura como se evidencia la acumulación significativa en la parte inferior de la estructura, lo cual indica una ausencia de evaluación periódica de los sólidos sedimentados. Esta condición no solo compromete la eficiencia del proceso de floculación, sino que también sobrecargas en etapas posteriores del tratamiento.

El **sedimentador** es de tipo tubular de flujo horizontal con dimensiones de 2.14 largo, 2.4 ancho y 2.6 de profundidad, el cual trabaja con un proceso de mezcla lenta y el fondo de la estructura maneja una pendiente para facilitar el deslizamiento del sedimento. Este dispone de un tubo flauta con diámetro de 6", donde por medio de las perforaciones recoge el afluente sin perturbar la sedimentación de las partículas que son depositadas. Por otra parte, cuenta con unas estructuras en forma de panal lo cual estas celdas tienen una inclinación de unos 60° de modo que el agua asciende por ellas con flujo laminar.

Figura 10. Sistema de sedimentación



Fuente: Autores,2025

Actualmente las celdas presentan un daño, por lo que no está sedimentando de la manera correcta, formándose flóculos en la parte superior del sedimentador. Cuando esta estructura tiene acumulación de barro en la parte los paneles siempre se le hace mantenimiento debido a que si no se le hace algo este tiende a no hacer su trabajo de la mejor manera.

Figura 11. Celdas del sedimentador



Fuente: Autores,2025

Este se observa una capa que aparece después de realizar los mantenimientos, esta condición puede estar relacionada con residuos incrustados en el fondo o en las paredes de la estructura que no fueron removidos en su totalidad o con la presencia de materia orgánica residual que se forma rápidamente al reiniciar su operación.

Figura 12. Capa de barro del sedimentador



Fuente: Autores,2025

Como consecuencia, los filtros reciben mayor carga de material particulado, lo que acelera que se tape, haciendo que toque hacer retrolavados con mayor frecuencia.

Esta situación también puede comprometer a calidad final del agua tratada y reducir la eficiencia general del sistema.

La planta cuenta con 4 filtros rápidos verticales y 1 en concreto con dimensiones de 1.40 m largo, 2.4 m ancho y 2.6 m de profundidad, contienen lechos filtrantes como lo es la antracita, arena y grava.

Figura 13. Filtro 5



Fuente: Autores,2025

Durante las temporadas secas, el proceso de retrolavado de los filtros se realiza en promedio dos veces al día. En cambio, en épocas de lluvias, debido al incremento en la turbidez del agua, este procedimiento se lleva a cabo con mayor frecuencia: entre dos y tres veces al día, es decir cada 12 u 8 horas. Cabe destacar que esta operación es realizada manualmente por los operarios.

Figura 14. Filtros rápidos



Fuente: Autores,2025

Uno de los restos que se observaron es la necesidad de controlar cuidadosamente la presión durante el funcionamiento. Si esta no se maneja adecuadamente durante el retrolavado, se corre el riesgo de que el material filtrante se salga por completo del filtro, afectando la calidad del proceso y generando costos adicionales para su reposición (Ver anexo 1).

La planta usa un sistema de cloración con el cloro gaseoso y el hipoclorito de sodio, este sistema es conducido a los tanques por medio de bombeo el cual para tener un control de la cantidad de cloro suministrado a cada uno de los tanques se usa una báscula y un medidor de presión.

Figura 15. Medidor de cloración



Fuente: Autores,2025

La dosificación que se maneja depende del tanque de almacenamiento, actualmente la cantidad de cloro que se añade a cada tanque se estima de forma visual por parte de los operarios utilizando criterios visuales adquiridos por la experiencia, lo cual puede generar variaciones en la dosificación y afectar el cumplimiento de los rangos normativos de cloro residual.

La planta cuenta con 4 tanques de almacenamiento, los cuales cada tanque tiene una capacidad de:

Tanque 1: $66 m^3$

Tanque 2: $130 m^3$

Tanque 3: $118 m^3$

Tanque 4: 144 m³

La duración aproximada de reposo del agua en los tanques es entre 9 y 12 horas aproximadamente, seguidamente de esto los operarios realizan pruebas de pH, cloro antes de ser suministrada a los usuarios.

El proceso distribución del agua inicia a las 7:00 am y termina dependiendo la cantidad de agua que se le disponga a los usuarios, usualmente se da servicio de 2 tanques de almacenamiento diarios.

El segundo objetivo se centró en el análisis de calidad del agua mediante pruebas fisicoquímicas como pH y cloro residual, utilizando herramientas como el kit de prueba de jarras, cronómetros y registro de calidad del agua. Como resultado se generaron graficas comparativas y diagnósticos sobre las eficiencias del proceso de coagulación.

Metodología aplicada en prueba de jarras

Para la evaluación del proceso de coagulación hay que seguir los lineamientos de la Norma Técnica colombiana 3909. La cual establece el procedimiento estándar para determinar la dosis óptima de coagulante a través de ensayos en laboratorio, permitiendo identificar la cantidad de reactivo necesaria para lograr una remoción efectiva de sólidos suspendidos y turbiedad.

La prueba consiste en la preparación de varias jarras con igual cantidad de agua cruda de 1 litro por jarras, a las cuales se les aplica diferentes dosis de coagulante. Posteriormente, se somete a las jarras a un proceso de agitación rápida de 120 r/min o a la velocidad equivalente al gradiente a simular, durante 1 minuto, se reduce la velocidad lo necesario para alcanzar la mínima que es requerida para que las partículas de floculación suspendidas se mantengan uniformemente durante el tiempo de mezcla lenta que es de 15 a 20 min aproximadamente. Se debe registrar el tiempo de formación del primer floculo visible, registrando cada 5 minutos durante esa mezcla lenta. De igual manera si se usan alguna ayuda para coagulación, la velocidad de la mezcla es crítica debido a que al agitar en exceso tiende a impedir la formación temprana de flóculos lo que puede llegar a redispersar la ayuda (NTC 3903 Test de Jarras | PDF | Agua | Agua Potable, 2012.)

Después del tiempo de mezcla lenta hay que retirar las paletas y observar el asentamiento de las partículas de floculo, se debe registrar el tiempo requerido para que el volumen de las partículas se asiente. En la mayor parte de los casos este tiempo es necesario para que esas partículas se asienten en el fondo. No obstante, en alguno de los casos puede haber alguna interferencia de corrientes de convección. Si es así, el tiempo de asentamiento que se registra deberá ser aquel

al que las partículas no asentadas o las residuales parece que se mueven en forma igual de arriba y abajo.

Pasado 15 minutos de asentamiento se debe hacer registro de la apariencia del floculo en el fondo del recipiente. Con una pipeta se debe tomar una muestra del líquido que sobrenada, en un punto situado a la mitad de la profundidad de la muestra, para que así se puedan llevar a cabo los análisis de color, pH y turbiedad.

Metodología aplicada para la caracterización de los lodos generados en la PTAP

- **Selección y toma de la muestra:** se tomó 1 muestra del tanque al cual llegan los lodos los mantenimientos de filtros y tanques para hacer su respectivo análisis.

Para la caracterización se tomó una muestra representativa de los lodos recolectados del tanque, la cual fue sometida primero a un proceso de secado en horno a 100°C durante 24 horas, con el objetivo de eliminar el contenido de humedad y determinar la relación solido líquido.

Figura 16. Secado de lodos



Fuente: Autor,2025

Seguidamente, la muestra seca fue analizada usando tres técnicas de laboratorio como:

- FRX: la fluorescencia de rayos X se realizó con la pistola marca burker titan 500. Es un equipo portátil que permite analizar los porcentajes de compuestos presentes en la muestra.

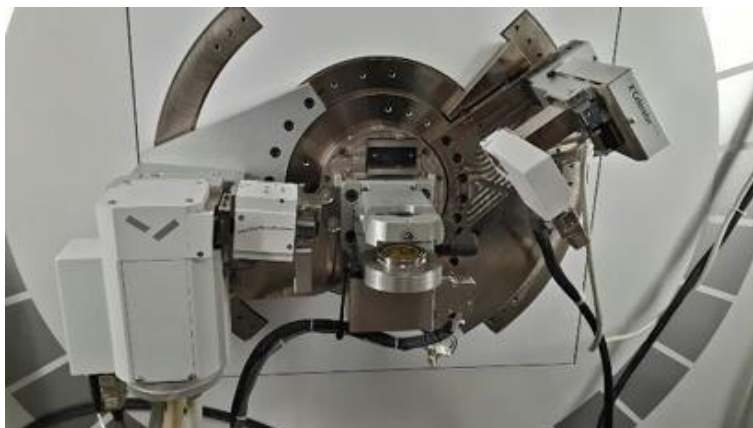
Fuente: Autor,2025

Figura 17. Equipo de FRX portátil S TITAN 500 marca BRUKER



- DRX: la difracción de rayos X fue realizada en un equipo difracto metro Phillips X'pert Pro Panalytical, cuyas condiciones fueron fijadas para un barrido en el eje 20 desde 5° a 70° con pasos de 0.02° lo cual este permite ver las especies mineralógicas presentes.

Figura 18. Equipo difracción de rayos X (DRX)



Fuente: Autor,2025

- SEM: la microscopia electrónica de barrido permite analizar puntos de la muestra y evidenciar composición química, así como la forma de las partículas presentes. Por medio del equipo marca ZEISS

modelo EVO MA10 en conjunto con el análisis EDS que ofrece evaluaciones mineralógicas rápidas.

Figura 19. Equipo microscopia electrónica de barrido



Fuente: Autor,2025

El tercer objetivo abordó el componente de los propósitos del proyecto, donde se evaluó la implementación del polímero catiónico, además de proponer medidas correctivas y preventivas, especialmente en lo relacionado con el plan de manejo ambiental. Esta metodología no solo permitió no solo identificar las falencias técnicas, sino también construir propuestas fundamentadas para la optimización del sistema de tratamiento, destacando la articulación entre la práctica de campo y el análisis técnico como una vía efectiva para generar soluciones reales y aplicables en la gestión del agua potable.

8 RESULTADOS

8.1 Inspecciones en los sistemas de TAP

El recorrido por cada una de las etapas que conforman el proceso de potabilización en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) de Santa Teresa permitió evidenciar tanto las fortalezas como las debilidades operativas que impactan directamente en la calidad del agua suministrada a la comunidad. Si bien la planta cuenta con la infraestructura básica necesaria para el tratamiento del agua.

8.2 Análisis de la calidad del agua

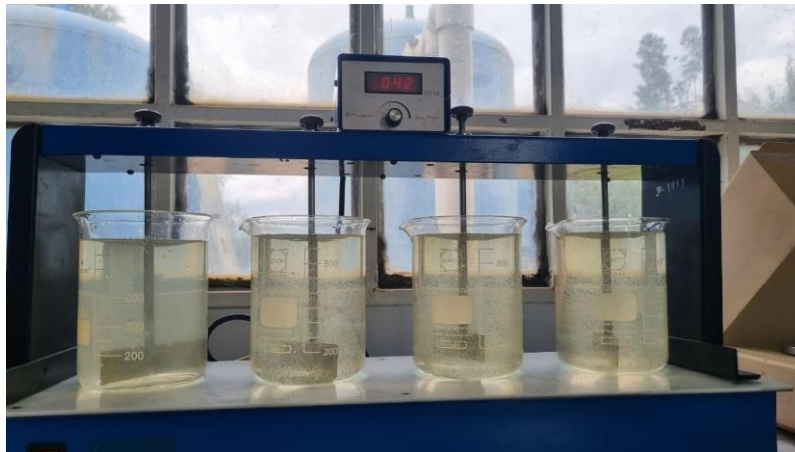
Con el fin de evaluar la calidad del agua en la planta de tratamiento de agua potable, se realizaron análisis fisicoquímicos *in situ*. Inicialmente, se emplearon los equipos disponibles del laboratorio de la misma planta, el cual cuenta con

instrumentos básicos como medidores de pH, color, cloro, y elementos para prueba de jarras, herramientas que permitieron un monitoreo preliminar diario de algunos parámetros esenciales para el control operativo de la planta (Ver anexo 2).

Se recolecto una muestra de agua del colegio del sector para sus respectivos a análisis la cual fue llevada al laboratorio de la universidad. Allí, se realizaron pruebas básicas como pH, turbidez, oxígeno disuelto, conductividad, alcalinidad, hierro y e.coli. estos análisis se hicieron con el fin de responder a una solicitud de dicho colegio el cual indicaban la mala calidad del agua que les había llegado un día. Los resultados indicaron que la muestra de agua estaba en muy buenas condiciones por lo que se podría concluir que el problema no fue responsabilidad del acueducto.

Una de las herramientas fundamentales aplicadas fue la prueba de jarras necesaria para lograr una adecuada remoción de turbiedad y sólidos suspendidos. En esta prueba, se utilizaron diferentes concentraciones del coagulante en muestras de agua cruda, observando los resultados tras el proceso de coagulación-floculación y sedimentación. Para ello se presenta la metodología que se debe implementar para el desarrollo de la prueba de jarras.

Figura 20. Ensayo de prueba de jarras



Fuente: Autor,2025.

Allí, se observa el ensayo de prueba de jarras con 1 litro cada una, con diferentes concentraciones de coagulante para determinar la dosis óptima. Durante el ensayo se observó diferencias significativas en la formación y sedimentación de los flocúlos en cada una de las jarras.

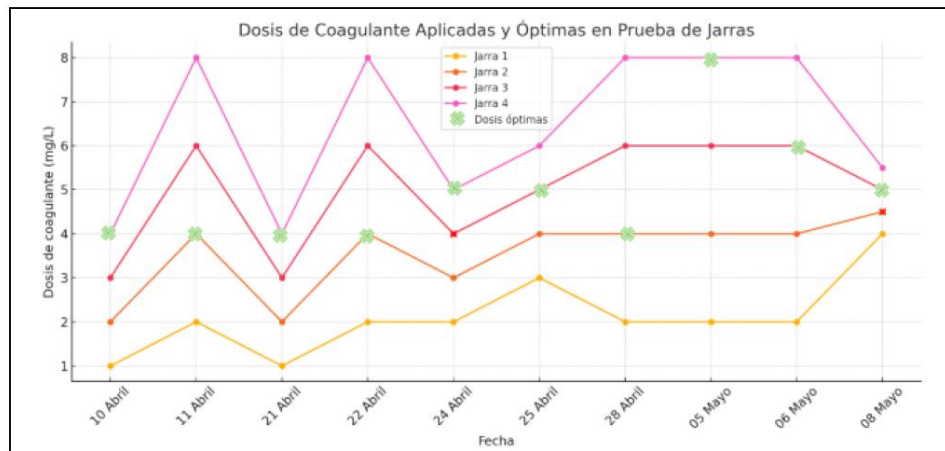
Resultados de prueba de jarras

Como parte de las actividades desarrolladas durante la pasantía, se llevó a cabo análisis fisicoquímicos al agua cruda, al agua tratada y en los tanques de almacenamiento, con el fin de evaluar el comportamiento del sistema de tratamiento frente a parámetros claves como el pH, cloro residual, color, temperatura.

Los análisis fueron realizados directamente en planta, haciendo uso de los equipos disponibles y aplicando metodologías básicas. La información recolectada fue registrada manualmente en los formatos físicos.

Se realizaron pruebas con distintas concentraciones de sulfato de aluminio para determinar la dosis optima según las condiciones del agua cruda. Entre el mes de abril y mayo, las dosis ensayadas fueron entre 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 6.5, 7, 7.5 y 8 ml/l, encontrándose que la mejor sedimentación se obtenía con una dosis de 4 ml/l, tal y como se observa en la gráfica 1.

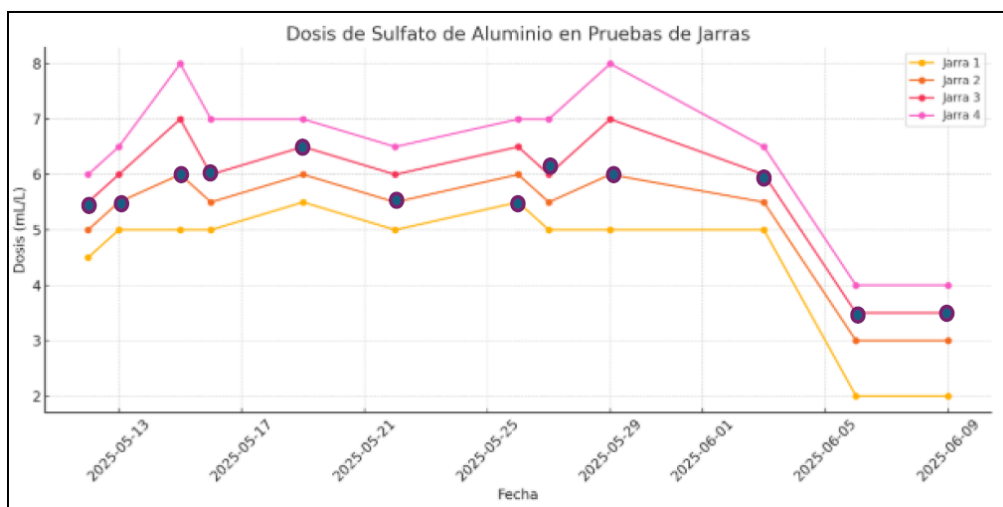
Grafica 1. Dosis de coagulante en prueba de jarras abril – mayo



Fuente: Autor,2025

En otra de las pruebas realizadas entre los meses mayo y junio se hizo una reducción de concentración de 3.5, 4, 4.5, 5, 5.5, 6 y 6.5 ml/l, se puede observar en a grafica 2 las dosis usadas para esos meses.

Grafica 2. Dosis de coagulante en prueba de jarras mayo – junio



Fuente: Autor,2025

Estos resultados refuerzan la importancia de realizar pruebas de jarras de forma periódica, especialmente cuando se presenta cambios en las condiciones del agua cruda con relación a las temporadas de lluvia o días secos. Además, permiten ajustar las dosis químicas aplicadas y mejorar la eficiencia del sistema.

Registro de parámetros fisicoquímicos calidad del agua

Como parte del seguimiento a la calidad del agua tratada, se revisaron los registros diarios consignados en el formato de control operacional de parámetros de calidad de agua de la PTAP, estos registros incluyeron variables como: pH, cloro residual, caudal, temperatura, entre otros, tanto para el agua cruda como para los tanques de almacenamiento que suministran agua a la comunidad (Ver anexo 3).

En general, se observó que el pH del agua tratada se mantuvo en un rango aceptable, con valores promedio entre 6.3 y 6.7, cumpliendo con el rango establecido por la normatividad (6.5–9.0). Sin embargo, en algunas fechas se presentaron valores por debajo del límite inferior lo cual podría estar relacionado con variaciones en la dosificación del coagulante.

El cloro residual, siendo uno de los parámetros con más problema para garantizar la desinfección del agua, mostró una tendencia a mantenerse en niveles bajos, con lecturas frecuentes entre 0.1 y 0.3 mg/L, por debajo del mínimo requerido por la Resolución 2115 de 2007 (0.3–2.0 mg/L). Esta deficiencia puede comprometer la calidad microbiológica del agua distribuida, representando un riesgo sanitario para la población. Se evidenció además que la dosificación de cloro no se realiza de manera automatizada, lo cual dificulta mantener la concentración en rangos adecuados.

8.3 Propuestas de optimización

Para la evaluación de los impactos ambientales constituye una herramienta fundamental en la gestión ambiental de cualquier sistema, para conocer cada etapa de los procesos y esas alteraciones sobre los diferentes componentes. Esta evaluación no solo va a permitir conocer los efectos directos de las actividades desarrolladas, sino que también establecer medidas de control, compensación o mitigación que mejore el desempeño ambiental de la planta (*Matriz Conesa*, n.d.).

Es por ello que se optó por la aplicación de la metodología de Conesa, ya que nos permite hacer una valoración cualitativa y semi-cuantitativa de los impactos que se generan, que considera diversas variables. Se usó esta metodología por lo que se trata de una herramienta de alta aplicabilidad en los proyectos que no son tan grandes como lo es el acueducto, donde se requiere un análisis detallado que se adapte a las condiciones particulares del entorno. Además de que esta prioriza los impactos más significativos mediante una escala de valoración clara, lo que permite la identificación de forma objetiva cuáles son los aspectos más críticos que deben ser considerados dentro del plan de manejo ambiental, siendo clave en un contexto donde los recursos suelen ser limitados, ya que permite enfocar los esfuerzos en los impactos que verdaderamente comprometen en la sostenibilidad del sistema o que afecte a la población.

Durante el diagnóstico realizado en la PTAP se identificaron 2 actividades susceptibles de generar impactos negativos, como la captación del agua y consumo de agua en el sistema de bombeo. La matriz permitió estructurar estas actividades en función de sus efectos sobre los componentes abiótico y biótico, analizando de manera sistemática el nivel de intervención de cada uno. Finalmente, la elección de esta matriz también responde a la necesidad de que sea más fácil la formulación de acciones preventivas, correctivas y de mejora continua permitiendo que las decisiones operativas y de inversión futura en la planta se fundamenten en un análisis integral basado en criterios ambientales.

Tabla 2. Evaluación de impacto ambiental por medio de la matriz CONESA

ETAPAS	ACTIVIDADES	ASPECTO	IMPACTO	Ca	I	EX	MO	PE	RV	SO	AC	E	PR	MC	I	CATEGORIA
Captación	Captación de agua cruda	Alta extracción continua del recurso hídrico	Disminución del caudal ecológico del río, lo que puede afectar la disponibilidad de agua para los ecosistemas acuáticos	-	8	4	4	4	4	4	4	4	4	8	68	SEVERO
		Presencia de infraestructura en la fuente	Interrupción de la conectividad fluvial, impidiendo el libre desplazamiento de especies acuáticas	-	2	4	4	2	2	2	1	4	2	4	35	MODERADO
	Mantenimiento de bocatoma y desarenador	Generación de residuos sólidos	Acumulación de desechos en el entorno si no se disponen adecuadamente	-	1	2	2	1	1	1	1	4	1	1	19	BAJO
	Retiro de residuos sólidos atrapados en la captación	Presencia de residuos domésticos inorgánicos	Riesgo de contaminación si los residuos son arrojados cerca del cauce o zonas de disposición no autorizada	-	1	1	1	1	1	1	1	4	2	2	18	BAJO
	Medición de caudal captado	Intervención manual o con equipos en estructuras hidráulicas	Riesgo de daños en la infraestructura que pueden representar pérdidas del recurso	-	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	14	BAJO

ETAPAS	ACTIVIDADES	ASPECTO	IMPACTO	Ca	I	EX	MO	PE	RV	SO	AC	E	PR	MC	I	CATEGORIA
Conducción	Conducción del agua a través de tuberías	Alteración del suelo por excavaciones	La instalación de tuberías puede generar remoción de capa vegetal	-	8	4	4	2	1	1	1	4	1	1	47	MODERADO
	Transporte de materiales y operación de planta de tratamiento	Emisión de gases contaminantes por transporte	Contribuye al aumento de las emisiones de GEI, provenientes de fuentes no renovables.	-	1	1	4	1	1	1	1	1	1	2	17	BAJO
	Reparación de fugas en la infraestructura hidráulica	Contaminación del suelo y pérdida del recurso hídrico	Afectación del terreno presentando pérdida de eficiencia en el sistema	-	1	1	1	1	1	2	1	4	1	2	18	BAJO
Tratamiento del agua	Dosificación del agua cruda	Riesgo de contaminación química del suelo o agua por esos derrames	Contaminación del agua debido a las altas explosiones de químicos	-	1	1	1	1	1	2	1	4	1	2	18	BAJO
	Ejecución del proceso de mezcla rápida	Alto consumo energético en el proceso de coagulación	Generación de gases de efecto invernadero por el uso intensivo de combustibles fósiles ya que se generan gases como CO2	-	2	1	2	2	1	1	1	4	1	8	28	MODERADO
	Proceso de floculación	Uso y manejo de coagulantes químicos	Riesgo de contaminación por derrames afectando el	-	2	2	2	1	1	2	4	1	1	2	24	BAJO

ETAPAS	ACTIVIDADES	ASPECTO	IMPACTO	Ca	I	EX	MO	PE	RV	SO	AC	E	PR	MC	I	CATEGORI A
			agua si no se dosifica bien													
	Proceso de sedimentación	Generación de lodos	Saturación del sistema, disposición inadecuada de lodos puede contaminar suelos y fuentes	-	1	4	4	4	2	4	4	4	2	4	39	MODERAD O
	Proceso de filtración	Acumulación de sólidos en medios filtrantes	Obstrucción en el sistema contaminando el recurso hídrico	-	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	19	BAJO
	Limpieza y retrolavado de filtros	Uso excesivo de agua para la limpieza	Disminución del recurso hídrico, contaminación de cuerpos de agua	-	3	2	4	2	1	2	1	1	1	2	27	MODERAD O
	Extracción de lodos	Generación de residuos sólidos	Contaminación del suelo si no se dispone en sitios adecuados	-	1	4	4	4	2	4	4	4	2	4	39	MODERAD O
Almacenamiento	Limpieza de tanques de almacenamiento	Alta generación de lodos	Contaminación del agua y del suelo si no se contiene o se trata	-	1	8	4	4	2	4	4	1	4	4	46	MODERAD O
	Desinfección del agua del sistema de almacenamiento	Uso y almacenamiento de cloro	Afectación en la salud respiratoria de las comunidades cercanas	-	1	4	4	4	2	4	4	4	2	4	39	MODERAD O

ETAPAS	ACTIVIDADES	ASPECTO	IMPACTO	Ca	I	EX	MO	PE	RV	SO	AC	E	PR	MC	I	CATEGORI A
Distribución	Operación de la red de distribución (apertura y cierre de válvulas)	Posibles fugas en la apertura de las válvulas	Pérdida del agua tratada, posible erosión del suelo	-	1	2	4	2	1	2	1	1	1	2	21	BAJO
	Reparación de fugas	Excavaciones, y posibles derrames	Afectación del suelo debido al uso de maquinaria	-	1	1	1	1	1	1	1	4	2	4	20	BAJO
Gestión operativa y administrativa	Consumo de energía eléctrica en sistema de bombeo	Elevado consumo de energía para el sistema	Generación de gases de efecto invernadero por el uso intensivo de combustibles fósiles ya que se generan gases como CO2	-	8	4	4	4	2	4	4	4	2	4	60	SEVERO
	Disposición de residuos sólidos generados en mantenimiento	Generación de residuos solidos	Contaminación del suelo si no se disponen correctamente	-	1	2	4	2	1	2	1	1	1	2	21	BAJO


Fuente: Autor,2025

A partir de la aplicación de la matriz se identificó 2 impactos ambientales de las actividades en la planta de tratamiento de agua potable, lo cual esos resultados se concentran en consumo elevado de energía para el sistema de bombeo y de la captación del agua del río. El análisis de los impactos permitió establecer prioridades para la formulación de medidas, de acuerdo con los resultados obtenidos, se considera fundamental implementar acciones correctivas para el manejo del recurso hídrico y de la energía. Estas acciones permitirían no solo mitigar los impactos actuales, sino también mejorar el desempeño operativo de la planta y fortalecer la sostenibilidad del sistema.

El recurso hídrico es uno de los componentes abióticos más afectados dentro del funcionamiento de la planta, debido al volumen de agua captado diariamente desde la fuente superficial. Este tipo de captación puede afectar el caudal ecológico del río afectando la disponibilidad del recurso como la estabilidad del ecosistema circundante. A partir de la evaluación hecha anteriormente con la matriz, se identificó que uno de los impactos más relevantes está relacionado con la alteración del equilibrio natural del cuerpo de agua, por lo que requiere acciones inmediatas. Es por eso por lo que se propone la siguiente ficha ambiental enfocada en el manejo adecuado del recurso hídrico, con medidas orientadas a garantizar su uso racional, promoviendo su conservación, fortaleciendo la sostenibilidad del sistema hídrico.

Tabla 3. Ficha ambiental manejo recurso hídrico

MEDIO ABIÓTICO	
NOMBRE DEL PROGRAMA:	PLAN DE MANEJO DEL RECURSO AGUA
OBJETIVOS	REGISTRO FOTOGRÁFICO
Garantizar una captación de agua que sea sostenible y respetuosa con el equilibrio ecológico del cuerpo hídrico, minimizando el impacto negativo en la disponibilidad y calidad del recurso.	
METAS	
1. Implementar estructuras de captación con mínimo arrastre de sedimentos.	

<p>2. Asegurar el cumplimiento de los caudales mínimos ambientales establecidos por la normativa vigente.</p> <p>3. Sensibilizar a la comunidad sobre el uso racional del agua.</p>			
ETAPA(S) DE APLICACIÓN			
Preoperativa			
Actividades Transversales			
Operativa	X		
Post-operativa			
EVALUACIÓN AMBIENTAL			
ACTIVIDAD	IMPACTO	ELEMENTO	SIGNIFICANCIA
Captación del recurso hídrico superficial para abastecimiento de la planta de tratamiento de agua potable (PTAP)	Disminución del caudal del cuerpo de agua	Agua	A
	Alteración del hábitat acuático	Agua	A
	Aumento de la turbiedad si no se maneja bien los sedimentos	Agua	B
	Posibles conflictos con otros usuarios aguas abajo	Agua	B
MEDIDA DE MANEJO			
MEDIDA DE MANEJO	INDICADOR	ACCIONES POR DESARROLLAR	
		<p>Realización de aforo mensuales en el cuerpo de agua fuente para determinar el caudal ecológico mínimo.</p> <p>Instalación de un caudalímetro en la estructura de captación para</p>	

Control y monitoreo periódico del caudal captado vs el caudal ecológico	$I = \left(\frac{\# \text{ monitoreos realizados}}{\text{total de monitoreos al día}} \right) * 100$	<p>restringir los volúmenes de agua extraídos diariamente</p> <p>Elaboración de un informe técnico trimestral que compare los datos del caudal captado con el caudal ecológico, con recomendaciones si se detectan excesos.</p>
Establecer acuerdos comunitarios sobre el uso racional del recurso hídrico	$I = \left(\frac{\# \text{ Acuerdos tomados al día}}{\text{Total acuerdos en un mes}} \right) * 100$	<p>Realización de talleres comunitarios participativos sobre el cuidado del recurso hídrico, normativa vigente y derechos ecológicos del agua</p> <p>Diseño de un plan comunitario donde se definan reglas claras sobre los horarios y prioridades de uso y sanciones por incumplimiento</p> <p>Creación de un comité de veeduría encargado de vigilar el cumplimiento de los acuerdos y reportar irregularidades</p>
Reforestación de la ronda hídrica para evitar erosión y preservar la recarga hídrica	$I = \left(\frac{\# \text{ Áreas reforestadas}}{\text{Total de áreas planificadas}} \right) * 100$	<p>Siembra de especies nativas en coordinación con la comunidad y autoridades ambientales</p> <p>Identificación y delimitación de áreas críticas en la zona de ronda hídrica con erosión o pérdida de cobertura vegetal</p>
LUGAR DE APLICACIÓN		
Se dará en la zona de captación del recurso hídrico del río Chicamocha junto a la bocatoma del acueducto		
POBLACIÓN BENEFICIADA		
La implementación de medidas como Control y monitoreo periódico del caudal captado vs el caudal ecológico, Reforestación de la ronda hídrica para evitar erosión y preservar la recarga hídrica, establecer acuerdos comunitarios sobre el uso racional del recurso hídrico. Estas acciones benefician principalmente a las		

comunidades aledañas, al proteger el recurso hídrico previniendo la disminución del agua. así mismo, favorecen a la población residente en la zona de influencia directa, al conservar un entorno más estable y seguro.

MECANISMOS Y ESTRATEGIAS PARTICIPATIVAS

Se promoverán mecanismos y estrategias participativas que incluyan la socialización de avances, mediante reuniones informativas y espacios de diálogo. Asimismo, se fomentará la participación en jornadas de restauración del terreno, como la siembra de coberturas vegetales, aprovechando el conocimiento local sobre especies nativas. Se establecerán canales de comunicación permanentes (carteleras informativas, buzones de sugerencias y contacto con líderes comunitarios) para recibir observaciones o inquietudes. Además, se capacitará a los operarios y actores locales en prácticas de manejo ambiental, fortaleciendo su rol como veedores y aliados en la protección del recurso agua y de realizar estrategias de educación ambiental en instituciones educativas rurales.

Fuente: Autor, 2025.

Las medidas propuestas se centran en una gestión mucho más sostenible del recurso desde una perspectiva operativa como comunitaria. El control periódico del caudal captado permitirá comparar este valor con el caudal ecológico del río, promoviendo decisiones informadas que eviten la sobreexplotación. A su vez, los acuerdos comunitarios sobre el uso racional del agua fomentan la corresponsabilidad ciudadana. Finalmente, la reforestación de la ronda hídrica representa una estrategia ecológica fundamental para proteger la fuente de posibles procesos erosivos.

El consumo de energía es otro de los impactos también identificados en la planta, especialmente al funcionamiento continuo del sistema de bombeo. Es por eso que se tiene en cuenta la importancia de optimizar este recurso, se plantean a continuación esas medidas específicas de majo que buscan reducir el impacto energético y mejorar la sostenibilidad del sistema.

Tabla 4. Ficha ambiental recurso energía

MEDIO ABIÓTICO	
NOMBRE DEL PROGRAMA:	PLAN DE MANEJO DEL RECURSO ENERGIA

OBJETIVOS		REGISTRO FOTOGRÁFICO	
Optimizar el uso de la energía eléctrica en la PTAP mediante medidas de eficiencia energética que reduzcan el consumo, los costos operativos y la huella ambiental			
METAS			
1.Reducir el consumo energético de la planta en un 10% en un año.			
2.Implementar un sistema de monitoreo del consumo energético.			
3.Sensibilizar al personal sobre buenas prácticas de uso racional de energía.			
ETAPA(S) DE APLICACIÓN			
Preoperativa			
Actividades Transversales			
Operativa	X		
Post-operativa			
EVALUACIÓN AMBIENTAL			
ACTIVIDAD	IMPACTO	ELEMENTO	SIGNIFICANCIA
Consumo de energía eléctrica en sistema de bombeo	Calentamiento global y cambio climático	Energía	A
	Agotamiento de los recursos naturales	Energía	A
	Pérdida de biodiversidad	Energía	B
	Contaminación del aire	Energía	B
MEDIDA DE MANEJO			
MEDIDA DE MANEJO	INDICADOR	ACCIONES POR DESARROLLAR	

Optimización del uso de los equipos	$\left(\frac{\text{Consumo total de energía en el día}}{\text{consumo total de energía en el mes}} \right) * 100$	Realizar mantenimiento preventivo de las bombas.
		Reemplazar equipos obsoletos por otros de alta eficiencia energética
		Establecer horarios de operación
Capacitación al personal sobre eficiencia energética	$\left(\frac{\text{Empleados capacitados}}{\text{Total de empleados}} \right) * 100$	Realizar talleres de formación sobre uso racional de la energía
		Diseñar manuales con buenas prácticas para el personal operativo
		Incentivar al personal con reconocimientos por cumplimiento de metas energéticas
LUGAR DE APLICACIÓN		
Se dará en la zona de bombeo junto al desarenador, donde mayor se presente alto consumo de energía.		
POBLACIÓN BENEFICIADA		
La implementación de medidas como capacitación al personal sobre la eficiencia energética, optimización del uso de los equipos. Estas acciones benefician principalmente al sector de santa teresa al proteger la fuente de energía.		
MECANISMOS Y ESTRATEGIAS PARTICIPATIVAS		
Convocatoria a reuniones comunitarias para informar sobre los beneficios del ahorro energético. Además del involucrar al comité del acueducto en el seguimiento de indicadores de consumo y participación del operador en las decisiones sobre mejoras tecnológicas y operativas		

Fuente: Autor,2025

Las estrategias apuntan principalmente a una gestión más eficiente de los recursos energéticos, promoviendo el uso racional y consciente de la energía en las operaciones diarias de la planta. La optimización en el uso de los equipos puede lograrse mediante ajustes técnicos y mantenimientos preventivos que reduzcan pérdidas y mejoren el rendimiento energético. Asimismo, la capacitación del personal no solo fortalece las competencias técnicas del equipo operativo, sino que impulsa un cambio cultural hacia la sostenibilidad energética. Y poder así disminuir los impactos ambientales derivados por el consumo excesivo de energía.

8.4 Análisis de lodos

Los resultados que se obtuvieron por medio de estas técnicas fueron los siguientes:

La muestra sometida a proceso de secado mostro una relación L:S = 5:1 lo que muestra un gran porcentaje de agua presente, es decir, 82,7% de agua.

1.1.1 Fluorescencia de rayos X.

La fluorescencia de rayos X arrojó altos porcentajes de sílice (SiO₂), alumina (Al₂O₃) y hematita (Fe₂O₃), como se observa en la tabla 1.

Tabla 5. Composición química muestra de lodos

Element/Compound	Min	%
MgO		<LOD
Al ₂ O ₃		31,85
SiO ₂		39,15
P ₂ O ₅		1,02
SO ₃		11,38
K ₂ O		1,78
CaO		3,05
TiO ₂		0,58
MnO		0,19
Fe ₂ O ₃		11,00

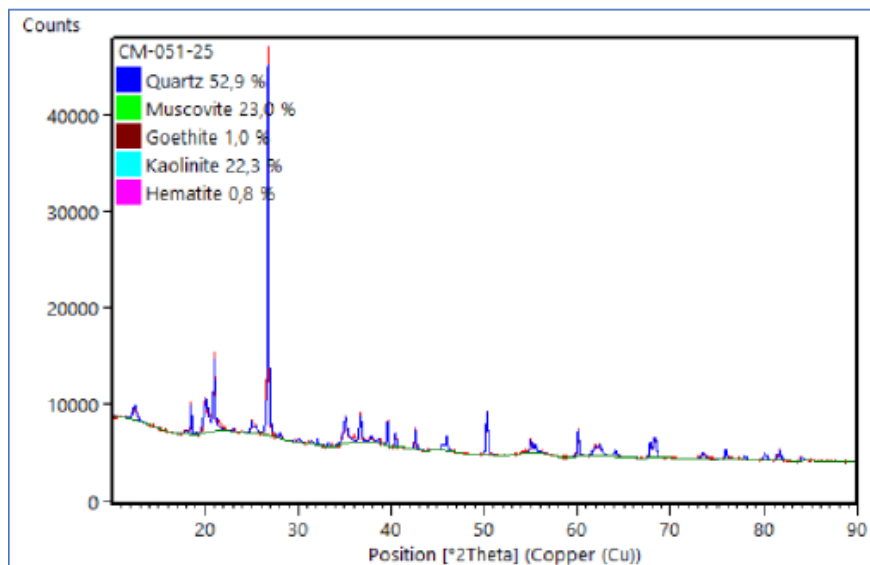
Fuente: Autor, 2025

Es importante destacar que los resultados de los compuestos obtenidos por esta técnica son semicuantitativos, es decir se muestran los compuestos presentes y proporciones en las que se encuentran, pero el valor es un valor aproximado. Para corroborar esta información se realiza la difracción n de rayos X.

1.1.2 Difracción de rayos X

En la difracción de rayos X se evidenció una composición mineralógica con la presencia de óxido de silicio en forma de “Cuarzo”, así como “Moscovita” y “Caolinita” en un 23% y 22,3% respectivamente. De igual forma, se aprecian trazas de óxidos e hidróxidos y hierro en forma de “Hematita” y “Goethita”.

Figura 21. Difractograma para una muestra seca



Fuente: Autor,2025

se observan especies como el cuarzo o la sílice (SiO_2), Moscovita que está formada aluminio silicio y potasio ($\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$), goethita, que es un compuesto de hierro hidratado ($\text{FeO}(\text{OH})$), caolinita ($\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$) y hematita (Fe_2O_3).

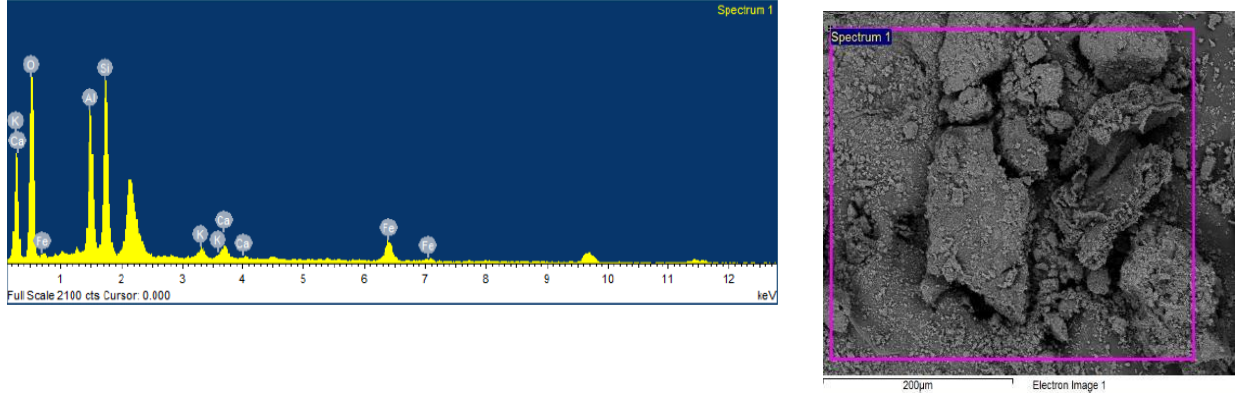
De acuerdo con los minerales reportados en el difractograma se puede corroborar la información de la fluorescencia de rayos X, evidenciándose alta presencia de silicio, aluminio y hierro.

1.1.3 Microscopia electrónica de barrido

En microscopia electrónica de barrido se pudo observar la presencia de Si, Al, Fe, Ca, por análisis EDS (dispersión de electrones), es decir, en el punto analizado se

encuentra esta composición corroborando la presencia de los elementos obtenido en la fluorescencia de rayos X.

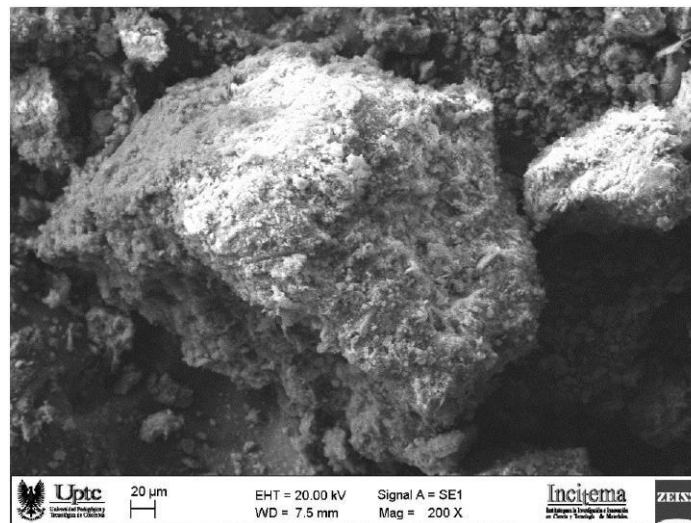
Figura 22. Análisis químico a través de EDS en microscopía electrónica de barrido



Fuente: Autor,2025

En la imagen se observan granos poco uniformes que muestran la presencia de diferentes minerales de acuerdo con el análisis de EDS obtenido.

Figura 23. Microscopía que muestra posibles aglomeraciones de alúmina



Fuente: Autor,2025

Se muestra un grano con posibles aglomerados de alúmina, los que se observan con brillo.

Teniendo en cuenta los resultados de las tres técnicas analizadas y las especies mineralógicas identificadas como la sílice (SiO_2), Moscovita

($KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$), goethita, ($FeO(OH)$), caolinita ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) y hematita (Fe_2O_3). se puede sugerir que estos lodos se pueden utilizar en la obtención de diferentes materiales de construcción debido a que la composición de los minerales aquí definidos tiene características arcillosas y pigmentantes, que podrían ser aprovechadas para tal fin. Sin embargo, podrían explorarse otros campos para su uso y aprovechamiento.

9 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos durante la pasantía reflejan un diagnóstico integral de las condiciones actuales de la PTAP y evidencian las oportunidades de mejora en la operación del sistema, especialmente en términos de calidad del agua y eficiencia de los procesos.

En relación con el objetivo 1 (realizar inspecciones en los sistemas de tratamiento y distribución), Uno de los principales hallazgos fue la ausencia de automatización en procesos claves como la dosificación de coagulante, la medición de turbidez en línea o el monitoreo de cloro residual. Actualmente, la dosificación del sulfato de aluminio se realiza de forma manual, ajustándose a los resultados de pruebas de jarras realizadas al inicio de la jornada. Si bien este método permite tener una guía, la falta de un sistema de dosificación controlado limita la estabilidad del tratamiento y lo hace vulnerable a variaciones en la calidad del agua cruda.

En cuanto a la infraestructura física, se evidenciaron signos de desgaste en varios componentes, como válvulas, tuberías y estructuras de canalización. También se detectaron deficiencias en el sistema de cloración, que actualmente funciona de manera discontinua, lo cual genera oscilaciones en los niveles de cloro residual que llegan a ser inferiores a los requeridos por la normativa. Se identificó que existen pérdidas significativas de agua, posiblemente asociadas a fugas no visibles en las redes enterradas, lo que representa no solo un desperdicio del recurso, sino también una disminución en la presión del sistema.

Además, se identificó que los procesos de floculación y sedimentación no están funcionando de manera óptima, posiblemente por tiempos de retención insuficientes.

En el objetivo 2 (análisis de calidad del agua mediante pruebas fisicoquímicas), se realizaron monitoreos frecuentes de parámetros como color, pH y cloro residual.

Se evidenció que los niveles de cloro en el agua suministrada a la población no cumplían consistentemente con los valores establecidos por la normativa. Además, se aplicó el método de prueba de jarras con base en la NTC 3903 para establecer la dosis óptima de sulfato de aluminio, mejorando así la eficiencia del proceso de coagulación y reduciendo la turbidez del agua tratada. Estos ensayos fueron fundamentales para validar las condiciones de operación y para sugerir ajustes en el sistema de dosificación.

El objetivo 3 (propuestas de optimización), se diseñaron estrategias orientadas a mejorar los procesos de tratamiento. Estas incluyeron la propuesta de uso del polímero catiónico como coadyuvante de coagulación (Ver anexo 4), la evaluación del sistema de cloración y el cambio del turbidímetro. Igualmente, se desarrollaron acciones enfocadas en el manejo ambiental, como el plan de manejo ambiental, generando de medidas de mitigación. El análisis permitió evidenciar que muchas de las deficiencias operativas tienen solución desde una perspectiva técnico- económica y que el fortalecimiento de la operación no requiere necesariamente grandes inversiones, sino una mejor gestión de los recursos disponibles.

En conjunto, los resultados alcanzados demuestran la relevancia de una gestión técnica y ambiental adecuada en las plantas de tratamiento rurales, y reflejan cómo una intervención bien orientada puede generar impactos positivos directos sobre la calidad del agua y el bienestar de la población beneficiada.

10 APORTES DE LA PASANTIA

Durante el desarrollo de la pasantía en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Santa Teresa, se logró realizar una intervención significativa en distintos aspectos técnicos y operativos del sistema, generando aportes que contribuyen directamente a la mejora de la calidad del agua entregada a la comunidad y a la optimización de los procesos internos de la planta. A continuación, se detallan los principales aportes realizados:

- Optimización de la dosificación del coagulante: Se implementaron pruebas de jarras periódicas para determinar la dosis óptima de sulfato de aluminio, lo cual permitió ajustar la cantidad de coagulante de acuerdo con las condiciones del agua cruda, generando un proceso de coagulación más eficiente y disminuyendo el uso excesivo de insumos químicos. Se recomendó además la dilución previa del sulfato antes de ser agregado al

tanque de 1000 litros, garantizando una mejor distribución y mezcla del producto.

- Propuesta e implementación piloto del polímero catiónico: Se desarrolló una fase de pruebas para evaluar la eficiencia del polímero catiónico como coadyuvante de la coagulación, buscando mejorar la remoción de turbiedad. Además, incluyendo observaciones del comportamiento en floculador y sedimentador.
- Diagnóstico y recomendaciones para el manejo de lodos: Se identificaron graves deficiencias en el sistema de disposición de lodos. Se documentó el rebose del pozo de lodos por acumulación, la inaccesibilidad para su remoción y la ausencia de un plan de evacuación. A partir de esto, se propuso alternativas de aprovechamiento de esos lodos.
- Apoyo a la implementación del Plan de Manejo Ambiental: Se propuso medidas preventivas y correctivas para el manejo energía y agua, así como acciones a desarrollar de esas medidas preventivas.
- Se recomendó el cambio de un turbidímetro ya sea portátil de fácil calibración y operación, para así llevar un control de turbidez en el sistema.

11 CONCLUSIONES

- Se logró determinar la dosis óptima de coagulante para la planta mediante prueba de jarras, la cual inicialmente no contaba con una dosis óptima de coagulante, esta dosis se determinó haciendo un promedio de los resultados de las pruebas diarias realizadas.
- Los resultados de los análisis de laboratorio desarrollados por la secretaria de salud hallaron mejoras en los porcentajes del IRCA, los cuales al inicio de la pasantía se encontraban en 45%, obteniendo el margen de mejora del 27% (resultado de la última prueba de laboratorio 18%) cabe resaltar que los márgenes aceptables dentro esta prueba se encuentran entre el 0% y el 5%.
- De acuerdo con la implementación del plan de manejo ambiental se lograron identificar los impactos ambientales generados por el acueducto, generando medidas de mitigación y compensación dentro de las cuales está la reforestación en la ronda hídrica por motivo de preservar la recarga hídrica de la cuenca.
- La energía siendo uno de los recursos que mayor impacto generan, también cuentan con unas medidas de mitigación y compensación dentro de las cuales se encuentran la optimización de los equipos por motivos de actualización.
- Se encontró en el periodo de la práctica que el sistema de cloración de la planta tiene deficiencias debido a que no cuentan con un proceso de dosificación de cloro, haciendo que el agua no tenga un proceso de desinfección adecuado, ya que en las mediciones realizadas diariamente se encontró una variación de entre 0.1 y 2.0 mg haciendo que no por momentos el agua suministrada por la planta no estuviera bien desinfectada.
- El tiempo de retención del sedimentador indica que este no cuenta con un mantenimiento adecuado, teniendo en cuenta que los tiempos hallados son demasiado cortos para los estándares para este tipo de estructura.

12 RECOMENDACIONES

- Se recomienda la adquisición e instalación de un sistema automático de dosificación para el cloro gaseoso, con el fin de asegurar una dosificación precisa, continua y ajustada a las variaciones del caudal y calidad del agua cruda. Esto permitirá una mejora significativa en la eficiencia del proceso de tratamiento.
- Dado que actualmente no se cuenta con algo para medir la turbidez es prioritario implementar es equipo para monitorear turbidez en tiempo real. Igualmente, de ver la posibilidad de instalar sensores de cloro residual en puntos estratégicos del sistema, especialmente en la salida de la planta y en los tanques de almacenamiento.
- Para garantizar que los procesos se hagan de la mejor manera, es esencial construir manuales de operación y mantenimiento para cada etapa del tratamiento, así como protocolos específicos para pruebas de jarras, control de calidad, monitoreo de parámetros y manejo de contingencias.
- Es clave integrar medidas de sostenibilidad, tales como el uso eficiente del recurso hídrico, la optimización del consumo energético, el mantenimiento de áreas verdes de protección y la gestión adecuada de residuos. Esto puede fortalecerse mediante la actualización y ejecución efectiva del Plan de Manejo Ambiental.

13 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Admin. (2025, March 30). *¿Qué es la Matriz de Conesa?* Evaluación Ambiental. <https://evaluaciondeimpactoambiental.com/matriz-conesa>
- *Agua: Panorama general.* (2023). World Bank. <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview>
- Camacho, C. P., Escobar, L. G. B., Gutiérrez, D. a. G., & Murcia, F. E. E. (2024, March 26). *Agua: una riqueza por aprovechar en Colombia.* https://investigaciones.corfi.com/macroeconomia-y-mercados/informe-semanal/agua-una-riqueza-por-aprovechar-en-colombia/informe_1461927
- Díaz-Bautista, W. (2017). Evaluación y optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Tena en el departamento de Cundinamarca. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10983/14490>
- Fundación Aquae. (2021, December 12). *La importancia del agua para vivir Fundación Aquae.* <https://www.fundacionaquae.org/wiki/importancia-del-agua/>
- GARZÓN, C. L. B., & LUQUE, A. J. L. (2015). DETERMINACIÓN DE LA DOSIS ÓPTIMA DE SULFATO DE ALUMINIO (Al₂ (SO₄)₃ 18H₂O) EN EL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE POR MEDIO DEL USO DE UNA RED NEURONAL ARTIFICIAL. Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2916/Barajasclaudia2015.pdf>.
- MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL, & MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. 2007. Resolución Número 2115 de 2007. Minambiente, 23. [En línea]. [Consultado 13 de mayo de 2021]. Recuperado de: http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/Res_2115_de_2007.pdf
- MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO COLOMBIA. 2010. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - Título C. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial.

- *Monitoreo de la calidad del agua*. (2016, septiembre 23). ISM - Instituto Superior del Medio Ambiente; ISM - Instituto Superior de Medioambiente <https://www.ismedioambiente.com/monitoreo-de-la-calidad-del-agua/>

- Núñez de la Fuente, R. (2024). *GUÍA DE DESINFECCIÓN CON CLORO PARA SISTEMAS DE AGUA RURALES* (Doctoral dissertation, ETSI_Diseno).

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

- *Resolución 2115 - 2007*. (s/f). Gov.co., de <https://www.minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>

- *Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026*. (s. f.). <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo/pnd-2022-2026>

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

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

- UNESCO. (2021). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2021: El valor del agua*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

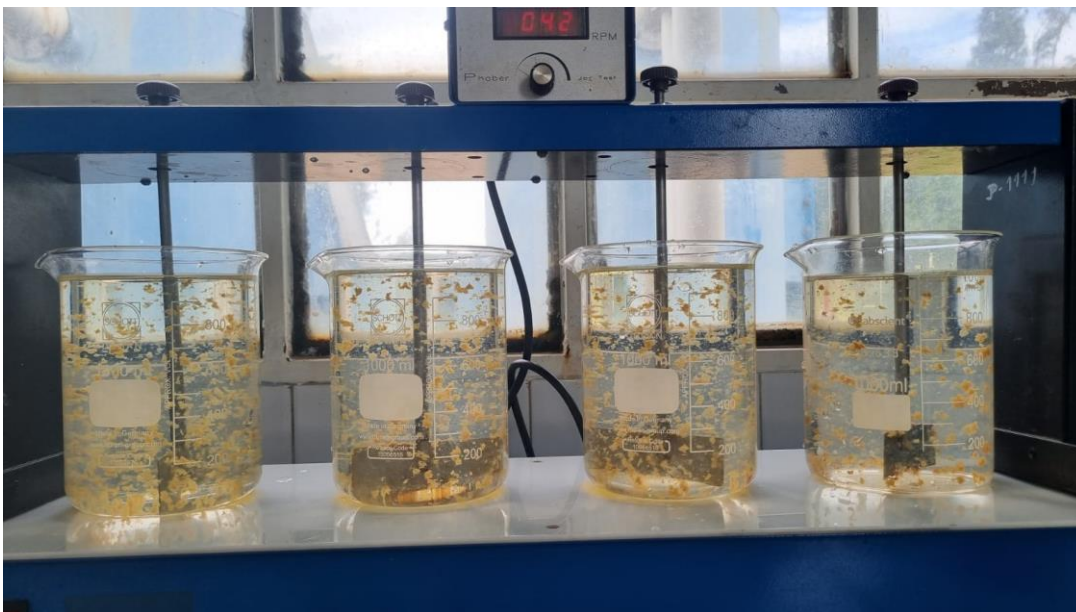
- WORLDWATCH INSTITUTE. 2008. *La Situación del mundo 2007 Nuestro Futuro Urbano*. Madrid: Icaria editorial s.a., 2008. [En línea]. [Consultado 15 de mayo de 2021] Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?id=zv9dbqBAhJEC&pg=PA207&dq=humedal+NAkivubo+Uganda&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwif7af68DqAhUOVN8KHfglB5YQ6AEwAnoECAIQAg#v=onepage&q=humedalNAkivuboUganda&f=false>

- sedimentación, filtración y desinfección) de la planta de potabilización de agua del municipio de Hato Corozal, Casanare. <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/5533>
- Yateh, M., Li, C., Li, F., Gu, C., Ma, S., Lu, B., & Tang, Y. (2024). Understanding the influence of energy and chemical use on water treatment plants carbon emissions accounting. *Journal of Water Process Engineering*, 69, 106669. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106669>
- Zhu, J., Stuetz, R. M., Hamilton, L., Power, K., & Tamburic, B. (2025). Meta-analysis of biogenic odour management solutions for operational drinking water treatment plants. *Journal of Water Process Engineering*, 70(107099), 107099. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2025.107099>
- Zhang, Y., Gao, X., Smith, K., Inial, G., Liu, S., Conil, L. B., & Pan, B. (2019). Integrating water quality and operation into prediction of water production in drinking water treatment plants by genetic algorithm enhanced artificial neural network. *Water Research*, 164, 114888. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.114888>
- Zarza, L. F. (2020, May 20). Un compromiso global ante los desafíos del agua. *iAgua*. <https://www.iagua.es/blogs/laura-f-zarza/compromiso-global-desafios-agua>

Anexo 3. Registro diario de control de la calidad del agua ptap

FORMATO CONTROL OPERACIONAL DIARIO DE PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA PTAP													
AÑO 2025													
FECHA	HORA	CALDAL	AGUA CRUDA				AGUA POTABLE (SALIDA DE LA PLANTA)						
			Fl	T(°C)	Turbid (NTU)	Color (EPC)	TANQUE	Fl	T(°C)	Cl ₂ (mg/l)	Turbid (NTU)	Color (EPC)	Nota evento
11/Abril	3:00 PM	5.A.	6,56	16°C	-	45	1	6,20	16°C	2,5	-	0,5	2:30pm
			6,58	16°C	-	45	2	6,58	16°C	2,3	-	0,5	2:50pm
21/Abril	11:00 Am	6,02	6,65	15°C	-	35	1	6,11	15°C	0,8	-	0,4	12:15 Am
			6,25	15°C	-	35	3.	6,25	15°C	0,4	-	0,5	12:30 Am
22/Abril	8:00 Am.	6,02	6,99	14°C	-	45	3	6,77	14°C	0,1	-	0,5	11:15AM
			6,37	14°C	-	45	1	6,37	14°C	0,1	-	0,5	11:20AM
24/Abril	12:30 Am	6,02	6,42	14°C	-	40	1	6,42	14°C	0,9	-	1,0	12:00am
			6,23	14°C	-	40	2	6,23	14°C	1,0	-	1,0	12:10AM
25/Abril	3:30 pm	5,19	6,52	15°C	-	55	1	6,40	15°C	0,2	-	0,2	2:30pm
			6,73	15°C	-	55	3	6,73	15°C	0,2	-	0,4	2:50pm
28/Abril	2:30 Am	6,3	6,84	15°C	-	55	1	6,33	15°C	2,3	-	0,5	2:30pm
			6,70	15°C	-	55	4	6,70	15°C	1,3	-	0,5	2:30PM
05/mayo	12:40 Pm	6,8	7,16	15°C	-	65	1	6,72	16°C	0,3	-	0,5	12:30 Pm
			6,75	16°C	-	65	2	6,75	16°C	0,8	-	0,5	12:50 Pm
06/mayo	9:00 Am	6,03	6,56	16°C	-	65	1	6,76	16°C	2,70	-	0,9	7:30 Am
			6,65	16°C	-	65	3	6,65	16°C	1,8	-	0,8	8:00 Am.

Anexo 4. Ensayo prueba de jarras con el polímero catiónico



Anexo 5. Análisis de prueba de laboratorio externo



ANALIZAR LABORATORIO FISICOQUIMICO LTDA
MONITOREO Y CONSULTORIA
 NIT. 826.000.346-1



Duitama, 2025/05/05

INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYOS AG39798 - 25

IDENTIFICACIÓN

Solicitante:	ASOCIACION DE USUARIOS ACUEDUCTO PEÑA NEGRA SUESCUN
Dirección:	Sector Santa Teresa Tibasosa
Ensayo Realizado:	Fisicoquímico y Microbiológico
Tipo de Agua:	Superficial Tratada
Sitio de Muestreo:	Entrada Calle de los Vampiros - Sector la Germania Tibasosa
Punto de Toma:	Bayoneta N° 1007 - Grifo
Tipo de Muestreo:	Simple
Fecha y Hora de Muestreo:	2025/04/23 07:50
Recolectada por:	Analizar Ltda
Fecha y Hora de Recepción:	2025/04/23 08:20
Objeto:	Control de Calidad
Condición de Recepción:	Refrigerada
Fecha ejecución análisis:	De 2025/04/23 a 2025/04/25 Plan De Muestreo 1626

DESCRIPCION	EXPRISION	VALOR OBTENIDO	VALOR MAX. ACEPTABLE	FECHA ANALISIS	METODO
ANÁLISIS EN CAMPO (A)					
Cloro Residual	mg Cl ₂ /L	0,5	0,2 a 2,0	25/04/23	Cokrimétrico del DPD
Conductividad (A)	µS/cm	523	1000	25/04/23	SM 2510 B
Olor	Cualitativo	Aceptable	Aceptable	25/04/23	Organoléptico
pH (A)	Unidades de pH	6,17	6,5 a 9,0	25/04/23	SM 4500-H ⁺ B
Sustancias flotantes	Cualitativo	Ausentes	Ausentes	25/04/23	Observación
Temperatura (A)	°C	20,1	N.E.	25/04/23	SM 2550 B
ANÁLISIS EN LABORATORIO					
Alcalinidad Total (A)	mg CaCO ₃ /L	11,20	200	25/04/23	SM 2320 B
Cloruros (A)	mg/L	50,58	250	25/04/23	SM 4500-Cl B
Color Aparente	UPC	10,32	15	25/04/23	SM 2120 C
Dureza Total (A)	mg CaCO ₃ /L	45,60	300	25/04/23	SM 2340 C
Fosfatos	mg PO ₄ ³⁻ /L	0,212	0,50	25/04/23	SM 4500 - P B D
Hierro Total (A)	mg/L	0,19	0,30	25/04/23	SM 3500-Fe B
Nitritos	mg NO ₂ ⁻ /L	<0,020	0,1	25/04/23	SM 4500-NO ₂ ⁻ B
Sulfatos (A)	mg/L	121,38	250	25/04/23	SM 4500-SO ₄ ²⁻ E
Turbidez (A)	UNT	2,40	2	25/04/23	SM 2130 B
Aluminio Total (A)	mg/L	0,13	0,2	25/04/23	SM 3500-Al B
Coliformes totales	UFC/100 cm ³	0	0	25/04/23	SM 9222 J
E. Coli	UFC/100 cm ³	0	0	25/04/23	SM 9222 J
TRCA	%	18,97	0 - 5	25/05/02	Cálculo
FIN DE LOS ENSAYOS					

NE= No Establecido (A)= Acreditado SM=Métodos enunciados referenciados en el *Standard Methods 2017 edition*

Condiciones Ambientales: Despejado

NE = No Establecido

LCM = Límite de Cuantificación del Método

OBSERVACIONES:

Fecha: 05/05/2025 02:51:50 p.m.

GT-INF-01/F.R.Febreiro-24/v.1.2 | PAGINA: 1 DE 2

Carrera 33 N°16 - 27 Duitama | Cel: 3138150403 - 312665927 | E-mail: dtranz@analizar.com, analizalab@analizar.com, secretari@analizar.com