

ANÁLISIS INVESTIGATIVO DEL MANEJO, CONTROL Y TRATAMIENTO DEL
AGUA POTABLE (PTAP) DEL MUNICIPIO DE ANAPOIMA-CUNDINAMARCA

KAROL BRIYID BARRAGAN APONTE

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERIA
|
GIRARDOT, CUNDINAMARCA

2025

ANÁLISIS INVESTIGATIVO DEL MANEJO, CONTROL Y TRATAMIENTO DEL
AGUA POTABLE (PTAP) DEL MUNICIPIO DE ANAPOIMA-CUNDINAMARCA

KAROL BRIYID BARRAGAN APONTE
karol-barragan@upc.edu.co

Trabajo de grado presentado para optar el título de ingeniera civil

Asesor:
Abbad Jack Jimmink Murillo
Ingeniero Civil
Especialista en Agua y Saneamiento Ambiental

UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA
SECCIONAL DEL ALTO MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA INGENIERÍA CIVIL

GIRARDOT, CUNDINAMARCA

2025

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por haberme dado la fuerza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para llegar hasta aquí. Su presencia ha sido mi guía en cada paso de este proceso.

A mi madre, María Matilde Aponte, por su amor incondicional, su esfuerzo constante y por ser un pilar fundamental en mi vida. Gracias por apoyarme siempre, incluso en los momentos más difíciles.

A la memoria de mi padre, José Ignacio Barragán, cuyo ejemplo y enseñanzas siguen vivos en mí. Aunque no esté presente físicamente, su recuerdo me impulsa a seguir adelante y a superarme cada día.

A mi hija, María Salomé Moreno Barragán, quien, con su ternura e inocencia, se ha convertido en mi mayor fuente de motivación. Todo lo que hago es por y para ella.

Y a mi hermana, Dahyana Barragán, por su apoyo, compañía y palabras de aliento. Su presencia ha sido muy importante en este camino.

A todos ustedes, y a Dios, que siempre ha sido mi luz, mi refugio y mi esperanza, entrego con humildad y gratitud este logro que no habría sido posible sin su amor y su guía.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, A Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada momento de este camino. Gracias por darme la sabiduría y la perseverancia para alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

A mi madre, por su incansable esfuerzo, por estar siempre presente, brindándome lo mejor de sí y apoyándome en cada paso de esta etapa. Gracias por tu amor y dedicación incondicional.

A la memoria de mi padre, cuyo ejemplo de integridad, constancia y superación permanece vivo en mí. Su respaldo durante su vida fue un pilar en mi formación personal y académica.

A mi hija, mi motor y mi mayor razón para seguir adelante. Aunque aún no comprenda las complejidades de la vida, su sola presencia me impulsa cada día a no rendirme y a construir un mejor futuro para ambas.

A mi hermana, por su apoyo incondicional y por estar presente en cada etapa de este proceso.

Extiendo también mi sincero agradecimiento a los docentes, compañeros y amigos que hicieron parte de este proceso formativo, contribuyendo con sus conocimientos y apoyo. De manera especial, al ingeniero Abbad Jack Jimmink Murillo, por su acompañamiento, orientación profesional y compromiso durante el desarrollo del presente proyecto.

Expreso mi sincero agradecimiento a la Universidad Piloto de Colombia por brindarme la oportunidad de hacer parte de su comunidad académica y por contribuir a mi formación profesional. De igual manera, agradezco al equipo de la Planta de Tratamiento de Agua Potable "El Río" por su valiosa colaboración y disposición durante el desarrollo de esta investigación. |

1. Contenido

1. Contenido	1
Glosario	6
2. RESUMEN.....	1
3. INTRODUCCIÓN.....	1
4. ABSTRACT	2
5. DESCRIPCION DEL PROBLEMA	3
5.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	3
6. OBJETIVOS	4
6.1 OBJETIVO GENERAL	4
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....	4
7. JUSTIFICACIÓN	5
8. MARCO REFERENCIAL.....	6
8.1 ANTECEDENTES.....	6
8.2 MARCO TEÓRICO.....	8
Características del agua potable.....	8
Características químicas del agua	8
Características bacteriológicas o microbiológicas del agua	9
Agua potable para el consumo humano	9
Plantas de tratamiento de agua potable	10
Según la calidad del agua que se reciba al principio, se deben aplicar diversos tratamientos para asegurar que sea apta para el consumo humano.	10
Procesos más importantes en las plantas potabilizadoras	10
Operación de la unidad de floculación	11
Factores que influyen en la floculación	12
Floculadores mecánicos.....	12
Floculadores hidráulicos.....	12
Tipos de plantas de tratamiento de agua potable	13
8.3 MARCO CONCEPTUAL	16

Agua cruda	16
Calidad de agua	16
Desinfección del agua	17
8.4 MARCO GEOGRÁFICO	19
Descripción del municipio.....	21
Límites del municipio	22
Temperatura	25
Hidrología	25
8.5 MARCO DEMOGRÁFICO.....	28
8.6 MARCO LEGAL	34
9. DELIMITACION	35
10. DISEÑO METODOLÓGICO	36
11. RECURSOS.....	40
RECURSOS HUMANOS	40
RECURSOS MATERIALES	40
12. DESARROLLO Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	41
12.1 ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA ENCUESTA.....	41
Análisis de encuesta.....	44
12.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EL RIO ANAPOIMA- CUNDINAMARCA	49
Descripción de la estructura	49
Cámara de entrada.....	50
Coagulación.....	50
Químicos utilizados	50
Floculación	55
Sedimentación	63
Filtración	65
13. FALENCIAS IDENTIFICADAS	74
14. CONCLUSIONES	78
15. RECOMENDACIONES.....	79
16. Referencias.....	80
17. ANEXOS	89

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Diagrama de Flujo de agua PTAP EL RIO	15
Ilustración 2 Ubicación de Cundinamarca en el país.	19
Ilustración 3 Ubicación de Anapoima en el departamento de Cundinamarca	20
Ilustración 4 Ubicación de la PTAP en el municipio.	21
Ilustración 5 Limites del municipio.	23
Ilustración 6 Red de distribución de la PTAP "El Rio"	24
Ilustración 7 Mapa Climático	25
Ilustración 8 Microcuencas municipio de Anapoima.	27
Ilustración 9 ¿Cuántos Somos?	28
Ilustración 10 ¿Dónde estamos?	28
Ilustración 11 Viviendas con acceso a servicios públicos.	29
Ilustración 12 Zona de estudio	30
Ilustración 13 Datos principales de la población	31
Ilustración 14 datos de personas- población por sexo	31
Ilustración 15 Tipo de vivienda	32
Ilustración 16 Ocupación de la vivienda	32
Ilustración 17 Uso de la edificación	33
Ilustración 18 Servicio de acueducto	33
Ilustración 19 Marco Legal.	34
Ilustración 20 Fases de recolección de la información y de la investigación.	39
Ilustración 21 ecuación de población finita para la selección de la muestra	42
Ilustración 22 cronograma de servicio de acueducto	43
Ilustración 23 Censo de habitantes por vivienda.	44
Ilustración 24 suministro del servicio de acueducto.	45
Ilustración 25 Calidad del agua según su olor.	46
Ilustración 26 Calidad del agua según su sabor.	47

Ilustración 27 Percepción de la turbiedad en al agua.	48
Ilustración 28 Cámara de entrada.	51
Ilustración 29 Canaleta Parshall.....	52
Ilustración 30 Tanque de 250L para suministro de sosa caustica	53
Ilustración 31 Tanque de 1000L para disolver el polímero Hidroxicloruro de aluminio.....	54
Ilustración 32 Floculador de pantallas de flujo horizontal.	56
Ilustración 33 Tanque de 500L para disolver floculador granulado	58
Ilustración 34 Muestra de los flocs.	59
Ilustración 35 ruptura de los flocs.....	60
Ilustración 36 residuos en el proceso de floculación.....	61
Ilustración 37 Flóculos en la entrada del sedimentador.....	62
Ilustración 38 Sedimentador.....	63
Ilustración 39 Partículas que no están siendo bien sedimentadas	64
Ilustración 40 Filtro	66
Ilustración 41 Clorador, bala de cloro e inyector.....	67
Ilustración 42 Válvula de salida No 1	68
Ilustración 43 Zona de válvulas y bombas	69
Ilustración 44 Cárcamo de agua tratada	70
Ilustración 45 Válvula de llenado tanque aéreo	71
Ilustración 46 Válvulas y bomba.....	72
Ilustración 47 registro de salida de agua potable.....	73
Ilustración 48 Cantidad de cámaras de floculación insuficientes.....	74
Ilustración 49 Turbulencia en el flujo del agua en el floculador.	75
Ilustración 50 Baja sedimentación de sólidos.	76
Ilustración 51 Unidades de filtros inadecuados.....	77
Ilustración 52 Planta general- plano topografico PTAP El Rio.....	89
Ilustración 53 Detalle planta-Levantamiento topográfico Planta PTAP el Rio.	90
Ilustración 54 Detalle planta-Levantamiento topográfico.	91
Ilustración 55 IRCA rural y urbano 2020-2023.....	92

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Hidrología Anapoima- Cundinamarca.	26
Tabla 2 Recursos humanos.....	40
Tabla 3 Recursos materiales.	40
Tabla 4 Dimensiones del floculador.	56
Tabla 5 Composición del filtro.	65

Glosario

Agua: Se describe como una sustancia la cual se genera por la unión de dos átomos: llamados hidrogeno y oxígeno, Es el único elemento capaz de presentarse en tres estados distintos: sólido, líquido y gaseoso (Fibras y normas de Colombia S.A.S, 2023).

El agua se distingue por no tener sabor, color ni olor. Además, el punto de congelación se encuentra en los 0 grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$), y su punto de ebullición alcanza los 100 $^{\circ}\text{C}$ al nivel del mar (Comision Nacional Del Agua de Mexico , 2019).

Cuenca: Una cuenca u hoya hidrográfica se define como la zona donde se recolectan aguas superficiales o subterráneas, que fluyen hacia una red natural compuesta por uno o más cauces, ya sean de flujo constante o intermitente, los cuales desembocan en un cuerpo de agua mayor, como un río principal, un lago, un embalse o el mar. (Decreto 1729 de 2002).

Caudal: según la RAE, suele definirse como la cantidad de agua que fluye o brota, mientras que en el ámbito jurídico Se define como la cantidad de fluido que atraviesa una sección del conducto durante un periodo de tiempo específico (Agua y Medio Ambiente Con/Ciencia , 2022).

Coagulación: La coagulación es un paso esencial en el procedimiento de purificación del agua. Este procedimiento se realiza mediante una técnica química para formar partículas grandes al unir contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua. Este método facilita la separación del agua de forma más eficiente en etapas posteriores del proceso de tratamiento, mejorando la calidad del agua para los procesos que siguen en el tratamiento (Newtech Chemical Company, 2024).

Coagulante: Los coagulantes son compuestos químicos añadidos al agua con el fin de eliminar las partículas coloidales, favoreciendo la formación de flóculos de mayor tamaño que se sedimentan más rápidamente.

Estos coagulantes para el tratamiento de agua cuentan con moléculas de carga positiva que, al ser incorporadas al agua y combinarse entre si, consiguen la neutralización de la carga existente. Normalmente se emplean coagulantes orgánicos, inorgánicos o una mezcla de estos para así poder tratar el agua y eliminar los sólidos suspendidos (Kassandra, 2022).

conforme a lo mencionado por (Mazille, 2018) Se incorporan coagulantes con cargas opuestas a las de las partículas en suspensión para neutralizar las cargas negativas presentes en sólidos que no pueden sedimentarse fácilmente, como la arcilla y ciertos compuestos orgánicos. Al neutralizarse, las partículas pueden unirse formando microflóculos, que son invisibles a simple vista. Para lograr una dispersión efectiva del coagulante y favorecer el contacto entre las partículas, se requiere una agitación rápida y enérgica, lo que asegura una coagulación eficaz y la formación de microflóculos. Sin embargo, una agitación excesiva no impacta negativamente en la coagulación, una mezcla insuficiente puede dejar este procedimiento sin

completar. El tiempo de contacto ideal en la cámara de mezcla rápida suele ser de entre 1 y 3 minutos.

La cantidad de coagulante utilizada es un parámetro fundamental, ya que, si se aplica en menor proporción a la necesaria, no se logra neutralizar completamente las cargas en las partículas, lo que reduce la formación de flóculos y genera una alta turbiedad en el agua tratada. Por el contrario, si se añade un exceso de coagulante, puede provocarse una inversión en las cargas de las partículas, originando numerosos flóculos de tamaño muy reducido, con baja velocidad de sedimentación, lo cual también resulta en una turbiedad elevada del agua tratada (Huerta, 2022).

Dosificación

De acuerdo con (Dynaflux , 2021) La dosificación en el tratamiento de aguas se refiere al procedimiento de incorporar una cantidad exacta de sustancias químicas a un flujo de agua, adaptándose a los requerimientos particulares del proceso de tratamiento. Los compuestos químicos empleados en la dosificación para el tratamiento de agua comprenden coagulantes, floculantes, desinfectantes y diversos aditivos. El control de la dosificación puede realizarse a través de sistemas manuales o automatizados.

Turbiedad: esta constituye un indicador del grado de transparencia de un líquido; en el caso del agua potable, es uno de los parámetros más importantes para evaluar su calidad y verificar si cumple con los estándares necesarios para el consumo humano.

Este indicador se ve afectado negativamente por la presencia de sólidos suspendidos, lo que implica un aumento en su valor. Dichos sólidos pueden tener un origen mineral o vegetal, dependiendo siempre de la fuente de donde se extraiga el agua a tratar. La eliminación de la turbiedad en el agua que se suministra para el consumo humano es esencial para garantizar que su uso o ingesta no genere efectos adversos en la salud (Herrera, Lozano, & Mendoza, 2022).

2. RESUMEN

El propósito central de este proyecto de grado es investigar y analizar el manejo, control y tratamiento del agua en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) “El Río”, ubicada en el municipio de Anapoima, Cundinamarca. Esta investigación surge a partir de las dificultades evidenciadas en la calidad del agua la cual es suministra a la población, las cuales podrían estar relacionadas con falencias en el funcionamiento de la planta. El propósito del estudio es identificar estas deficiencias y determinar en qué medida afectan el procedimiento de potabilización y la calidad del agua distribuida.

La metodología que se aplico es de tipo descriptiva, con enfoque mixto que combina metodologías cualitativas y cuantitativas. Adicional a ello se realizaron visitas a la planta, donde se observaron los procesos de tratamiento del agua y se evaluó el estado actual de las estructuras que conforman la PTAP. Además, se realizó una encuesta, la cual fue dirigida a los habitantes del municipio, con el fin de conocer la percepción que tienen respecto a la calidad del agua suministrada en sus hogares. Esta información permitió comparar la experiencia de los usuarios con la información obtenida durante el análisis en campo.

Los datos arrojados por la encuesta reflejan que una parte significativa de la comunidad tiene una percepción negativa respecto a la calidad del agua. Al realizar las visitas de campo se identificaron cuatro falencias principales dentro del proceso de tratamiento que podrían estar afectando la calidad del recurso hídrico: una cantidad insuficiente de cámaras de floculación, presencia de turbulencia en el flujo de agua dentro del floculador, baja eficiencia en la sedimentación de sólidos, y unidades de filtración inadecuadas.

A partir de esto, se concluye que el agua tratada en la PTAP “El Río” se ve afectada por las deficiencias identificadas las cuales Tienen un impacto directo en la eficacia del proceso de potabilización, lo cual justifica la percepción desfavorable por parte de la comunidad. La integración de los resultados técnicos y la opinión ciudadana permite confirmar que existen fallas estructurales y operativas dentro de la planta que deben ser atendidas con el fin de garantizar un suministro digno y confiable para sus hogares.

Palabras clave: Planta de Tratamiento, Agua potable, Potabilidad, Calidad.

3. INTRODUCCIÓN

Contar con agua potable en condiciones apropiadas es un factor esencial para asegurar la salud pública y el bienestar de la población. Es por esta razón que las (PTAP) desempeñan un papel importante en el tratamiento del agua, garantizando que el agua distribuida cumpla con los estándares de calidad establecidos por la normativa actual. Sin embargo, en diversas regiones del país persisten desafíos técnicos y operativos que dificultan el cumplimiento de estos estándares. En el municipio de Anapoima, Cundinamarca, se han detectado falencias en la calidad del agua que se distribuye a la población, lo cual ha sido evidenciado por el nivel de riesgo medio determinado por el IRCA (Índice de Riesgo de la Calidad del Agua). Aunque el municipio cuenta con la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) 'El Río', el agua suministrada no siempre cumple con los estándares óptimos de potabilidad, lo que representa un riesgo para la salud de los residentes. Esta situación está asociada, en gran parte, a posibles deficiencias en los procesos de tratamiento, así como a limitaciones estructurales, operativas y de gestión en el funcionamiento de la planta.

Teniendo en cuenta lo ya mencionado en este proyecto de grado se busca conocer a fondo cómo se está llevando a cabo el manejo, el control y el tratamiento del agua en la PTAP "El Río", ubicada en el municipio de Anapoima, Cundinamarca. El propósito principal consiste en analizar los factores que inciden en la deficiencia de la calidad del agua suministrada a la población. Para lograr dicho objetivo, se revisarán los procesos que se realizan en la planta, como la filtración, desinfección, almacenamiento del agua, el estado de sus instalaciones, y también qué tan preparado está el personal que trabaja allí. Además, se tendrá en cuenta la opinión de los habitantes sobre el servicio que reciben, para poder comparar lo que sucede dentro de la planta con lo que perciben las personas en sus hogares.

Este estudio emplea una metodología de carácter descriptivo y un enfoque mixto, que combina técnicas cualitativas y cuantitativas, permitiendo así una comprensión integral de la problemática desde distintas perspectivas. Se realizarán visitas técnicas a la planta, entrevistas con el personal encargado, encuestas a los habitantes, y un estudio normativo y documental de los procesos implementados. De esta manera, se espera obtener un análisis de las falencias existentes en la PTAP.

Esta investigación se vincula con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 6, el cual tiene como meta asegurar el acceso universal al agua potable y a servicios de saneamiento seguros y adecuados.

4. ABSTRACT

Having potable water in appropriate conditions is essential for ensuring public health and the well-being of the population. For this reason, water treatment plants (WTPs) play an important role in water treatment, ensuring that the water distributed meets the quality standards established by current regulations. However, in various regions of the country, technical and operational challenges persist that make it difficult to meet these standards. In the municipality of Anapoima, Cundinamarca, deficiencies have been detected in the quality of the water distributed to the population, as evidenced by the medium risk level determined by the Water Quality Risk Index (IRCA). Although the municipality has the "El Río" Drinking Water Treatment Plant (WTP), the water supplied does not always meet optimal drinking water standards, which poses a risk to the health of residents. This situation is largely associated with possible deficiencies in the treatment processes, as well as structural, operational, and management limitations in the plant's operation. Taking into account the aforementioned, this thesis seeks to gain an in-depth understanding of how water management, control, and treatment are being carried out at the "El Río" WWTP, located in the municipality of Anapoima, Cundinamarca. The main objective is to analyze the factors that influence the poor quality of the water supplied to the population. To achieve this objective, the processes carried out at the plant, such as filtration, disinfection, and water storage, the condition of its facilities, and the training of its personnel, will be reviewed. In addition, residents' opinions about the service they receive will be taken into account in order to compare what happens inside the plant with what people perceive in their homes.

This study uses a descriptive methodology and a mixed approach, combining qualitative and quantitative techniques, thus allowing a comprehensive understanding of the problem from different perspectives. Technical visits to the plant, interviews with the personnel in charge, surveys of residents, and a regulatory and documentary study of the implemented processes will be conducted. This is expected to provide an analysis of the existing shortcomings in the PTAP.

This research is linked to Sustainable Development Goal (SDG) 6, which aims to ensure universal access to safe and adequate drinking water and sanitation services.

5. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

En el municipio de Anapoima se presentan problemas vinculados a la calidad del agua potable suministrada a la comunidad, los cuales se reflejan en el nivel de riesgo medio reportado por el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA). A pesar de los esfuerzos para tratar el recurso hídrico en la planta de tratamiento “El Río”, los estándares óptimos de potabilidad no se alcanzan, esta situación representa un riesgo para la salud de la población. El problema, que impacta tanto a zonas rurales como urbanas, está relacionado con posibles fallas en los procesos de tratamiento, en la infraestructura y en la operación de la planta, lo cual dificulta asegurar la calidad del agua que se distribuye.

Este proyecto de investigación tiene como propósito principal realizar un análisis detallado del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Agua Potable 'El Río', con el fin de identificar las debilidades operativas que inciden en la calidad deficiente del agua. La evaluación se centrará en los procesos de filtración, desinfección y almacenamiento, así como en las condiciones de la infraestructura y el nivel de formación del personal responsable, factores que podrían afectar negativamente la potabilidad del recurso hídrico. La investigación buscará determinar los factores que generan un nivel de riesgo medio en el suministro de agua.

"La presente investigación se enmarca en el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 6, orientado a asegurar el acceso universal al agua potable segura y a servicios de saneamiento, fomentando una gestión sostenible de los recursos hídricos. Este estudio busca aportar al cumplimiento de dicho objetivo en el municipio de Anapoima, mediante la propuesta de mejoras en los procesos de tratamiento del agua, garantizando así su distribución de forma segura, eficiente y accesible para toda la comunidad.

5.1 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Con el análisis del manejo, del control y tratamiento de la PTAP del municipio de Anapoima Cundinamarca se podrá establecer las condiciones hidráulicas de funcionalidad de acuerdo con la normatividad colombiana vigente?

6. OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GENERAL:

- Investigar y analizar el manejo, control y tratamiento que se emplea en la PTAP “El Rio” del municipio de Anapoima Cundinamarca.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar una encuesta de la percepción ciudadana sobre la calidad del agua en Anapoima, Cundinamarca.
- Revisar los procesos que se realizan para el tratamiento del agua en la PTAP El Rio.
- Identificar el estado actual de las estructuras que componen el tratamiento y determinar cuáles son sus falencias

7. JUSTIFICACIÓN

El acceso al agua potable constituye un derecho esencial para asegurar la salud y el bienestar de las personas, y su suministro debe cumplir con criterios de suficiencia, seguridad, aceptabilidad, accesibilidad y asequibilidad. A nivel mundial, se emplean distintas tecnologías de tratamiento con el propósito de garantizar que el agua alcance los niveles de calidad requeridos para el consumo humano. Estos tratamientos comprenden procesos de filtración, desinfección y remoción de contaminantes físicos, químicos y biológicos, como bacterias, virus y otros microorganismos patógenos. Sin embargo, la implementación de estos procesos no siempre es eficiente, y existen problemas en diversas regiones para garantizar agua potable en condiciones adecuadas. En este sentido, se pretende avanzar hacia el logro del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 6, cuyo objetivo es garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del agua y el saneamiento para todas las personas, promoviendo un acceso equitativo y seguro al agua potable, contribuyendo así a la meta 6.4.

De acuerdo con lo mencionado por (Departamento Nacional de Planeación, 2015) De aquí al año 2030, se pretende aumentar de forma considerable el uso eficiente del agua en todos los sectores, garantizando al mismo tiempo la sostenibilidad tanto en la extracción como en el suministro de agua dulce. Esto con el objetivo de enfrentar la escasez del recurso y disminuir de forma notable la cantidad de personas que padecen por la falta de suministro de agua a los hogares.

En el caso del municipio de Anapoima, Según los análisis del Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA), el agua distribuida muestra un nivel de riesgo medio, lo que indica que, a pesar de los esfuerzos realizados en el tratamiento, no se logran los estándares ideales de potabilidad. Esta situación puede estar relacionada con deficiencias en el funcionamiento de la PTAP “El Río”, que es responsable de la purificación del recurso hídrico para la población del municipio. Es fundamental identificar y tratar los factores que inciden en esta deficiencia, dado que un nivel de riesgo medio podría poner en peligro la salud pública a largo plazo. Este proyecto se alinea con el ODS 6, que enfatiza la necesidad de mejorar la calidad del agua y reducir la contaminación hídrica a mundial.

El análisis de la planta de tratamiento “El Río” debe enfocarse al funcionamiento interno como en los aspectos externos que puedan influir en su rendimiento. Es crucial evaluar la infraestructura, los procesos de filtración, desinfección y almacenamiento, así como la capacitación del personal encargado del manejo de la planta. Solo a través de un diagnóstico técnico detallado será posible identificar las fallencias específicas y tomar en cuenta los reajustes necesarios para disminuir el nivel de riesgo y asegurar que el agua suministrada a la población sea completamente potable y segura. De esta manera, se contribuirá al cumplimiento del ODS 6, asegurando el suministro de agua potable y saneamiento de calidad para los habitantes de Anapoima.

8. MARCO REFERENCIAL

8.1 ANTECEDENTES

Las PTAP han surgido de la necesidad de brindar agua limpia y segura a las comunidades, a través del tiempo estas plantas han evolucionado en cuanto a avances tecnológicos y mejoras en la prestación de sus servicios.

A nivel mundial de acuerdo con (Tuset, 2022) El primer sistema diseñado para abastecer de agua potable a una ciudad en su totalidad fue desarrollado por John Gibb alrededor del año 1804 en Paisley, Escocia. Posteriormente, en 1806, En París se inauguró la planta de tratamiento de agua más grande conocida en esa época. En este sistema, el agua se dejaba reposar durante doce horas para permitir su sedimentación antes de someterse a un proceso de filtración. El filtro, que consistía en capas de carbones y arenas, este sistema tenía una capacidad operativa de seis horas. (Tuset, 2022)

Años más tarde el país también inicio a implementar las plantas de tratamiento de agua potable, la primer PTPA construida en Colombia se situó en la ciudad de Bogotá, esta fue construida entre los años 1933 y 1938 y fue denominada planta de tratamiento de agua de Vitelma, esta PTAP permitió que el agua del río Tunjuelo bajara para ofrecer el recurso hídrico a los habitantes de la ciudad. (Instituto distrital de patrimonio cultural , 2020)

así como evoluciona el mundo y el país los municipios no se quedaron atrás, pues igualmente se realizó la construcción de Plantas para el tratamiento de agua potable

Anapoima es uno de los municipios que cuenta con PTAP, sin embargo, el manejo de esta no se realiza de manera adecuada lo cual conlleva a la distribución de agua que no es la adecuada teniendo en cuenta que representa riesgo medio según los análisis realizados por el IRCA, teniendo en cuenta que no cumple con todos los requerimientos establecidos en el decreto 2115 de 2007

Un equipo de estudiantes de la Universidad Católica realizó un análisis exhaustivo Respecto al estado actual de las redes de agua potable, así como un análisis técnico-económico de las alternativas viables para mejorar el sistema de acueducto en el municipio de Anapoima. La investigación tuvo como objetivo principal identificar los problemas y deficiencias que afectan la eficiencia del abastecimiento de agua en municipio, considerando factores técnicos, económicos y ambientales. A lo largo del proceso, los estudiantes llevaron a cabo un estudio de la infraestructura vigente y de los recursos hídricos disponibles, con un énfasis particular en la principal fuente de agua del municipio: el embalse de Mesa de Yeguas. A partir de esta investigación, se identificaron diversas áreas de mejora y se propusieron soluciones técnicas que permitirían optimizar el sistema de acueducto, teniendo en cuenta tanto el aumento de la demanda como las condiciones climáticas y Geográficas del sector.

Tras evaluar la situación, los estudiantes (Botero, Gonzalez, & Sanchez, 2017) concluyeron que El suministro de agua, que proviene del embalse de Mesa de Yeguas, se efectúa desde la zona elevada, lo que constituye un factor clave en los problemas relacionados con el abastecimiento. Este sistema de distribución presenta serias dificultades durante las temporadas de sequía, las cuales son recurrentes en algunos meses del año, debido a que, al reducirse la lámina de agua en el embalse, se generan condiciones de desabastecimiento en las zonas del municipio que dependen de esta fuente. La disminución del nivel de agua en períodos de sequía afecta directamente a la capacidad del acueducto para satisfacer las necesidades hídricas de la población, lo que genera serias consecuencias tanto para la calidad de vida de los habitantes como para las actividades económicas locales.

Considerando lo anterior, las conclusiones del estudio son esenciales para formular estrategias que aseguren un suministro constante y eficiente de agua, incluso en épocas de sequía, mediante la implementación de soluciones que optimicen la infraestructura y la gestión de los recursos hídricos disponibles.

(Garzon & Martinez, Universidad Santo Tomas, 2019) Estos dos estudiantes El proyecto de grado que desarrollaron estuvo centrado en el prediseño y la evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) El Río, ubicada en el municipio de Anapoima, Cundinamarca. El propósito central del proyecto fue actualizar técnicamente la planta con el objetivo de optimizar y mejorar tanto su operación como su funcionamiento. Durante el proceso investigativo, los estudiantes analizaron en detalle los principales componentes de la planta como la canaleta Parshall, el floculador, el sedimentador y el filtro, evaluando su rendimiento y proponiendo mejoras específicas para cada uno. Asimismo, realizaron un levantamiento topográfico del área, lo que les permitió comprender mejor la infraestructura existente e identificar posibles zonas de intervención. Con base en esta información, llevaron a cabo el prediseño de los distintos elementos que integran la PTAP.

Una vez evaluadas las infraestructuras los estudiantes (Garzon & Martinez) determino que, Con base en los cálculos realizados para la unidad de sedimentación, se concluye que dicha unidad presenta deficiencias en su diseño, ya que la profundidad del sedimentador debería ser de 4,9 metros, mientras que actualmente solo alcanza los 3,6 metros. Asimismo, se sugiere efectuar un lavado cada 20 días, por la considerable acumulación de lodos que se sitúan allí. Además, se sugiere realizar ensayos de jarras de manera periódica con el fin de delimitar la dosis adecuada de coagulante, dado que la turbidez del agua cruda varía significativamente según las condiciones climáticas en la zona de captación. (Garzon & Martinez, Universidad Santo Tomas., 2019).

Además, los estudiantes realizaron más recomendaciones a la PATP para que las tomen en cuenta y realicen los ajustes necesarios si así lo quieren para brindar agua de mejor calidad.

8.2 MARCO TEÓRICO

Características del agua potable

Según (Beatriz) Algunas características del agua se consideran físicas, ya que son percibidas mediante los sentidos (olfato, vista y gusto), y afectan directamente las condiciones estéticas y la aceptabilidad del agua. (Beatriz, 2016).

Las principales características físicas que se evalúan en el tratamiento de agua son las siguientes:

Turbiedad: de acuerdo con (Marco, Azario, Metzler, & Garcia) se debe a la presencia de partículas suspendidas. Estas partículas diminutas, con diámetros menores a un micrón, Presentan una velocidad de sedimentación muy baja, lo que requiere un tratamiento adecuado para conseguir la sedimentación en plazos eficaces (Marco, Azario, Metzler, & Garcia, 2004).

Color: según lo dispuesto por (Barrantes, 2022) El color es uno de los parámetros organolépticos que indica la calidad del agua para consumo humano. Está relacionado con las sustancias disueltas y las partículas suspendidas presentes en el agua. Evaluar el color es esencial para entender la cantidad de materia orgánica natural presente en el agua, porque su existencia puede aumentar el riesgo de producir subproductos dañinos durante el proceso de desinfección, como los trihalometanos.

Sabor y olor: el (Equipo de comunicacion Aconsa , 2021) menciona que cuando el agua es limpia, carece de sabor y olor. Por lo tanto, si hay alguna sensación de gusto u olor, eso indica que el agua está contaminada. El olor y el sabor del agua se deben a razones artificiales o naturales. Las causas artificiales generalmente están relacionadas con el proceso de purificación (como la cloración), lo que provoca que el agua de una parte de la ciudad tenga un sabor diferente al de otro lugar. No obstante, también hay razones naturales que pueden afectar el sabor y olor, como la presencia de ciertas impurezas naturales disueltas en el agua.

Temperatura: La temperatura influye en los procesos químicos, biológicos y físicos que participan en el tratamiento y transporte del agua potable, lo que a su vez condiciona la calidad del agua que es suministrada. (Díaz & Gonzalez, 2022)

La temperatura influye en la rápida reacción química, puesto que intensifica mucho más los olores y sabores, Influye en la cantidad de gases disueltos, afecta el proceso de desinfección con cloro y altera las condiciones del tratamiento del agua (Acosta L. , 2018).

Características químicas del agua

pH: según (Blue-white , 2023) El pH del agua indica la acidez o alcalinidad y se mide en una escala que va de 0 a 14. Un pH de 7 se considera como neutro. Valores por debajo de 7 muestran acidez, mientras que valores por encima de 7 presentan

alcalinidad. Es normal que el pH varíe, pero lo ideal es mantenerlo entre 6.3 y 7.6. Si el pH se aleja de estos niveles recomendados, los operadores pueden requerir añadir productos químicos para restaurar los niveles aceptables.

Alcalinidad: para (Rodriguez, Azury; Redon, Giselle; Vanegas, Luis; Velasco, Erika) La alcalinidad del agua Hace referencia a la capacidad de una solución para neutralizar ácidos. A diferencia del pH, que indica si una solución es ácida o básica, la alcalinidad mide la cantidad de ácido que una solución puede soportar sin que su pH se vea alterado. En las corrientes de agua natural, la alcalinidad va variando, dependiendo de la localización geográfica. La geología local tiene un impacto directo en la cantidad de alcalinidad, ya que los minerales que hacen presencia en las rocas y el suelo circundante son los principales responsables. Por ejemplo, en las diferentes zonas que predomina la piedra caliza tendrán una alcalinidad mayor que aquellas con cuentan con más granito, la alcalinidad también puede influir en los tratamientos de agua durante todo el proceso, siendo particularmente importante en la coagulación, el ablandamiento y la inhibición de la corrosión. Generalmente, se mide tanto en el agua de la fuente como en la de distribución, aunque también puede evaluarse en las etapas de coagulación y floculación (Rodriguez, Azury; Redon, Giselle; Vanegas, Luis; Velasco, Erika., 2020)

Dureza: según (Zamora, 2009) El agua dura se distingue por tener una alta concentración de minerales, especialmente sales de calcio y magnesio, son los primordiales responsables de su dureza. La dureza del agua está directamente relacionada con la cantidad de estas sales presentes en ella.

Características bacteriológicas o microbiológicas del agua

De acuerdo con (Apella & Araujo, 2020) La aparición de microorganismos patógenos en el agua potable representa un peligro que se agrava en las regiones periféricas con alta concentración de población o en áreas con falta de acceso al agua tratada. La confirmación de que el agua contaminada puede ser causante de enfermedades ha originado la necesidad de llevar a cabo un monitoreo continuo de la calidad microbiológica de muestras provenientes de diferentes fuentes.

Agua potable para el consumo humano

El suministro de agua limpia y potable es esencial para la salud pública, ya sea para consumo, uso en el hogar, producción de alimentos o actividades recreativas. Mejorar el suministro, el saneamiento y la gestión adecuada del agua pueden impulsar el desarrollo económico de los países y desempeñar un papel fundamental en la lucha contra la pobreza.

En 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció de forma explícita el derecho humano al acceso al agua y al saneamiento. Se establece que todas las personas tienen el derecho a disponer de agua potable en cantidad suficiente, accesible físicamente, a un costo asequible y con una calidad adecuada para su uso personal y doméstico (Organización Mundial de la Salud, 2023).

La deficiencia en la calidad del agua y los problemas relacionados con el saneamiento facilitan el aumento de Enfermedades como el cólera, la diarrea, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis están relacionadas con la falta de acceso a servicios adecuados de agua y saneamiento, o con su gestión inadecuada. Esta situación pone en peligro la salud pública, aunque estos riesgos son prevenibles.

Se estima que cerca de un millón de individuos mueren anualmente debido a enfermedades diarreicas, contraídas por aguas contaminadas, el saneamiento incorrecto o una higiene de manos inadecuada (Organización Mundial de la Salud, 2023)

Las PTAP son esenciales para garantizar la calidad de vida y la salud de la población.

Plantas de tratamiento de agua potable

Las PTAP son fundamentales en la vida cotidiana y en la ingeniería civil.

En la vida son de suma importancia debido a que permiten proporcionar agua limpia y segura, reduciendo las enfermedades transmitidas por el agua contaminada, el buen manejo y control de estas contribuye de manera positiva a la calidad de vida, la salud pública y al desarrollo sostenible.

La ingeniería civil es importante en el tema de infraestructura de saneamiento porque permite que se desarrollen las comunidades urbanas y rurales aportando beneficios con la construcción de infraestructuras como las plantas de tratamiento de agua potable que benefician y mejoran la calidad de vida de las comunidades. Asimismo, impulsa la investigación y el desarrollo en la ingeniería teniendo en cuenta que las tecnologías utilizadas cada vez van en avance por lo tanto se hace necesario estar estudiando e innovando.

"La PTAP es un conjunto de sistemas que emplea procesos físicos y químicos para remover los contaminantes presentes en las aguas crudas, haciéndolas aptas para el consumo humano. Su propósito es purificar tanto el agua superficial como la subterránea para garantizar su seguridad al ser consumida." (Ingeniería en aguas SAS , 2021)

Según la calidad del agua que se reciba al principio, se deben aplicar diversos tratamientos para asegurar que sea apta para el consumo humano.

Procesos más importantes en las plantas potabilizadoras

Coagulación y floculación: Es el proceso mediante el cual se desestabilizan las partículas coloidales en suspensión presentes en el agua, favoreciendo su agregación para mejorar la eficiencia de la etapa de decantación o espesado, en la cual estas partículas deben ser separadas del agua (Perez & Urrea, Universidad Politécnica de Cartagena , 2018).

Los floculantes son productos que ayudan a que las partículas en suspensión se unan entre sí formando flóculos.

Las fuerzas repulsivas entre las partículas coloidales son eliminadas mediante coagulantes, de esta manera se forman micro flóculos, mientras que el floculante une estos micro flóculos para que sedimenten más rápido y fácilmente. (Perez & Urrea, Universidad politécnica de cagatena , s.f.)

Operación de la unidad de floculación

Según lo mencionado por (Empitalito, 2018) para realizar una correcta operación de la unidad de floculación en PTAP se deben hacer tareas como lo son: revisar la velocidad de agitación, verificar la operación del dosificador, verificar que el tiempo de contacto sea suficientes y verificar en tamaño del floculo.

1. **velocidad de agitación:** según (Cogollo F. J.) La velocidad de agitación en el sistema de clarificación está íntimamente asociada a la frecuencia de interacción entre las partículas suspendidas en el agua. Dado que en el proceso de clarificación con hidroxiclورو de aluminio se generan flóculos de mayor tamaño y con una mayor tasa de sedimentación en comparación con los formados mediante sulfato de aluminio, se requiere una agitación más lenta en el dispositivo de clarificación cuando se utiliza el primero, en lugar de la velocidad de agitación empleada con sulfato de aluminio. (Cogollo F. J., 2011).
2. **Verificar operación del dosificador:** de acuerdo con (Fonseca) Verificar la dosificación del coagulante en el sistema de mezcla rápida, asegurando que el caudal de diseño se mantenga de manera constante para garantizar la formación de flóculos adecuados. Es fundamental realizar una revisión de la formación del flóculo y de la dosis aplicada, tomando una muestra a la salida del floculador para asegurar que se cumplen los parámetros óptimos de tratamiento (Fonseca, 2018).
3. **Verificar que el tiempo de contacto sea suficiente:** Es necesario asegurar que el tiempo de exposición dentro del sistema sea el necesario para permitir que los flóculos desarrollen el tamaño y peso adecuados, lo que favorece una sedimentación eficiente. El tiempo de retención debe mantenerse entre 20 y 60 minutos (Empitalito, 2018).
4. **Verificar el tamaño del floculo:** Es necesario examinar el tamaño del flóculo en la efluencia del floculador y evaluar la turbidez residual una vez que se haya realizado la decantación, realizando una comparación con la turbidez obtenida bajo las mismas condiciones en la prueba de jarras. (Empitalito, 2018)

En el libro “purificación del agua” menciona que, En el proceso de floculación, después de introducir y mezclar el coagulante, las partículas finas coaguladas se ponen en contacto entre sí y con otras partículas presentes mediante una agitación suave y prolongada. Durante este proceso, las partículas se acumulan, aumentando su dimensión y densidad. El floculador,

por lo tanto, es un tanque diseñado con un sistema de mezcla suave y lenta, que permite un tiempo de retención relativamente largo, favoreciendo la creación de flóculos de mayor diámetro (Romero, 2000).

Factores que influyen en la floculación

Según lo menciona (Dominguez, 2010) En el proceso de floculación influyen varios factores, como lo es la naturaleza del agua, el tiempo de mezcla lenta y el gradiente de velocidad, los cuales son determinantes para la efectividad en la formación de flóculos. Dentro de la naturaleza del agua se encuentran las propiedades fisicoquímicas importantes en el proceso de purificación, como el pH, la alcalinidad y la turbidez. estos factores pueden afectar la duración del floculado, durante el cual se crean ciertas cadenas poliméricas de hidróxidos que se forman o que se relacionan con las partículas coloidales. además, algunos iones en el agua influyen en el equilibrio físico-químico del proceso.

De acuerdo con (Acosta L. , 2006) el tiempo de la mezcla lenta Generalmente, no sobrepasa los 15 minutos. Un tiempo prolongado puede causar que la muestra se caliente, lo que lleva a una mejor floculación, pero a la vez a una sedimentación deficiente, durante el proceso, se liberan gases disueltos en el agua, lo que genera formación de burbujas las cuales se adhieren a los flóculos, ayudando a que estos floten. Se recomienda un tiempo de retención de entre 3 y 15 minutos, con una velocidad de agitación de 20 a 40 rpm, para optimizar la conformacion de los flóculos.

Conforme a lo indicado por (Restrepo, 2009) El gradiente de velocidad está relacionado con la rapidez con que las partículas se agrupan durante el proceso de floculación. Existen límites superiores para el gradiente de velocidad que no deben ser excedidos, ya que esto podría provocar la ruptura de los flóculos. En las cámaras de floculación, el gradiente de velocidad debe reducirse progresivamente, evitando la inclusión de cámaras intermedias con gradientes altos, para asegurar la integridad de los flóculos formados.

El proceso de floculación se realiza mediante el uso de dispositivos conocidos como floculadores, los cuales se dividen en dos tipos principales.

Floculadores mecánicos

Según (Arboleda, 2000) Se define como floculadores mecánicos a aquellos que necesitan una fuente de energía externa para mover un mezclador en uno o en varios tanques allí el agua se queda un tiempo determinado. Dependiendo de cómo se mueva el mezclador, se dividen en: giratorios y de movimiento alternativo.

Floculadores hidráulicos

Conforme a lo mencionado por (Nuñez, Vargas, & Lopez, 2019) Los floculadores hidráulicos de flujo horizontal son dispositivos integrados en el proceso de potabilización del agua, contruidos por secciones para

garantizar una adecuada disipación de energía. Esto facilita una transición controlada del flujo turbulento, originado en la mezcla rápida, hacia un flujo laminar antes de su entrada en el sedimentador.

- Sedimentación: Consiste en la separación de los flóculos del agua clarificada mediante la implementación de la gravedad. Los flóculos se decantan hacia la base del tanque de sedimentación, facilitando su eliminación (amb, 2023).
- Filtración: En este proceso, las partículas finas que no son removidas durante las etapas de sedimentación son capturadas mediante un medio poroso, como un filtro, que permite la retención de estas partículas, mejorando la calidad del agua (amb, 2023)
- Desinfección: En el proceso donde se potabiliza el agua, se adiciona cloro con el fin de erradicar en su totalidad los microorganismos patógenos presentes, asegurando que el agua cumpla con los estándares de seguridad microbiológica para el consumo de la población (amb, 2023).
- Control de calidad: El agua potable debe cumplir con los requisitos básicos establecidos por la (Resolución 2115 de , 2007) Para garantizar su calidad, se realizan ensayos de laboratorio que proporcionan la suficiente información para llevar un control adecuado sobre la calidad del agua y asegurarse de que logre cumplir los parámetros establecidos para el consumo.

Para el tratamiento de agua potable, es necesario utilizar agua de captación que puede provenir de distintas fuentes naturales, ya sea superficial o subterránea, con o sin contaminación, y que debe pasar por diversos procesos de tratamiento. Para definir el tratamiento más adecuado del agua cruda, es fundamental realizar un estudio de ingeniería detallado que considere las características particulares de donde se suministra el agua. Este análisis debe permitir la selección de procesos y operaciones de tratamiento que aseguren la eficacia y la viabilidad económica del sistema, con el fin de que el agua de consumo humano sea tratada y adecuada para el consumo humano. (Saavedra, 2019)

Tipos de plantas de tratamiento de agua potable.

Según (Gomez & Jimenez, 2017) se pueden evidenciar los siguientes tipos de plantas:

- Plantas de ciclo completo: Estas plantas incluyen los procesos de coagulación, sedimentación, filtración y cloración, aunque no especifican el tipo de instalación utilizado en cada etapa del tratamiento. Representan el tipo de planta más comúnmente implementado en Colombia (Gomez & Jimenez, 2017).
- Plantas de filtración en múltiples etapas: Este término es utilizado para referirse a aquellas plantas que emplean filtración lenta a través de diferentes fases dentro de su proceso de tratamiento.

- Plantas de filtración directa: En este tipo de planta, el agua es conducida directamente a las unidades de filtración y, posteriormente, se realiza el proceso de cloración sin etapas previas de coagulación o sedimentación.
- Planta de filtración en línea: en este tipo de planta se lleva a cabo la coagulación seguida directamente por la filtración y la cloración, omitiendo la etapa de sedimentación. Este esquema se utiliza cuando las características del agua cruda lo permiten y se busca simplificar el proceso de tratamiento.
- Planta compacta: es aquella que todos los procesos de tratamiento se integran dentro de un único módulo prefabricado. Este tipo de diseño facilita su instalación, operación y mantenimiento, y es comúnmente utilizado en zonas rurales o con limitaciones de infraestructura.

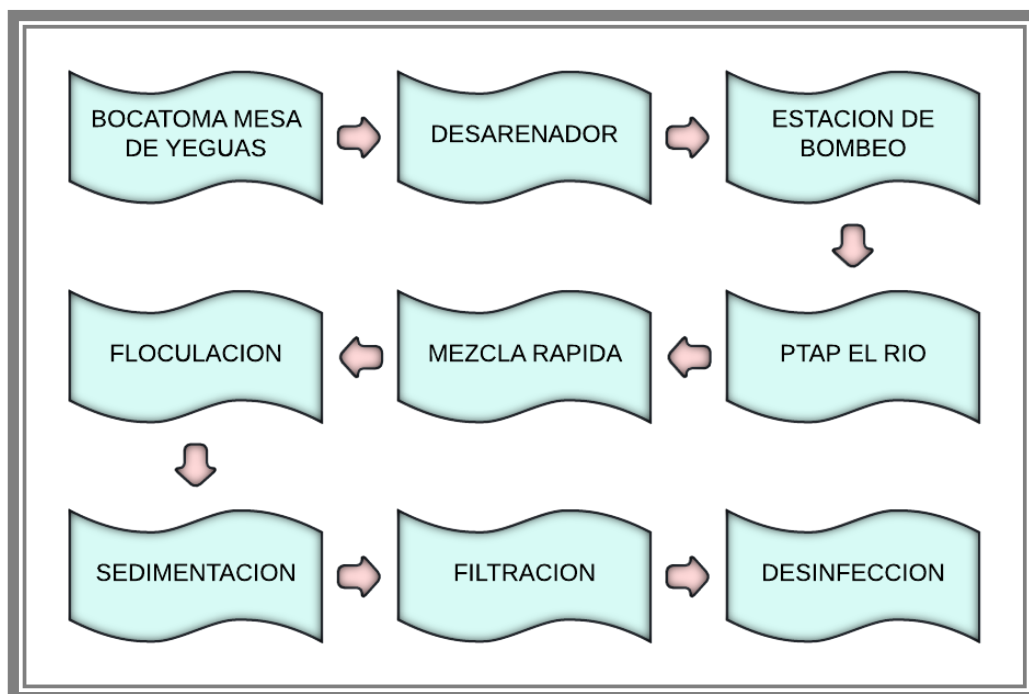
Actualmente existen dos tipos de plantas que son las utilizadas en el país

1. Planta de tipo convencional: Se trata de una planta en la que cada etapa del tratamiento se lleva a cabo en estructuras independientes, tales como canales, floculadores, sedimentadores y filtros. Este tipo de configuración se distingue por sus largos tiempos de residencia, lo que permite una mayor eficiencia en los procesos de separación y tratamiento del agua (Empresas publicas de medellin, 2024).
2. Planta de tipo compacta: Este tipo de planta integra los procedimientos de coagulación, floculación y sedimentación dentro de un solo mecanismo, antes de conducir el suministro hídrico al sistema de filtración. Se caracteriza por tener tiempos de residencia bajos. Según (Acuatecnica, 2016) este tipo de sistema permite la presurización del agua mediante bombas de aire, lo cual facilita un funcionamiento hidráulico que puede operar de forma automatizada sin requerir suministro eléctrico, reduciendo así los costos de mantenimiento. Además, la automatización permite activar sistemas de retrolavado y reactivación, asegurando la operación continua y eficiente de la planta.

La PTAP denominada “El Río” Esta planta cuenta con una configuración convencional, en la que cada etapa del tratamiento se desarrolla en estructuras independientes. El agua cruda es captada mediante bombeo desde la bocatoma ubicada en Mesa de Yeguas. Al ingresar a la planta, se inicia el tratamiento con la etapa de mezcla rápida, facilitada por una canaleta Parshall, continua por el procedimiento de floculación, posterior a ello la sedimentación, filtración y por último la desinfección. Finalmente, el agua ya potabilizada es impulsada hacia el tanque de almacenamiento Las Delicias.

X1z

Ilustración 1 Diagrama de Flujo de agua PTAP EL RIO



Fuente: Elaborado por la Autora, (2025)

8.3 MARCO CONCEPTUAL

Agua cruda: Según lo establecido en el artículo 2 del (Decreto 1575 de 2007), el agua cruda se define como *“el agua natural que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento para su potabilización”*. Esta definición establece claramente que el agua cruda proviene directamente de fuentes naturales y aún no ha sido intervenida para cumplir con los estándares de calidad requeridos para el consumo humano (Ministerio de la Protección Social y el Presidente de la República de Colombia, 2007, 9 de mayo).

Se refiere a la sustancia que no ha sido tratada y aún no ha sido integrada en la red de distribución. Se encuentra en fuentes naturales y áreas protegidas, y abarca tanto aguas superficiales como subterráneas, las cuales están en su estado original antes de ser sometidas a procesos de potabilización. (Zarza, 2023)

Agua potable: El agua potable es aquella que no presenta ningún riesgo para la salud humana. Cumple con los estándares y normativas establecidos por las autoridades competentes, que definen los valores recomendados o los límites máximos admisibles para los diversos parámetros que aseguran su calidad y aptitud para el consumo.

Se entiende por agua potable aquella que, al cumplir con los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos establecidos en el Decreto 475 de 1998, es apta para el consumo humano sin causar efectos adversos a la salud. (RAS , 2000)

El agua para consumo humano contaminada con microorganismos patógenos puede ser un vector de enfermedades diarreicas, cólera, disentería, fiebre tifoidea y poliomielitis. Se estima que esta contaminación es responsable de aproximadamente 505,000 muertes anuales debido a enfermedades diarreicas, subrayando la importancia de garantizar la calidad microbiológica del agua potable para prevenir riesgos para la salud pública (Organización mundial de la salud, 2023).

Calidad de agua: La calidad del agua es el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua con los parámetros establecidos en las normativas que regulan su potabilización y consumo. Esta evaluación permite determinar si el agua cumple con los estándares de seguridad y salubridad establecidos por las autoridades competentes. (DECRETO 1575 DE 2007, 2007).

De acuerdo con el (Ministerio de medio ambiente , 2000) La calidad del agua en algunas ocasiones puede ser alterada por razones totalmente naturales, también puede ser por influencias externas. Cuando las causas externas que afectan negativamente la calidad natural del agua no están relacionadas con el ciclo hidrológico, se considera que hay contaminación. La prevención, control y resolución de los problemas derivados de la contaminación del agua

se consideran objetivos clave en cualquier política avanzada de gestión de recursos hídricos. Estas estrategias son fundamentales para asegurar la sostenibilidad de los recursos hídricos y la protección de la salud pública a largo plazo.

Potabilización del agua: tal como señala el (Grupo Acura, 2023) La potabilización del agua se define como el proceso que abarca diversas técnicas y métodos destinados a mejorar la calidad del agua cruda, que puede tener su origen en ríos, lagos o acuíferos. Estas técnicas de potabilización comprenden la filtración, la desinfección y el tratamiento químico, entre otros. El propósito principal de estos métodos es eliminar impurezas, sedimentos, microorganismos y sustancias químicas no deseadas, convirtiendo el agua en un recurso limpio, transparente y seguro para el uso humano y para la industria.

Desinfección del agua: es el proceso en el que se eliminan microorganismos que afectan la calidad del agua.

Según lo mencionado por (Marin, 2007) La desinfección del agua ha sido un procedimiento esencial para proporcionar al consumidor agua potable segura, ya que previene enfermedades relacionadas con el agua. La desinfección se lleva a cabo mediante un proceso químico, en el cual se generan compuestos que llevan a cabo la desinfección del agua. En el proceso de cloración, se forman subproductos de la desinfección (SPD), resultado de la interacción del cloro con la materia orgánica que se encuentra en el agua, entre los cuales se incluyen los trihalometanos.

Abasto de agua: De acuerdo con lo señalado por (Barreto, 2019) Los sistemas de abastecimiento de agua son infraestructuras diseñadas para transportar agua desde fuentes naturales, tales como acuíferos subterráneos, cuerpos de agua superficiales o captación de aguas pluviales, hasta los puntos de consumo, garantizando la cantidad y calidad del recurso. Este conjunto de tecnologías y estructuras, que incluye tuberías, instalaciones de tratamiento, almacenamiento y accesorios, tiene como propósito asegurar la distribución adecuada del agua desde su fuente hasta las viviendas de los usuarios, satisfaciendo las necesidades de la población. Los sistemas de abastecimiento pueden clasificarse en función del tipo de usuario, distinguiéndose entre sistemas urbanos y rurales.

Un sistema de abastecimiento de agua es un conjunto de obras hidráulicas diseñadas para captar, controlar, dirigir, almacenar o distribuir agua cruda o parcialmente tratada. El caudal de agua que se maneja en estos sistemas puede ser utilizado total o parcialmente para el consumo humano y doméstico, dependiendo de los requisitos de calidad establecidos para el agua potable (Decreto 1898 de 2016, 2016).

Red de distribución de agua potable: La red de distribución de agua potable es un sistema de tuberías que opera a presión y se instala a lo largo de las vías de comunicación de los urbanismos. A través de este sistema, el agua es suministrada a diferentes parcelas o edificaciones dentro de un desarrollo. Su función principal

es garantizar que el agua, desde el punto de captación, llegue al punto de consumo en condiciones óptimas tanto de calidad como de cantidad, cumpliendo con los requisitos establecidos para el uso humano y doméstico. (eadic, 2016).

Aducción sistema de acueducto: Las líneas de aducción de acueducto son conductos diseñados para transportar aguas crudas desde los puntos de captación hasta las plantas de tratamiento, ya sea por gravedad o mediante bombeo. Además de su función principal de transporte, estas líneas pueden proporcionar, de manera excepcional, servicio de suministro de agua cruda a lo largo de su recorrido, según las necesidades del sistema de abastecimiento (Rodríguez Y. , 2023, pág. 123).

Hidroxiclورو de aluminio: El coagulante es el agente químico utilizado en los procesos de coagulación y floculación para desestabilizar las partículas de turbiedad presentes en el agua cruda que ingresa a la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP). Su función principal es neutralizar las cargas eléctricas de las partículas suspendidas, facilitando su aglomeración en flóculos, lo que permite su posterior remoción durante las etapas de sedimentación y filtración (Empresa de servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo, Santo Domingo S.A E.S.P, 2024).

El hidroxiclورو de aluminio (PAC) es una sal inorgánica multinuclear de aluminio, reconocida por su capacidad para formar flóculos de manera más rápida y eficiente en comparación con otras sales de aluminio mononuclear, como el sulfato de aluminio. Su uso en los procesos de coagulación y floculación permite una mayor velocidad de sedimentación y una mayor capacidad clarificante, lo que resulta en una remoción más eficaz de la turbiedad del agua. Comercialmente, el PAC se presenta como un líquido ligeramente viscoso, de color ámbar claro, a veces opalescente, y con un sabor dulzaino astringente (Cogollo F. J., 2010)

Tratamiento de agua: El tratamiento del agua es un conjunto de operaciones físicas, químicas o biológicas cuyo objetivo es la eliminación o reducción de agentes contaminantes y características no deseables en el agua, ya sea esta de origen natural, de abastecimiento, de proceso o residual. Estas operaciones buscan mejorar la calidad del agua para que sea segura para el consumo humano, el uso industrial o el cumplimiento de los estándares ambientales.

El objetivo de estas operaciones es obtener agua con las características adecuadas según el uso previsto, ya sea para consumo humano, procesos industriales, o descarga ambiental. La combinación y naturaleza de los procesos de tratamiento varían en función de las propiedades del agua cruda, tales como su calidad física, química y microbiológica, así como de los requisitos específicos del destino final del agua tratada (Acueducto y alcantarillado de Popayan S.A E.S.P , s.f.).

8.4 MARCO GEOGRÁFICO

El proyecto de análisis investigativo se llevó a cabo en la planta de tratamiento de agua potable “El Río” la cual es manejada por la empresa aguas del Tequendama y se encuentra ubicada en el municipio de Anapoima, Cundinamarca.

En la ilustración 2 se puede evidenciar el departamento de Cundinamarca en el mapa de Colombia, país al cual pertenece dicho departamento.

Ilustración 2 Ubicación de Cundinamarca en el país.



Fuente: (Anapoima , s.f.), (2025)

Anapoima es uno de los 116 municipios con los que cuenta el departamento de Cundinamarca, en la ilustración 3 se observa la ubicación del municipio de Anapoima dentro del departamento de Cundinamarca.

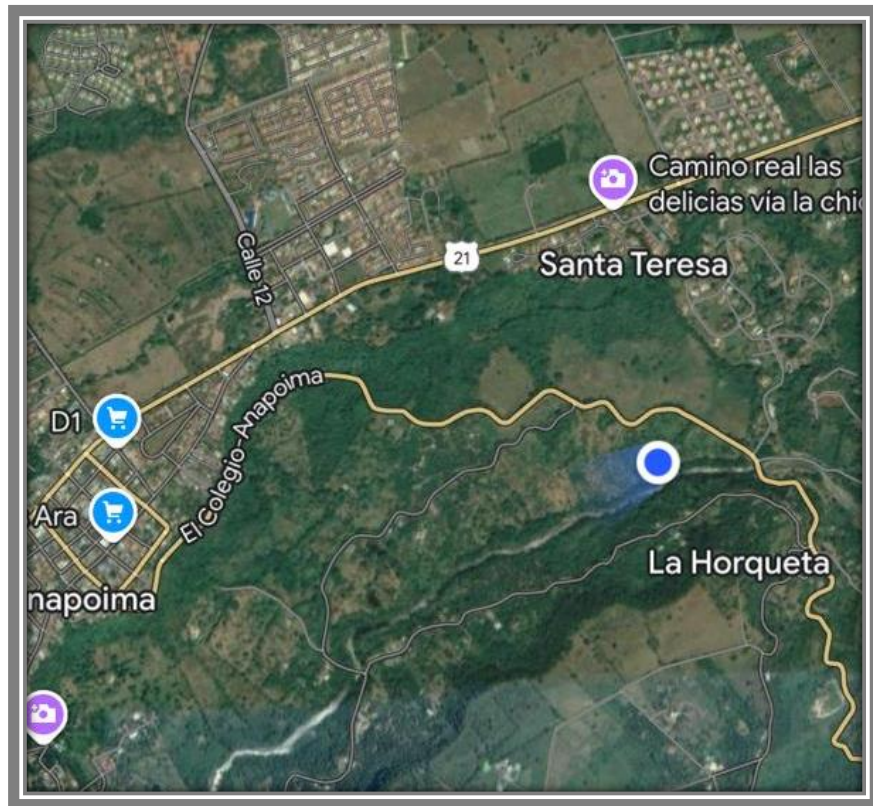
Ilustración 3 Ubicación de Anapoima en el departamento de Cundinamarca



Fuente: la autora, información tomada de: (Infraestructura de datos especiales regional , 2021), (2025)

La PTAP se encuentra ubicada a 3,3 Km del sector urbano del municipio de Anapoima, exactamente en la vereda Providencia García. Como se evidencia en la ilustración 4.

Ilustración 4 Ubicación de la PTAP en el municipio.



Fuente: Modificada por la Autora tomada de Google Maps, (2025)

Descripción del municipio

Según (Alcaldía de Anapoima, s.f.) Anapoima es uno de los 116 municipios del departamento de Cundinamarca, situado a 87 kilómetros al suroccidente de Bogotá, la capital de Colombia. Este municipio se distingue por su clima cálido y seco, lo que proporciona beneficios para la salud de sus habitantes, especialmente para la población de la tercera edad, que constituye la mayoría de sus residentes. El clima favorable contribuye a un ambiente saludable, adecuado para las personas que requieren un entorno menos húmedo o de menor altitud para mejorar su calidad de vida.

Según (Danna, 2024) en su publicación realizada en noticias caracol Anapoima es catalogado como el mejor clima de Colombia, la autora menciona que: “Este lugar es un refugio perfecto para escapar del bullicio de la ciudad, ofreciendo un ambiente cálido y seco, ideal para la salud y el bienestar”.

De igual manera el municipio se destaca en el sector turístico debido a que cuenta con una amplia infraestructura hotelera, clubes y fincas, convirtiéndolo en uno de los principales centros turísticos del país.

- Sus coordenadas exactas son: 4°18'27"N 74°18'03"O / 4.3075, - 74.300833333333.
- Altitud: 710 metros sobre el nivel del mar.
- Extensión total: 124.2 Km2

Cuenta con 12.479 habitantes.

Límites del municipio

El municipio de Anapoima-Cundinamarca está situado a 87 kilómetros al suroccidente de la capital del país.

Sus límites según (Alcaldía de Anapoima, s.f.) son:

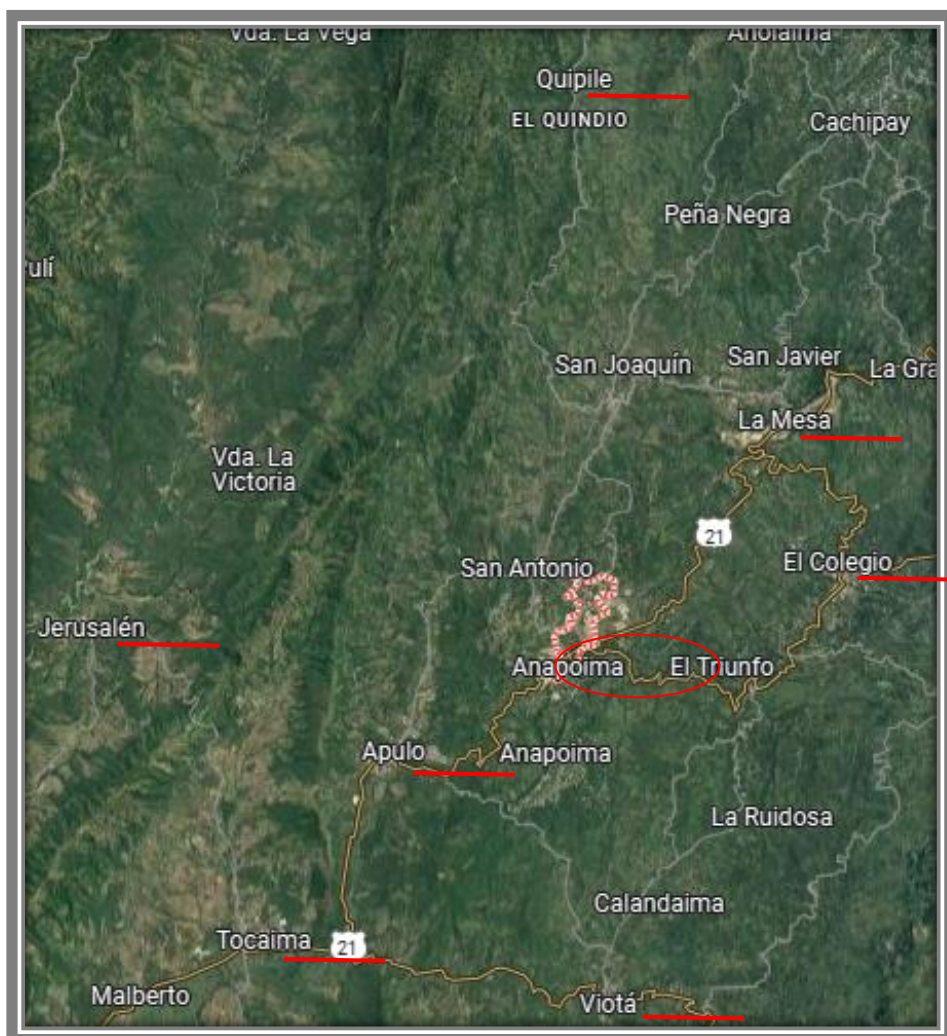
Al norte con el Municipio de La Mesa

Al sur con los Municipios de Apulo y Viotá

Al oriente con el Municipio de El Colegio

Al occidente con los Municipios de Jerusalén y Quipile.

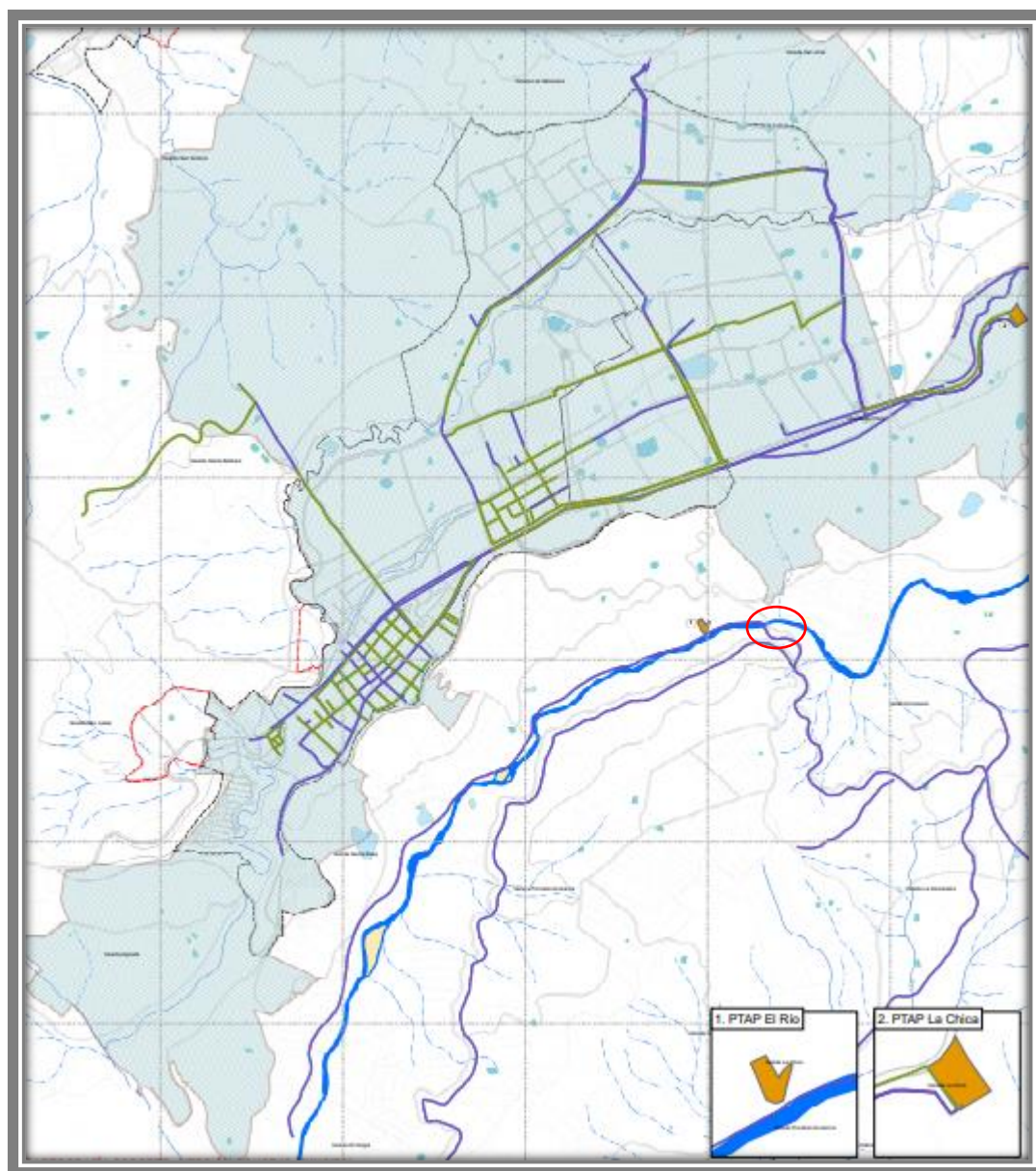
Ilustración 5 Límites del municipio.



Fuente: La autora, información tomada de (Google Maps , 2025)

La alcaldía de Anapoima en su galería presenta la galería de mapas, en la ilustración 6 que fue adquirida del sitio web del municipio se muestra la red de distribución de la PTAP “El Río”.

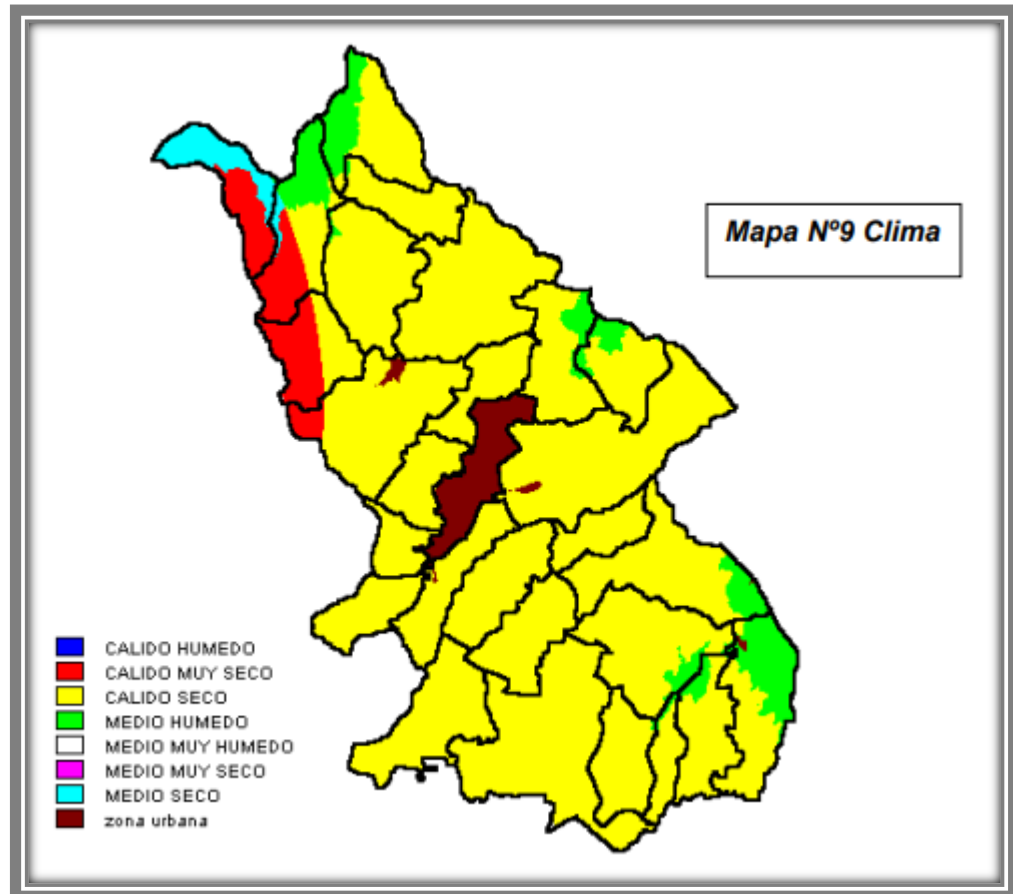
Ilustración 6 Red de distribución de la PTAP "El Río"



Fuente: Modificado por la autora, información tomada de (Alcaldía de Anapoima, s.f.), (2025)

Temperatura

Ilustración 7 Mapa Climático



Fuente: Tomada del (IDEAM), (2025)

Hidrología

El municipio de Anapoima existe 3 plantas para el tratamiento de agua potable, la más importante de ellas la PTAP el Rio la cual se abastece de la represa Mesa de Yeguas.

Anapoima hace parte de la cuenca del río Bogotá y de las subcuencas del río Apulo y el río Calandaima. La cantidad de fuentes hídricas que nacen en el municipio es escasa según el análisis hidrológico del municipio realizado en la concepción del PBOT (Anapoima, Cund., s.f.) sin embargo este cuenta con algunas microcuencas que nacen dentro del territorio municipal y con predios que fueron adquiridos en otros municipios para poder hacer uso del recurso hídrico y con esto abastecer del líquido preciado a la comunidad. Como se evidencia en (véase tabla 1)

Tabla 1 Hidrología Anapoima- Cundinamarca.

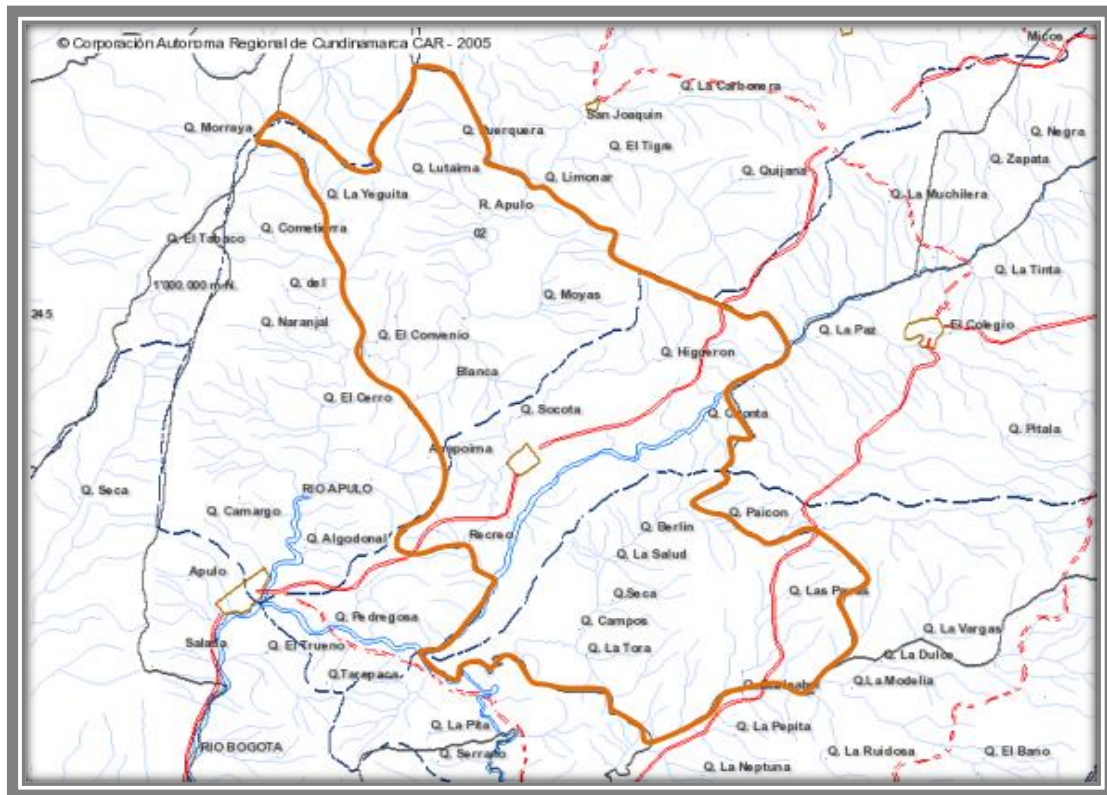
Anapoima- Cundinamarca
Cuenca
Rio Bogotá
Subcuencas
Rio Apulo
Rio Calandaima
Microcuencas del municipio
Quebradas de Agua Salobre
Quebrada Palmichera
Quebrada Lutaima
Quebrada Calichana
Quebrada San Antonio
Quebrada El Higuerón
Quebrada La Tinta
Quebrada La Esperanza
Quebrada La Tora
Quebrada el Limonar
Quebrada Socotá
Quebradas de agua dulce que surten al municipio pero que no nacen en Anapoima
Quebrada La Honda
Quebrada La Quipileña
Quebrada la Yegüera

Quebrada Campos

Fuente: La autora, información tomada de la alcaldía municipal, (2025)

En la ilustración 8 se pueden observar las microcuencas del municipio de Anapoima, las cuales nacen dentro del mismo municipio.

Ilustración 8 Microcuencas municipio de Anapoima.



Fuente: (Parada, 2012), (2025)

8.5 MARCO DEMOGRÁFICO

Es importante identificar la población que reside en el municipio de Anapoima-Cundinamarca, teniendo en cuenta la información brindada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) para el año 2018 la población se presentó de la siguiente manera (DANE, 2018). (véase la ilustración 9)

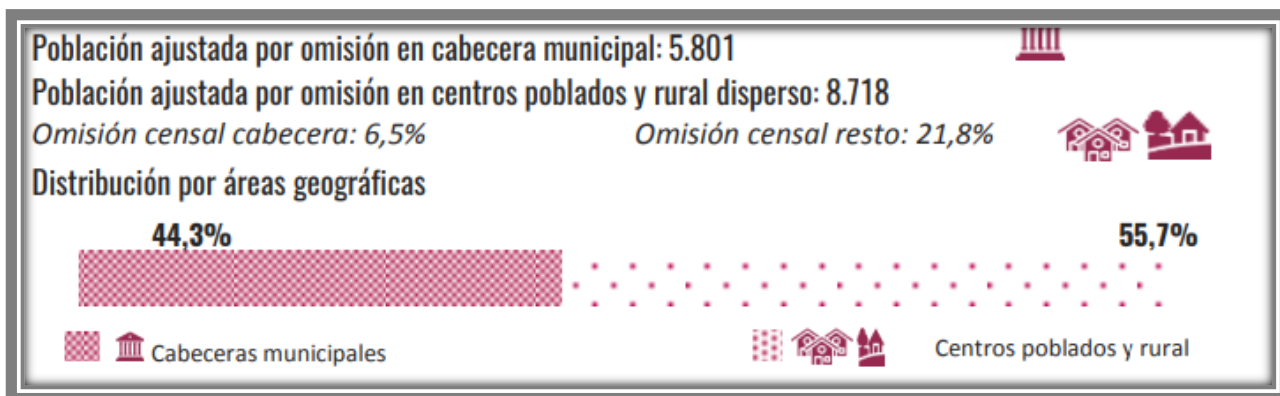
Ilustración 9 ¿Cuántos Somos?



Fuente: (DANE, 2018) (2025)

La población del municipio está distribuida en diversas áreas, lo que refleja una organización territorial variada. Conocer en qué lugares habita la mayoría de los pobladores es fundamental para una adecuada planificación y asignación de recursos. (Véase ilustración 10)

Ilustración 10 ¿Dónde estamos?



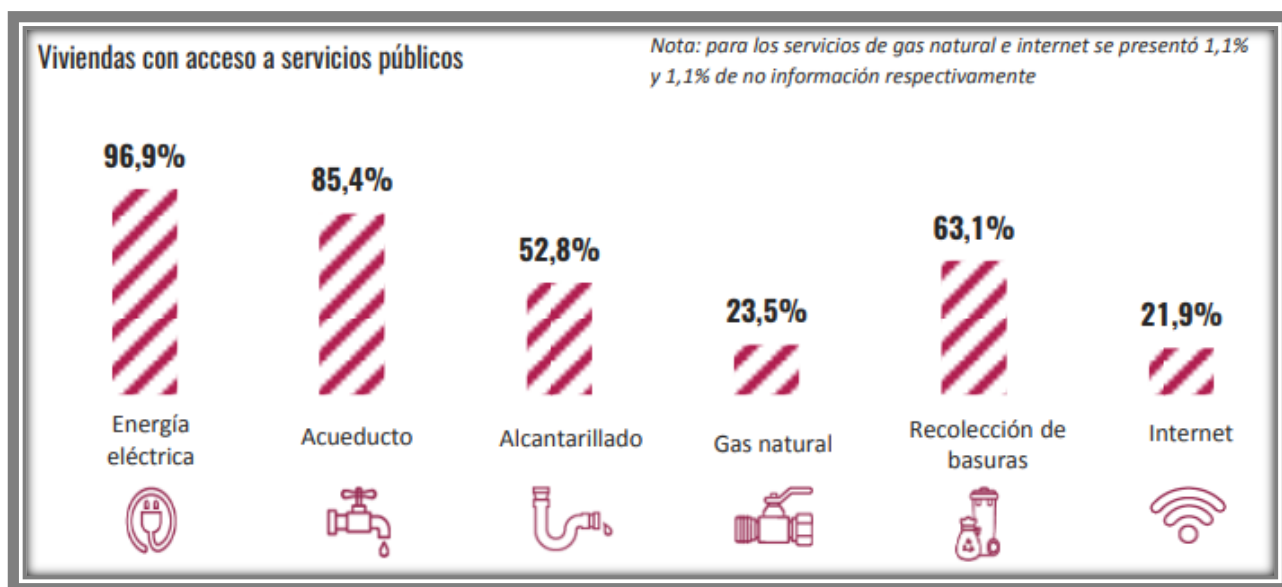
Fuente: (DANE, 2018) (2025)

El análisis del porcentaje de viviendas con acceso al servicio de acueducto es fundamental para asegurar que la población disfrute de un suministro adecuado y de calidad, además de permitir tomar decisiones informadas para mejorar la infraestructura hídrica de la comunidad.

Según el (DANE, 2018) en el municipio de Anapoima Cundinamarca el 85,4% de los domicilios contaba con acceso al servicio público de acueducto.

El 14,6% de las viviendas para el 2018 no contaba con acceso al acueducto, esta situación se presenta en mayor proporción en las veredas lejanas al casco urbano donde la red de distribución es ineficiente o nula.

Ilustración 11 Viviendas con acceso a servicios públicos.



Fuente: (DANE, 2018) (2025)

la planta de tratamiento de agua potable el Rio del municipio de Anapoima Cundinamarca cuenta con una red de distribución la cual está dividida en las siguientes zonas: Vereda Apicata, Barrio Santa Teresa, desde la calle 2 entre CRA 5 oriental a kr 2 occidental Puesto De Salud, Barrio San Jose, Nueva Colombia, Villa Estampa, Estrella Baja, Estrella Alta, San Judas bajo, Mirador De Las Palmas, Sarono, Sector Las Palmas, Tamarindo, La Isabella, Panorama, La Meseta, Villas Tamarindo, Villas De Anapoima, CRA 2 costado oriental y camellón principal CRA 2, 1, desde calle 1. A continuación se muestra el área de distribución y a su vez la zona de estudio. (véase la Ilustración 12)

Ilustración 12 Zona de estudio



Fuente: la autora, dato obtenido del geoportal por medio de medición de área (DANE,2018) (2025)

Conforme a la información obtenida por el análisis de la zona de estudio anteriormente mencionada (véase ilustración 12), se recolectaron datos importantes sobre la población.

Se obtiene una tabla general donde se visualizan los datos principales de la población, en dicha tabla se ilustra el total de personas, personas LEA, total de hogares, viviendas y personas en lugares particulares. (véase Ilustración 13)

Ilustración 13 Datos principales de la población



Fuente: (DANE, 2018) (2025)

de manera más detallada se puede observar el total de la población identificada por el género o sexo como se evidencia en Ilustración 14.

Ilustración 14 datos de personas- población por sexo



Fuente: (DANE, 2018) (2025)

De igual manera se obtienen los datos de tipos de vivienda, estos permiten identificar de qué manera se clasifican las mismas. (ver Ilustración 15)

Ilustración 15 Tipo de vivienda

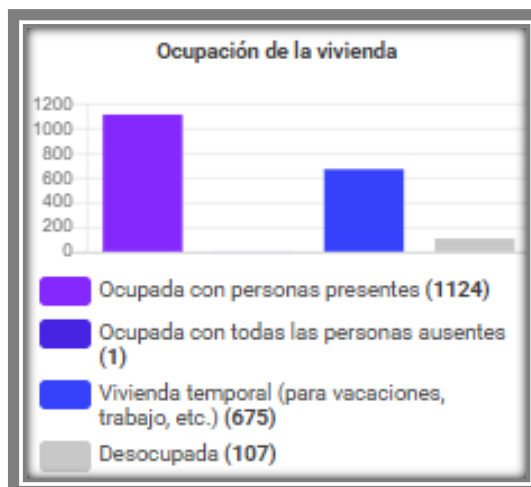


Fuente: (DANE,2018) (2025)

Analizando la tabla de la descripción de vivienda en cuanto al tipo se puede evidenciar que predomina la vivienda tipo casa con un total de 1202 casas.

Es importante conocer la ocupación de las viviendas ya que con esta información se puede estimar cual es el gasto por persona. para la zona de estudio se encontró la siguiente ocupación (véase ilustración 16)

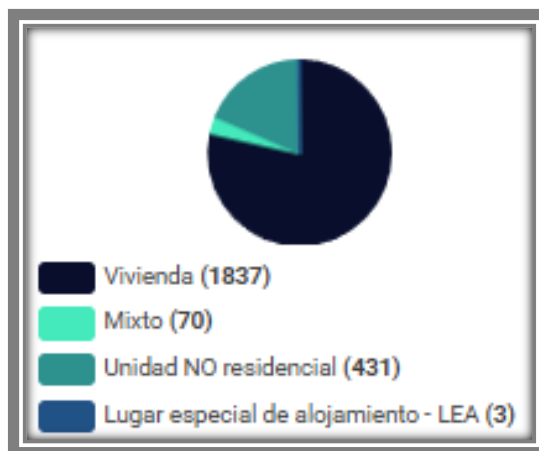
Ilustración 16 Ocupación de la vivienda



Fuente: (DANE,2018) (2025)

De acuerdo con la información suministrada anteriormente también es importante conocer los usos de las edificaciones ya que dependiendo el uso así mismo varía el consumo del recurso hídrico, por medio del ejercicio realizado en el geoportal del DANE se obtuvo la información que se visualiza a continuación (véase Ilustración 17)

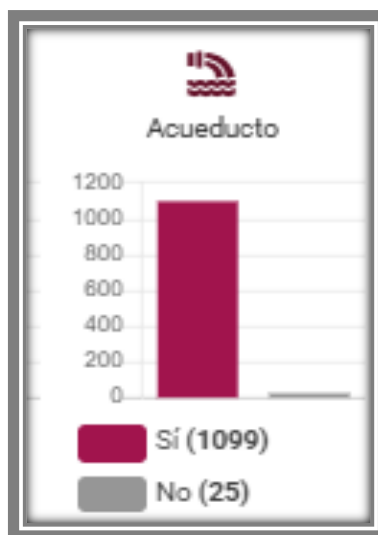
Ilustración 17 Uso de la edificación



Fuente: (DANE,2018) (2025)

Según los datos obtenidos en el análisis de la zona de estudio, se identificó que un total de 1,099 hogares cuentan con el servicio público de acueducto, mientras que 25 hogares no tienen acceso a este servicio, lo que refleja una cobertura bastante amplia en la zona, aunque aún existen áreas que requieren intervención para garantizar el acceso al suministro de agua potable, como se evidencia en (véase Ilustración 18)

Ilustración 18 Servicio de acueducto



Fuente: (DANE,2018) (2025)

8.6 MARCO LEGAL

Ilustración 19 Marco Legal.

Constitución política de Colombia 1991	Artículo 365. "Los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado. Es deber del Estado asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional."
Decreto 1575 de 2007	por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. (Funcion publica , 2007)
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. (Minvivienda , 2007)
Resolución 0330 de 2017	Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. (Minvivienda , 2017)
Resolución 0799 del 2021	"Por la cual se modifica la Resolución 0330 de 2017" (Minvivienda , 2021)

Fuente: Realizado por la Autora, (2025)

9. DELIMITACION

El presente proyecto pretende a través del análisis investigativo del manejo, control y tratamiento del agua potable realizado en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) “El Río”, ubicada en el municipio de Anapoima, Cundinamarca. identificar posibles falencias en los procesos operativos y en el estado físico de las estructuras de tratamiento, con el objetivo de proponer recomendaciones que puedan ser tenidas en cuenta por la empresa Aguas del Tequendama, entidad responsable. El estudio se llevará a cabo durante el primer semestre del año 2025. Esta se centrará en tres aspectos principales: la percepción ciudadana ante la calidad del agua potable, esto se determinará mediante una encuesta aplicada a los habitantes del municipio; la revisión de los procesos utilizados por la PTAP “El Río” para el tratamiento del agua; y la inspección visual de las estructuras físicas que componen el sistema para el tratamiento, esto con el único fin de verificar si cumplen con los requisitos mínimos exigidos en la Resolución 0330 de 2017 y si se encuentran en condiciones adecuadas o si presentan deficiencias. Cabe resaltar que este proyecto no contempla la realización de análisis físico-químicos ni microbiológicos del agua, ni la ejecución de estudios estructurales técnicos, ya que la revisión física de las estructuras se limitará a observaciones visuales sin intervención técnica especializada.

10. DISEÑO METODOLÓGICO

La presente investigación es descriptiva ya que se busca detallar y caracterizar el manejo de la planta de tratamiento de agua potable, la investigación descriptiva se encarga de destacar las características de la población que se está analizando.

Según (Fidias, 2012, pág. 22) La investigación descriptiva tiene como objetivo caracterizar un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de analizar y establecer su estructura, características y comportamiento. En este tipo de investigación, se recogen datos detallados sobre los elementos en estudio, pero no se buscan causas o relaciones de tipo causal. El enfoque principal es obtener una comprensión profunda de la situación observada a través de la descripción precisa y exhaustiva de los elementos investigados, lo cual permite presentar una visión clara y precisa del objeto de estudio

La investigación cuenta con un enfoque mixto (cualitativo y cuantitativo) ya que se hace uso de los dos métodos para complementar la investigación; cuenta con un enfoque cualitativo debido a que se recolectaran datos no numéricos, se realizan observaciones de campo, se analizan documentos y datos proporcionados por la empresa encargada de la planta de tratamiento. Adicionalmente el documento tiene un enfoque cuantitativo considerando la medición de variables y cuantificación de los datos recolectados a través de encuestas y graficando los resultados de estas.

Los estudios de métodos mixtos son aquellos que combinan de manera sistemática tanto datos cuantitativos como cualitativos para proporcionar una visión más rica y completa del fenómeno en estudio. Este enfoque permite aprovechar las fortalezas de ambos tipos de datos: los datos cuantitativos, que permiten medir y generalizar resultados, y los cualitativos, que ofrecen una comprensión más profunda y contextualizada de las experiencias, percepciones y significados. La integración de ambos tipos de información permite obtener conclusiones más amplias y matizadas, lo que contribuye a una comprensión más integral del fenómeno investigado (Abbas, 2003).

En el desarrollo de la investigación se hace uso del método cualitativo de investigación en el momento en que se realizan entrevistas a operadores y personal administrativo para comprender como realizan y supervisan los procesos realizados en la planta de tratamiento de agua potable El Rio, de igual manera se aplica el método anteriormente mencionado cuando se realizan las preguntas de la encuesta a la comunidad con el fin de conocer como perciben los habitantes la calidad del agua

El término investigación cualitativa hace referencia al enfoque de investigación que se centra en la recopilación y el análisis de datos descriptivos, como las palabras, expresiones y comportamientos observables de las personas. Este tipo de investigación busca comprender los significados, experiencias y perspectivas de los individuos o grupos en su contexto natural. En lugar de centrarse en la cuantificación de variables, la investigación cualitativa se enfoca en interpretar cómo las personas perciben y entienden su realidad, lo que permite explorar fenómenos complejos y subjetivos en profundidad (Taylor & Bogdan, 1984).

El método cuantitativo en este análisis investigativo es utilizado en base al análisis de los datos obtenidos a través de la encuesta realizada a los habitantes que se surten del agua de la PTAP El Rio, las encuestas son una herramienta clave ya que permiten recopilar información estructurada.

En este caso la encuesta fue diseñada con preguntas cerradas, lo que facilita la recolección de datos que pueden ser fácilmente cuantificados y analizados.

El análisis cuantitativo se basa en el uso de herramientas estadísticas y matemáticas para examinar fenómenos a partir de datos numéricos. Su propósito principal es identificar magnitudes, establecer comparaciones objetivas y analizar relaciones entre variables. Este enfoque permite generalizar resultados y extraer conclusiones basadas en evidencias medibles, lo que lo convierte en una herramienta fundamental para validar hipótesis y apoyar la toma de decisiones fundamentadas en datos (de Gracia, 2020).

La investigación busca identificar como es el manejo, control y tratamiento que se emplea en la PTAP “El Rio” del municipio de Anapoima Cundinamarca. El desarrollo del análisis se realizará teniendo en cuenta las estructuras con las que cuenta actualmente la PTAP y los procedimientos que se realizan en el desarrollo del tratamiento del agua, De igual manera se analizará la percepción de la ciudadanía sobre la calidad del agua que llega a las viviendas mediante una encuesta realizada con fines estrictamente académicos que permitirá evidenciar la opinión de los usuarios.

El desarrollo de la investigación se divide en las siguientes fases:

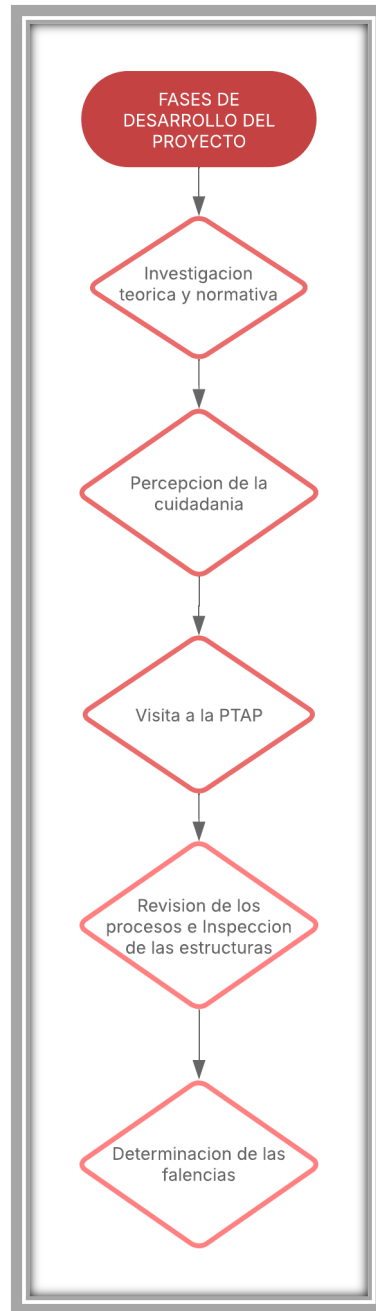
1. Se realiza la Investigación teórica y normativa relacionada con las plantas de tratamiento de agua potable. Para ello, se consultan fuentes bibliográficas como: Teoría y práctica de la purificación del agua de Jorge Arboleda Valencia; Potabilización del agua de William Antonio Lozano Rivas y Guillermo Lozano Bravo; y Purificación del agua de Jairo Alberto Romero Rojas. Además, se utiliza información de bases de datos virtuales. Durante esta búsqueda, se presta especial atención a la normativa actual que regula tanto la infraestructura de los sistemas de tratamiento como los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable.
2. Posteriormente se realizará la percepción de la ciudadanía sobre la calidad del agua a través de una encuesta de tipo académico. Se lleva a cabo una encuesta con el propósito de conocer la percepción ciudadana sobre la calidad del agua que reciben en sus hogares. Esta encuesta se aplica mediante medios electrónicos y se difunde a través de redes sociales, con el objetivo de alcanzar un mayor número de participantes y recopilar información representativa de la comunidad.
3. Asimismo, se realizarán visitas a la zona de estudio (PTAP El Rio) para revisar los procesos que se realizan para el tratamiento del agua. Durante el desarrollo del estudio de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), se realizaron cuatro visitas de campo. En cada una de ellas se llevó a cabo un recorrido en

compañía del operario de turno, quien explicó de manera detallada cada una de las etapas del proceso que se ejecuta dentro de la planta, desde la llegada del agua cruda a la cámara de entrada, hasta la fase final de bombeo hacia el tanque ubicado en la vereda La Chica. Estas visitas permiten obtener información valiosa y específica que resulta fundamental para el avance y el correcto desarrollo del proyecto.

4. Durante las visitas a la planta se inspeccionará el estado actual de las estructuras que componen el tratamiento y conforme a lo observado en el sitio se determinarán cuáles son las fallencias identificadas. A partir de las observaciones realizadas en el sitio, se identifican las fallencias que afectan el funcionamiento de la planta. Estas deficiencias se analizarán en relación con la normatividad vigente, con el fin de determinar las áreas que requieren intervención para garantizar una mejora en la eficiencia del tratamiento y el cumplimiento de los estándares de calidad del agua.

Las fases de recolección de la información y del desarrollo de la investigación se visualizan en la siguiente ilustración (véase Ilustración 20)

Ilustración 20 Fases de recolección de la información y de la investigación.



Fuente: la autora.

11.RECURSOS

Recursos empleados para el desarrollo del proyecto

RECURSOS HUMANOS

Tabla 2 Recursos humanos

RECURSOS HUMANOS	DESCRIPCIÓN
Karol Briyid Barragan Aponte	Estudiante
Abbad Jack Jimmink Murillo	Docente
Dora Alicia Diaz Torres	Directora administrativa y financiera
Luis Carlos Murcia Galindo	Ingeniero profesional de apoyo ERAT
Efrén Romero	Coordinador operativo PTAP El Rio

RECURSOS MATERIALES

Tabla 3 Recursos materiales.

Material	Descripción
Computador	Lenovo Windows 10
Celular	IPhone 11 iOS 17.6.1 capacidad de 128GB
Vehículo de transporte	Renault Clío Expresión modelo 2004

12. DESARROLLO Y ANÁLISIS DE LA INVESTIGACIÓN

12.1 ANALISIS Y RESULTADOS DE LA ENCUESTA

Se realizó la encuesta a los habitantes de las zonas donde se distribuye el agua de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) “El Río” en el municipio de Anapoima, con el propósito de evaluar la percepción ciudadana sobre la calidad del agua que les es suministrada a cada uno de sus hogares. Esta encuesta se diseñó con el fin de recolectar información detallada sobre las experiencias y opiniones de los usuarios.

A lo largo del proceso, se hicieron varias preguntas a los residentes, las cuales ayudaron a obtener una visión clara sobre la percepción que tienen del agua que reciben. Las preguntas formuladas fueron las siguientes:

¿Cuál es el número de personas que residen en la vivienda?

¿Cómo califica usted la calidad del agua según su OLOR?

¿Cómo califica usted la calidad del agua según su SABOR?

¿Ha identificado turbiedad en el agua que llega del acueducto?

La metodología de la recolección de información se realiza por medio de una encuesta por muestreo.

La encuesta por muestreo es una técnica estadística utilizada para recolectar información representativa de una población, a partir del análisis de las respuestas obtenidas de un subconjunto de individuos previamente seleccionados. Este grupo, denominado muestra, debe ser cuidadosamente elegido mediante métodos probabilísticos o no probabilísticos, con el fin de garantizar que los resultados obtenidos puedan ser extrapolados al conjunto de la población con un margen de error controlado (Netquest, 2024).

Una encuesta adquiere verdadero valor cuando cuenta con fiabilidad y es representativa. Uno de los elementos clave para alcanzar esto es el tamaño de la muestra.

El tamaño de la muestra en una encuesta es un elemento crucial para garantizar la validez y precisión de una investigación. Su determinación debe basarse en los objetivos del estudio, el nivel de confianza deseado, el margen de error aceptable y las características de la población. Asimismo, es fundamental considerar las condiciones bajo las cuales se desarrolla el estudio, ya que factores como el acceso a la población, los recursos disponibles y el tipo de análisis previsto influyen directamente en la definición del tamaño muestral adecuado (QuestionPro, 2023).

El tipo de muestra es finita ya que se conoce con exactitud la población que habita en la zona donde se realizara la encuesta, conforme a la información adquirida en

el DANE la población total es de: 2955 habitantes como se evidencia en la Ilustración. (véase Ilustración 13).

Ilustración 21 ecuación de población finita para la selección de la muestra

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{e^2(N - 1) + Z^2 * p * q}$$

n= Tamaño de la muestra

N= Tamaño de la población o universo

Z= Parámetro estadístico que depende del nivel de confianza (NC)

e= Error de estimación máximo aceptado

p= Probabilidad de que ocurra el evento estudiado

q= (1-p)≡ Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado

Fuente: Realizado por la Autora, (2025)

teniendo en cuenta la información adquirida sobre la población total (véase ilustración 13) se realiza el cálculo del tamaño de la muestra.

N= 2955

z= 1.28 (nivel de confianza del 80%)

e= 5%

p= 50%

q= 50%

$$n = \frac{1.28^2 * 2955 * 0.5 * 0.5}{0.05^2(2955 - 1) + 1.28^2 * 0.5 * 0.5} = 155$$

De acuerdo con el resultado obtenido del tamaño de la muestra para un nivel de confiabilidad del 80% es necesario realizar la encuesta de la percepción ciudadana a 155 habitantes de las zonas a las que se les suministra el recurso hídrico.

Es importante mencionar que se realizaron en total 220 encuestas a los habitantes de los sectores que se evidencia en la Ilustración 21

Ilustración 22 cronograma de servicio de acueducto

 CRONOGRAMA DE SERVICIO DE ACUEDUCTO TEMPORAL - ANAPOIMA			
Planta de Tratamiento de Agua Potable - El Río			
HORARIO SUMINISTRO DE AGUA			
Sector	SUB-SECTOR	FRECUENCIA	DIA SUMINISTRO
3	APICATA ALTA	CADA 15 DIAS	LUNES
3	APICATA BAJA	CADA 15 DIAS	LUNES
3	SANTA TERESA (EL TRIANGULO)	SEMANAL	DOMINGO-LUNES
3	DESDE LA CALLE 2 ENTRE CRA 5 ORIENTAL A KR 2 OCCIDENTAL PUESTO DE SALUD	SEMANAL	MARTES
2	BARRIO SAN JOSE BAJO Y ALTO	SEMANAL	MARTES
3	NUÉVA COLOMBIA, VILLA ESTAMPA, ESTRELLA BAJA, ESTRELLA ALTA Y SAN JUDAS BAJO	SEMANAL	MIÉRCOLES
3	MIRADOR DE LAS PALMAS, SARONO, SECTOR LAS PALMAS, TAMARINDO, LA ISABELLA, PANORAMA, LA MESETA	SEMANAL	JUEVES-VIERNES
3	VILLAS TAMARINDO, VILLAS DE ANAPOIMA, CRA 2 COSTADO ORIENTAL	SEMANAL	JUEVES-VIERNES
3	CAMELÓN PRINCIPAL CRA 2, 1, DESDE CALLE 1	SEMANAL	JUEVES-DOMINGO

Fuente: (Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P, 2024)

Análisis de encuesta

Ilustración 23 Censo de habitantes por vivienda.



Fuente: la autora

En la encuesta realizada, se consultó a los participantes sobre el número de personas que residen en su vivienda. Se obtuvieron un total de 220 respuestas y los resultados se distribuyeron de la siguiente manera:

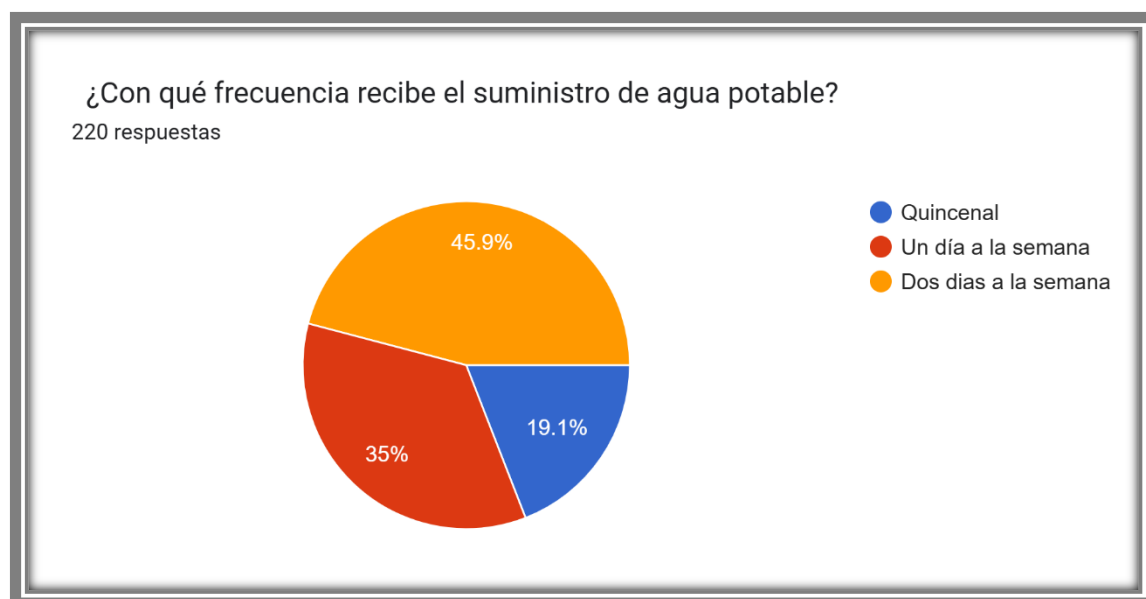
1 a 2 personas: Representan el 18.6% de los encuestados, lo que indica que una minoría vive en hogares pequeños, estos hogares en su mayoría están compuestos por parejas y por madres cabeza de familia.

2 a 4 personas: componen el grupo mayoritario, con un 50.9% de las respuestas, evidenciando que la mayoría de las viviendas cuentan con un número intermedio de personas, la mayoría de estos hogares están compuestos por padre, madre e hijos.

5 o más personas: Corresponden al 30.5% de los encuestados, mostrando una presencia considerable de hogares numerosos.

Estos datos permiten observar que más de la mitad de las viviendas (81.4%) cuentan con más de dos personas.

Ilustración 24 suministro del servicio de acueducto.



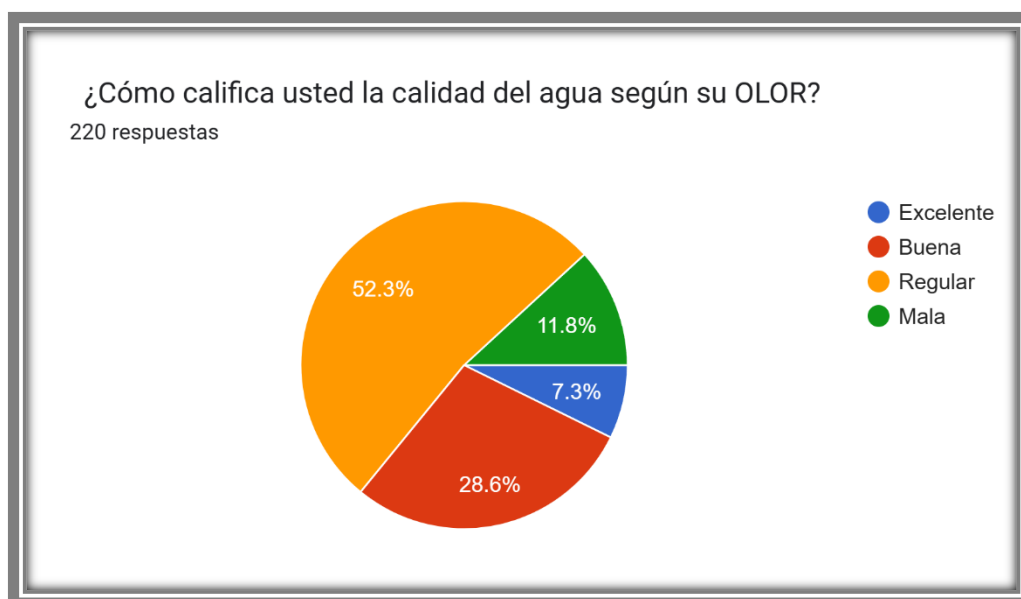
Fuente: la autora

El 45.9% de los participantes mencionó que recibe agua potable dos veces a la semana, siendo esta la frecuencia más común entre los habitantes encuestados. A pesar de ser relativamente mejor que las otras opciones, aún puede ser insuficiente para cubrir adecuadamente las necesidades diarias de las familias, especialmente en hogares numerosos.

El 35% de los encuestados indicaron que reciben agua una vez por semana. Aunque es una frecuencia mayor que la quincenal, sigue siendo limitada y esta implica la necesidad de almacenamiento prolongado de agua en tanques de reserva.

Finalmente, El 19.1% de los encuestados señaló que recibe el suministro de agua potable cada quince días, lo que representa una frecuencia muy baja y podría afectar negativamente la calidad de vida y la salubridad en sus viviendas.

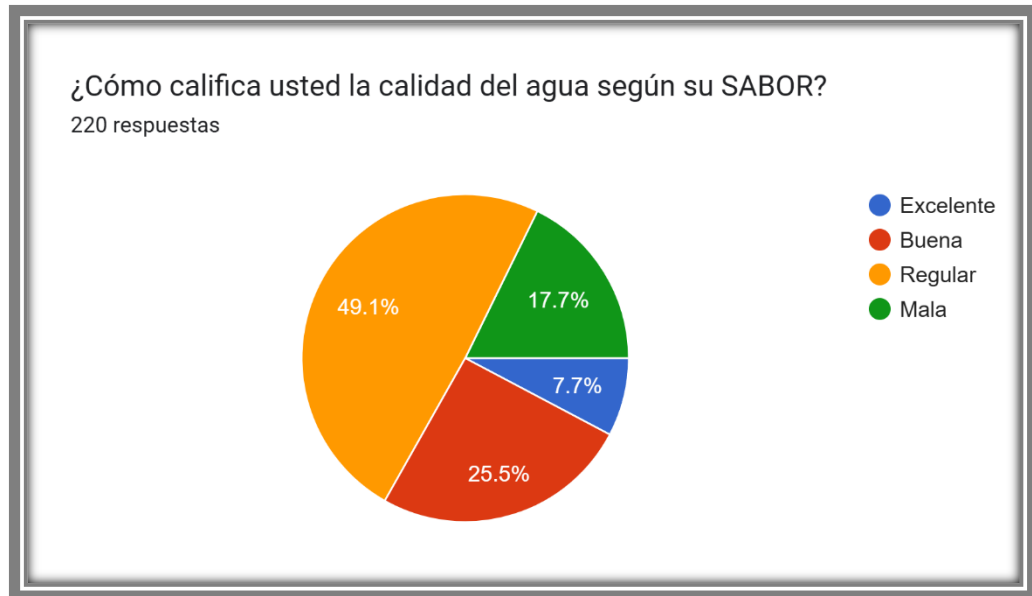
Ilustración 25 Calidad del agua según su olor.



Fuente: la autora

En esta parte de la encuesta se pidió a los 220 participantes calificar la calidad del agua basándose únicamente en su olor. Los resultados fueron los siguientes: La mayoría, el 52.3%, opinó que el olor del agua es regular. Esto sugiere una percepción generalizada de que el agua no presenta un olor agradable, aunque tampoco extremadamente desagradable. Un 28.6% calificó el olor del agua como bueno, lo que muestra una percepción positiva moderada. El 11.8% calificó el olor como malo, lo cual es preocupante, ya que un mal olor podría estar asociado a problemas de contaminación, deterioro en la calidad del agua o fallas en el proceso de tratamiento de potabilización del agua y Solo el 7.3% de los encuestados percibe el agua con un olor excelente, indicando que una minoría considera que el agua cumple altos estándares de calidad en este aspecto.

Ilustración 26 Calidad del agua según su sabor.

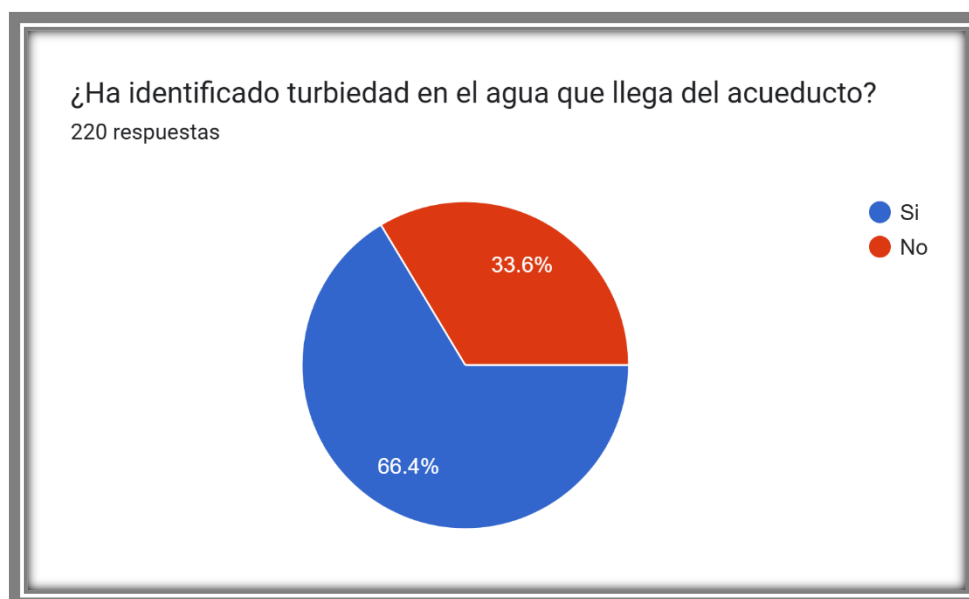


Fuente: la autora

En esta sección de la encuesta se evaluó la percepción del sabor del agua potable entre los 220 encuestados. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

La mitad de los participantes (49.1%) opinaron que el sabor del agua es regular, lo que muestra que, aunque el agua es aceptable para consumo, presenta deficiencias notables en calidad, el 25.5% opinó que el sabor del agua es bueno, una percepción positiva pero limitada, el 17.7% de los encuestados consideró que el agua tiene mal sabor, lo cual es preocupante y podría reflejar problemas en el tratamiento o distribución del agua potable y solo un 7.7% calificó el sabor del agua como excelente, lo que indica que muy pocas personas consideran que el agua es de muy buena calidad en este aspecto.

Ilustración 27 Percepción de la turbiedad en al agua.



Fuente: La autora

En esta pregunta se consultó a los 220 encuestados si habían identificado turbiedad (presencia de partículas en suspensión que afectan la claridad) en el agua proveniente del acueducto. Los resultados fueron los siguientes:

El 66.4% de los encuestados afirmaron haber percibido turbiedad en el agua que consumen.

Y el restante 33.6% indicó que no ha observado turbiedad en el agua potable.

La turbiedad en el agua es uno de los indicadores visuales más evidentes de una posible deficiencia en el proceso de tratamiento o en las circunstancias de distribución del agua. Es importante destacar que, aunque la turbiedad no se presenta de manera constante, sí se han identificado temporadas en las que el agua ha llegado con esta característica, lo cual afecta directamente su calidad y podría representar un riesgo para la salud de las personas que hacen uso de este recurso hídrico.

12.2 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EL RIO ANAPOIMA- CUNDINAMARCA

Descripción de la estructura

Se llevan a cabo las respectivas visitas de inspección a la planta de tratamiento de agua potable El Río, la cual se ubica a 3,3 km y aproximadamente a 8 minutos del sector urbano del municipio de Anapoima como se evidencio anteriormente en la ilustración No 4, con respecto a la información suministrada por el coordinador operativo Efrén Romero quien es el encargado de la PTAP, generalmente se realizan ensayos cada hora de pH y Turbiedad en el agua (H_2O) cruda y en el agua (H_2O) tratada se evalúa el pH, turbiedad, color y cloro. También la PTAP cuenta con los elementos para realizar la prueba de jarras esta prueba debe ser realizada 1 vez cada 8 horas, Adicionalmente se realiza la limpieza del filtro y la frecuencia del lavado se realiza de acuerdo con la turbiedad que se tenga; en ocasiones cuando la turbiedad es muy alta se debe lavar el filtro hasta 3 veces en cada turno de 8 horas sin embargo por lo general se realiza el lavado de 1 a 2 veces al día.

La captación del recurso hídrico se lleva a cabo mediante un sistema de tuberías que extrae el agua de la represa Mesa de Yeguas y la transporta hacia la zona de bombeo. El proceso comienza en la bocatoma, donde se emplea una tubería de 24" de diámetro para conducir el agua cruda desde la represa hasta el cárcamo de captación. Dentro del mismo cárcamo, se encuentran las rejillas que simulan el funcionamiento de un desarenador, pero su función principal es evitar el paso de solidos gruesos y peces que puedan obstruir el sistema.

Una vez que el agua ha pasado por este sistema preliminar, es impulsada mediante un bombeo que la dirige a la Planta de Tratamiento de Agua Potable el Río (PTAP). Para este tramo, se utiliza tubería de 6 pulgadas de diámetro en PVC, que asegura la conducción adecuada del agua hacia la PTAP para su posterior tratamiento y distribución. La distancia entre la bocatoma y la cámara de entrada ubicada en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) El Río es de aproximadamente 5 km. Según la concesión otorgada por la CAR, el caudal mínimo requerido para la PTAP El Río es de 7.5 litros por segundo. Sin embargo, en la práctica, se recibe un caudal entre 14 y 15 litros por segundo.

La PTAP (Planta de Tratamiento de Agua Potable) es de tipo convencional, lo que significa que cada uno de sus procesos se lleva a cabo en estructuras separadas. Esta planta cuenta con varios componentes esenciales: una cámara de entrada, una canaleta Parshall, un floculador hidráulico horizontal tipo paleta con dos cámaras de floculación, un sedimentador de flujo, y un filtro lento. Este filtro está compuesto por diferentes capas de gravas de 2 pulgadas, 1 ½ pulgadas, 1 pulgada, ½ pulgada, ¾ de pulgada, ¼ de pulgada, además de arena torpedo, arena zeolita, arena sílice y antracita.

Una vez que el agua es tratada y potabilizada, se envía al tanque ubicado en la vereda La Chica, con una capacidad de 150 m³. Dentro del municipio de Anapoima,

existen 7 puntos de muestreo distribuidos en diversas zonas, tales como: la entrada de Altos de Santorin, la vía San Antonio, el parque principal del municipio, la Carrera 23 #8-69, la recta La Chica en el sector Los Cuaita, y un último punto en Las Mercedes.

La empresa Aguas del Tequendama ha estado a cargo de la planta de tratamiento de agua potable el Río durante aproximadamente 15 años.

La PTAP el río cuenta con las siguientes instalaciones:

Cámara de entrada

La cámara de entrada es una estructura que se encuentra al inicio del proceso de tratamiento de agua, Es donde ingresa y se recibe el agua cruda que es bombeada desde la bocatoma que se encuentra ubicada en la estación de Mesa de yeguas.

Coagulación

De acuerdo con lo mencionado por (Rodriguez C.) La coagulación es uno de los métodos más eficaces y fundamentales en el proceso de potabilización del agua, especialmente para la remoción de partículas coloidales suspendidas, logrando tasas de eliminación del 80 al 90 %. Además de reducir significativamente la turbiedad, este proceso también contribuye a la remoción de color, bacterias, virus y otros contaminantes presentes en el agua. Por ello, la coagulación representa una barrera clave en la protección contra enfermedades de transmisión hídrica, que son responsables de una alta tasa de mortalidad infantil en países en desarrollo (Rodriguez C. , 2008).

En la planta de tratamiento de agua potable EL RIO se utiliza el método de dosificación manual, con concentración fija.

Químicos utilizados

Los químicos utilizados en la planta de tratamiento de agua potable EL RIO son los siguientes:

Sosa caustica: se utiliza como ablandador y reductor de pH.

Coagulante: Polímero: Hidroxicloruro de Aluminio es un es un polímero del monómero hidróxido de aluminio, tiene un contenido de alúmina del 20% y una basicidad mayor al 70%, es ideal para procesos de tratamiento de agua potable, trabaja con baja y alta turbiedad. (Quimpac S.A, 2022)

No disminuye el pH, este polímero es líquido y se suministra a través de un tanque y una manguera que llega a la cámara de entrada.

La cámara de entrada y tanque donde inicia el proceso junto con los químicos actualmente se encuentra como se observa en la ilustración. (véase ilustración 27)

Ilustración 28 Cámara de entrada.

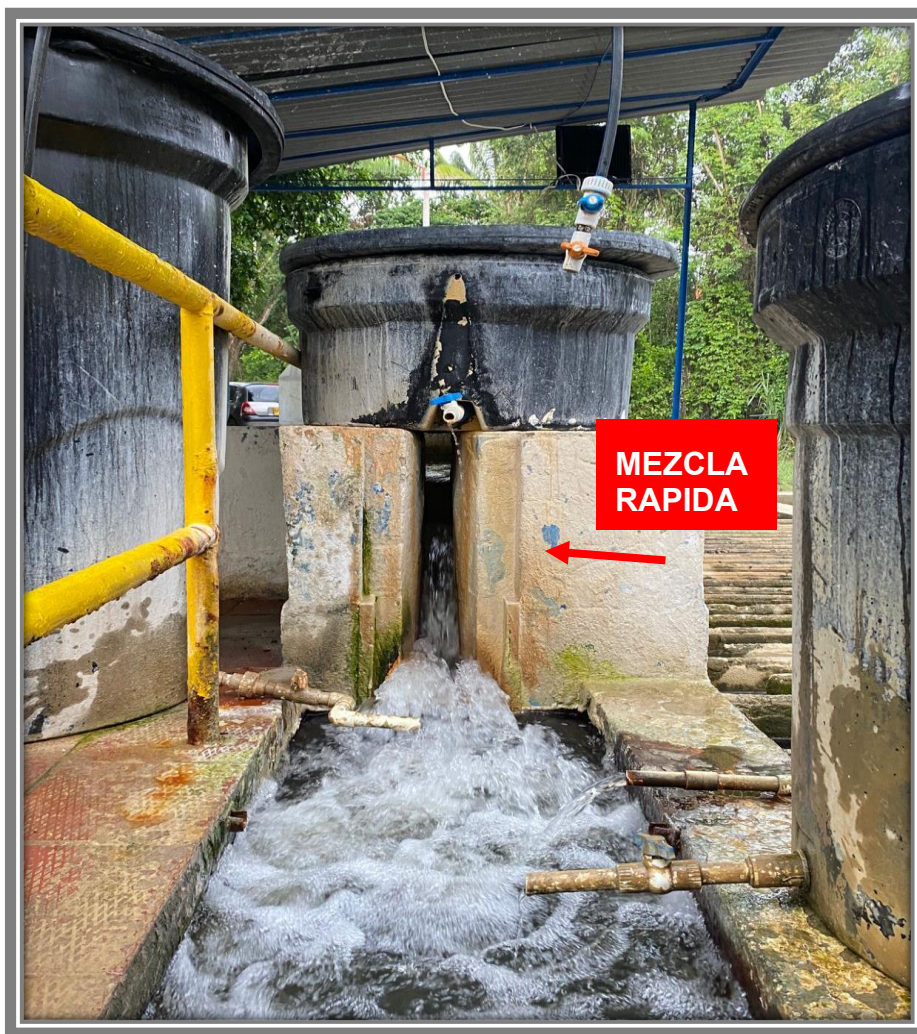


Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

La cámara de entrada en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) es la estructura donde se recibe el agua cruda que proviene de una fuente hídrica, en este caso, de la bocatoma ubicada en la presa de Mesa de Yeguas. Esta agua es bombeada desde la bocatoma hasta la cámara de entrada, donde se distribuye de manera controlada para ser tratada en las siguientes etapas del proceso.

La cámara de entrada y la coagulación de la planta de tratamiento de agua potable el Río, está compuesta por el tanque y la canaleta parshall, donde ocurre la mezcla rápida y la coagulación.

Ilustración 29 Canaleta Parshall



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

Como se evidencia en la ilustración 28, se encuentra la cámara de entrada donde se realiza la recepción del agua que llega de la presa del club mesa de yeguas, donde se encuentra la bocatoma, de igual manera en la ilustración se evidencia la canaleta parshall la cual ayuda con el proceso de mezcla rápida, adicionalmente se observa un tanque de 250 L donde se aplica 1.5L de sosa caustica y posteriormente es conducida mediante una canaleta hacia el floculador.

En la ilustración 29 se observa un tanque de 250 L puesto sobre la canaleta Parshall cumpliendo la función de suministrar la sosa caustica en el agua posterior a tratar, a este se le suministran 1.5 L de sosa caustica que funciona como ablandador y reductor de pH, la cual es proporcionada al agua mediante una tubería de 1", y se controla mediante un registro con apertura de aproximadamente $\frac{1}{4}$ de su apertura total.

Ilustración 30 Tanque de 250L para suministro de sosa caustica



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

Como se evidencia en la ilustración 30, se cuenta con un tanque de 1000L el cual se implementa para disolver 5 galones de hidroxiclورو de aluminio, el cual es utilizado como coagulante, este se suministra después de haber pasado por la canaleta parshal, al igual que la sosa, este se suministra de manera empírica mediante tubería de 1", y se controla mediante la apertura de un registro implementado, esto hace que el suministro varíe, ya que no siempre será la misma cantidad de salida y aplicación al agua a tratar, de allí se dirige al floculador.

Ilustración 31 Tanque de 1000L para disolver el polímero Hidroxiclورو de aluminio



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

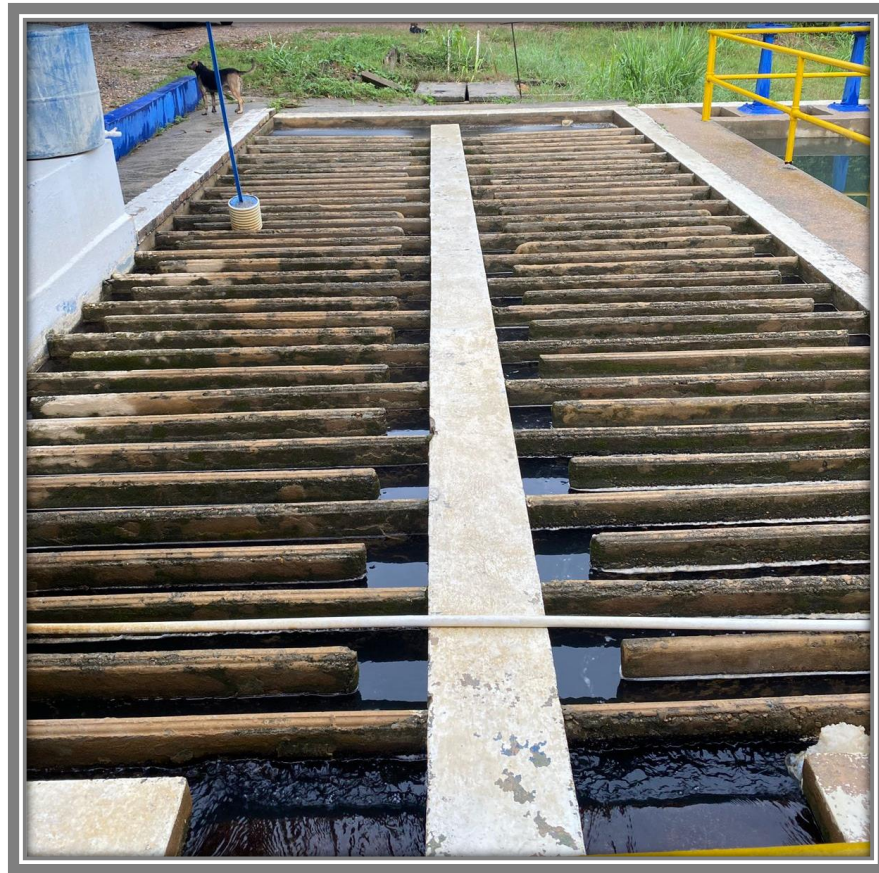
Floculación

es el proceso mediante el cual las partículas inestables previamente desestabilizadas durante la coagulación se agrupan, formando inicialmente microflóculos y, posteriormente, flóculos de mayor tamaño. Estos flóculos, debido a su peso y cohesión, tienden a sedimentarse en el fondo de los tanques de sedimentación diseñados para tal fin. Es fundamental que durante este proceso se favorezca la formación de flóculos compactos y pesados, ya que estas características optimizan su remoción en las etapas posteriores del tratamiento del agua (Perez & Urrea, eicm, 2012).

En el proceso de floculación se evidencia una agitación suave y continua del agua con coagulantes, este proceso de agitación permite que se formen acumulaciones de partículas denominadas “Flocs” con el fin de que se puedan remover fácilmente mediante la sedimentación.

En el proceso de floculación en la planta de tratamiento de agua potable el rio del municipio de Anapoima se hace uso de un floculador hidráulico de pantallas de flujo horizontal, este floculador cuenta con dos cámaras de floculación como se muestra en la imagen y maneja un tiempo de retención de 22 minutos. (Véase la ilustración 31).

Ilustración 32 Floculador de pantallas de flujo horizontal.



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

En la ilustración 31 se puede observar el floculador horizontal, el cual tiene una dimensión de 3.60 m de ancho, 8,70 m de largo con una separación de 15 cm entre cada panel permitiendo dirigir el flujo hacia el sedimentador, este cuenta con dos cámaras de las mismas dimensiones (cada una de 1,90 m), permitiendo agrupar los flóculos generando partículas de mayor dimensión. Este flujo se dirige de manera lenta hacia el sedimentador.

A continuación, se muestran las dimensiones del floculador. (véase tabla 4)

Tabla 4 Dimensiones del floculador.

DIMENSIONES DEL FLOCULADOR		
Numero de cámaras	2	Und
Ancho de cámaras	1,9	m

Largo útil	8,7	m
Ancho útil	3,9	m
Número total de tabiques	72	Und
Numero de tabiques/cámara	36	Und
Longitud de tabiques	1,4	m
Altura de tabiques	0,7	m
Espesor de tabiques	0,06	m
Distancia del muro tabiques	0,18	m
Espaciamiento entre canales	0,15	m
Profundidad total	0,7	m
Profundidad de flujo	0,6	m

Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

Como se evidencia en la ilustración la PTAP cuenta con un tanque de 500 L donde se disuelve floculante granulado, para ser más exactos se agregan 200 g de dicho producto, el cual se suministra al agua y posteriormente se dirige hacia el floculador para hacer que las partículas se agrupen y aumenten su tamaño. (véase ilustración 32)

Ilustración 33 Tanque de 500L para disolver floculador granulado



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

Como se evidencia en la ilustración 33 se pueden observar pequeñas agrupaciones de flocs en la superficie, esta acumulación se debe a partículas pequeñas de suciedad, grasas, minerales y en algunos casos jabones que se almacenan y

generan dicha acumulación, esto se debe también a los productos que se adhieren con anterioridad permitiendo acumular estas partículas. (véase Ilustración 33)

Ilustración 34 Muestra de los flocs.



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

En la ilustración 34 se puede visualizar la caída donde se evidencia una ruptura de flocs (hecho que no debería suceder), después de haber recorrido el floculador los flocs caen en una canaleta la cual dirige el suministro de agua hacia el sedimentador, adicional esta canaleta sirve para mantenimientos ya que pasa por unas rejillas, las cuales permiten hacer actividades de limpieza y sacada de lodos que se generan a lo largo de la floculación. (Véase Ilustración 34)

Ilustración 35 ruptura de los flocs



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

Como se evidencia en la ilustración 35 se encuentran residuos de flocs, es decir se ha acumulado partículas de menor tamaño, estas por lo general son minerales, lodos y en algunos casos jabones, esto se evidencia después de haber suministrado los diferentes agentes químicos en los procesos anteriores. (Véase Ilustración 35)

Ilustración 36 residuos en el proceso de floculación



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

Como se visualiza en la ilustración 36 se encuentran retenidos los flocs generados, posterior a la floculación, y adicional se encuentran unas válvulas de paso o compuertas que permiten realizar mantenimientos a los paneles, de tal manera que se evacuan por medio de un desagüe donde se usa tubería de 12" que conduce hacia el rio Bogotá estos lodos o flocs generados, y de allí pasan al sedimentador.

Ilustración 37 Flóculos en la entrada del sedimentador.



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

Sedimentación

Según (Caceres, 2017) un sedimentador es un dispositivo diseñado como separador o filtro inicial con la finalidad de eliminar las partículas sólidas presentes en el agua. Su denominación se origina en su función, la cual provoca que el agua y las partículas sólidas descendan al fondo del compartimiento o cámara de sedimentación, donde el sedimento se refiere al material que se deposita en el fondo del líquido. En el proceso de sedimentación, que tiene lugar en el sedimentador, las partículas sólidas se asientan debido a su mayor densidad en comparación con el agua. La meta de este proceso es la eliminación de los residuos sólidos que se sedimentan y de cualquier material flotante, con el propósito de reducir la cantidad de sólidos en suspensión. Los sedimentadores primarios utilizados como tratamiento preliminar del agua logran extraer entre un 50% y un 70% de los sólidos en suspensión.

La sedimentación en la PTAP el Rio es realizada por un sedimentador de flujo, En la ilustración 37 se puede detallar el sedimentador. (véase Ilustración 37)

Ilustración 38 Sedimentador.

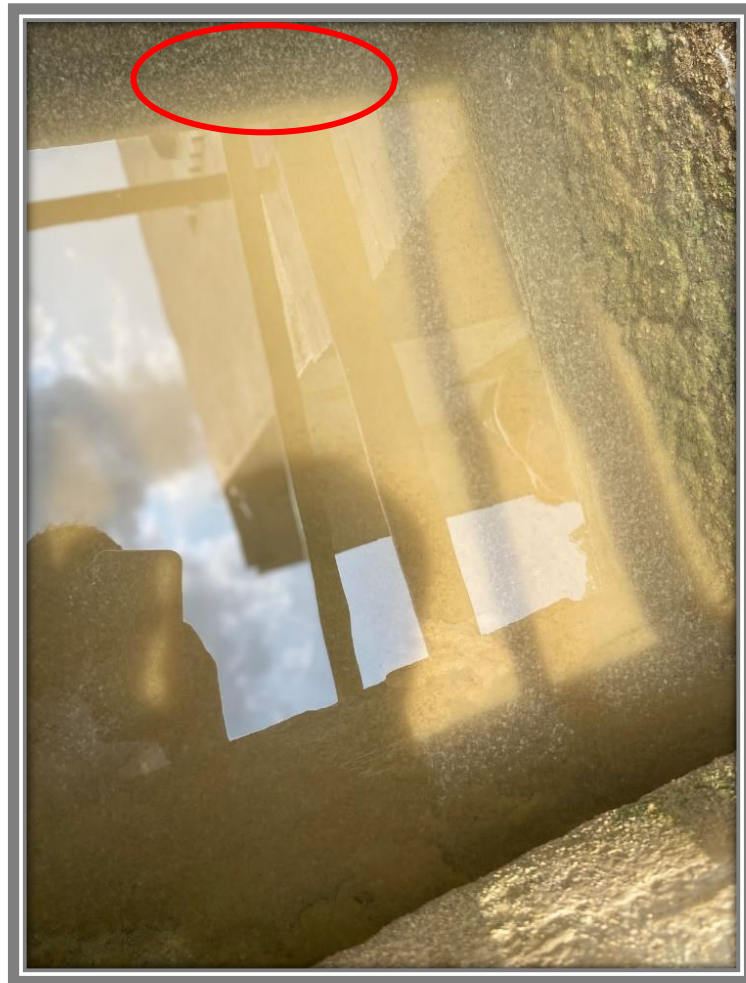


Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

En la anterior ilustración, se puede evidenciar el sedimentador, el cual es uno de los procesos finales para ya suministrar el agua al municipio, este cuenta con unos tanques de sedimentación de 3,60 m de profundidad por un largo de 8,90 m y un ancho de 4m el cual se le realiza mantenimiento o desinfección cada 20 a 30 días, dependiendo del estado en que se suministre el agua, adicional cabe resaltar que este sedimentador no cuenta con filtros tipo colmena.

En la ilustración 38 Se observa la presencia de pequeñas partículas que no logran sedimentarse adecuadamente en el sedimentador. Esta situación se debe a una falencia estructural identificada en la etapa de floculación, donde se produce el rompimiento de los flocs formados. Como resultado, las partículas que llegan al sedimentador son demasiado pequeñas, lo que dificulta su sedimentación y provoca que estas continúen hacia la etapa de filtración.

Ilustración 39 Partículas que no están siendo bien sedimentadas



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

Filtración

según (Perez J. , 1981) la filtración es “hacer que el agua fluya a través de un material poroso para filtrar las impurezas y organismos no deseados que no fueron capturados en la sedimentación.

De acuerdo con (Valades, 2024) el objetivo de la filtración es eliminar las partículas que no fueron eliminadas durante la sedimentación.

La planta de tratamiento de agua potable el rio cuenta con filtro lento, el cual este compuesto por los siguientes materiales: (véase tabla 5).

Tabla 5 Composición del filtro.

Antracita
Arena sílice
Arena zeolita
Arena torpedo
¼ "in
¾ " in
½ " in
1" in
1 ½" in
2" in

Fuente: la autora

En la ilustración 39 podemos observar el filtro que dispone a dirigir el agua hacia los tanques de suministro, en este podemos observar la canaleta de recolección y partículas flotantes, las cuales se han pasado el sedimentador sin quedar en el fondo del ya mencionado tanque. (véase Ilustración 39)

Ilustración 40 Filtro



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

En la ilustración 40 se pueden observar las pipetas de cloro gaseoso, en este procedimiento se suministra el cloro necesario para el agua potable, este se mide ya que el uso excesivo de dicho químico generaría enfermedades en la población que hace uso de este recurso, es por ello por lo que se realizan muestreos cada hora por parte de los operarios, para no exceder el suministro de cloro a el agua.

La planta de tratamiento de agua potable el Rio maneja la pre-cloración y pos-cloración, la pre-cloración se usa para el manejo de metales y el color, el agua cruda que es bombeada desde la represa de mesa de yeguas contiene metales como el manganeso.

La cloración que se maneja en la planta es de 0,2kg/h de la cloración son aproximadamente 26 L/s de los cuales el 40% queda en pre-cloración y el 60% queda en la poscloracion.

Ilustración 41 Clorador, bala de cloro e inyector.



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

En la ilustración 41 se evidencia una de las válvulas de salida, la cual dispone el agua hacia los tanques de suministro de la PTAP, estas se encuentran ubicadas al interior del cuarto de máquinas. (véase Ilustración 41)

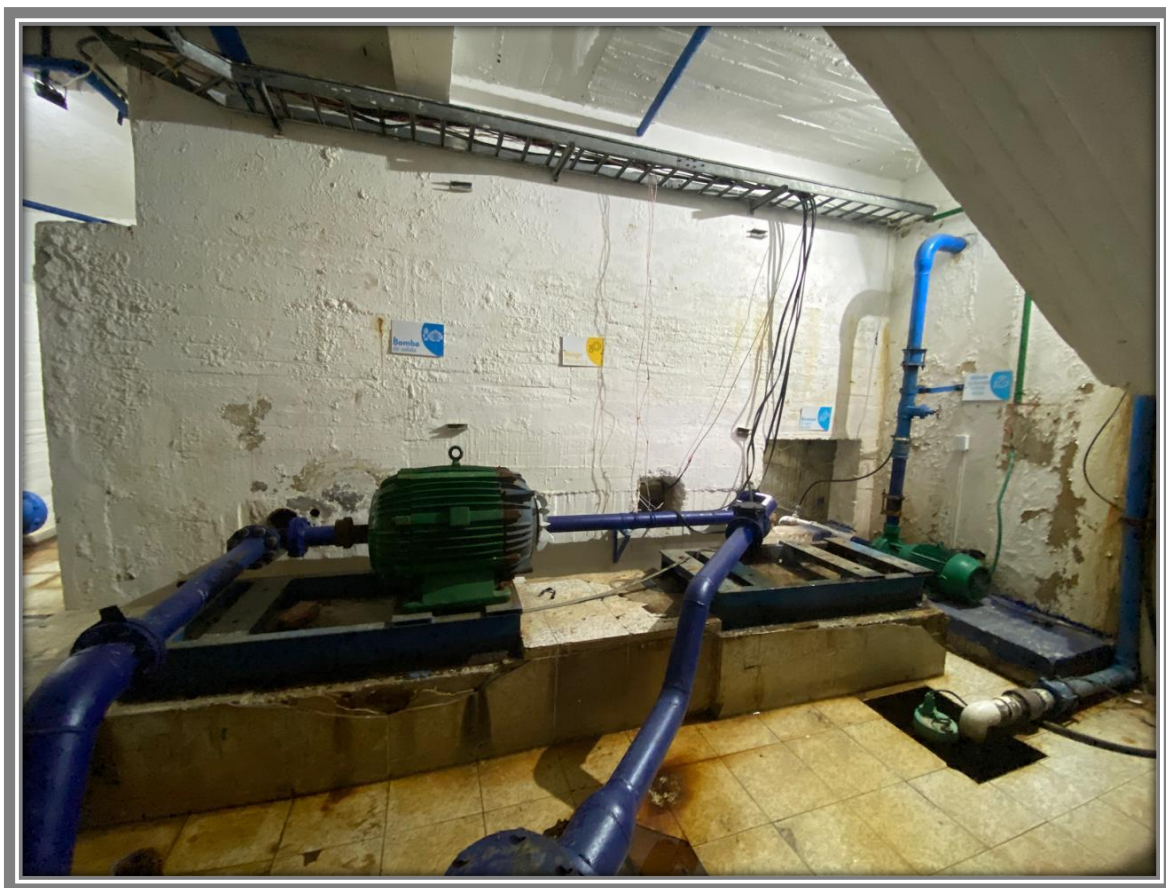
Ilustración 42 Válvula de salida No 1



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

En la ilustración 42 se encuentra la zona de válvulas y bombas que suministran el agua a la disposición final del agua potable, suministrando el recurso hídrico a la población del municipio de Anapoima Cundinamarca.

Ilustración 43 Zona de válvulas y bombas



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

En la ilustración 43 encontramos el cárcamo del agua *ya tratada* que se suministra al municipio de Anapoima allí se le aplica cloro gaseoso mediante una tubería que viene desde el cuarto de donde se encuentran las pipetas.

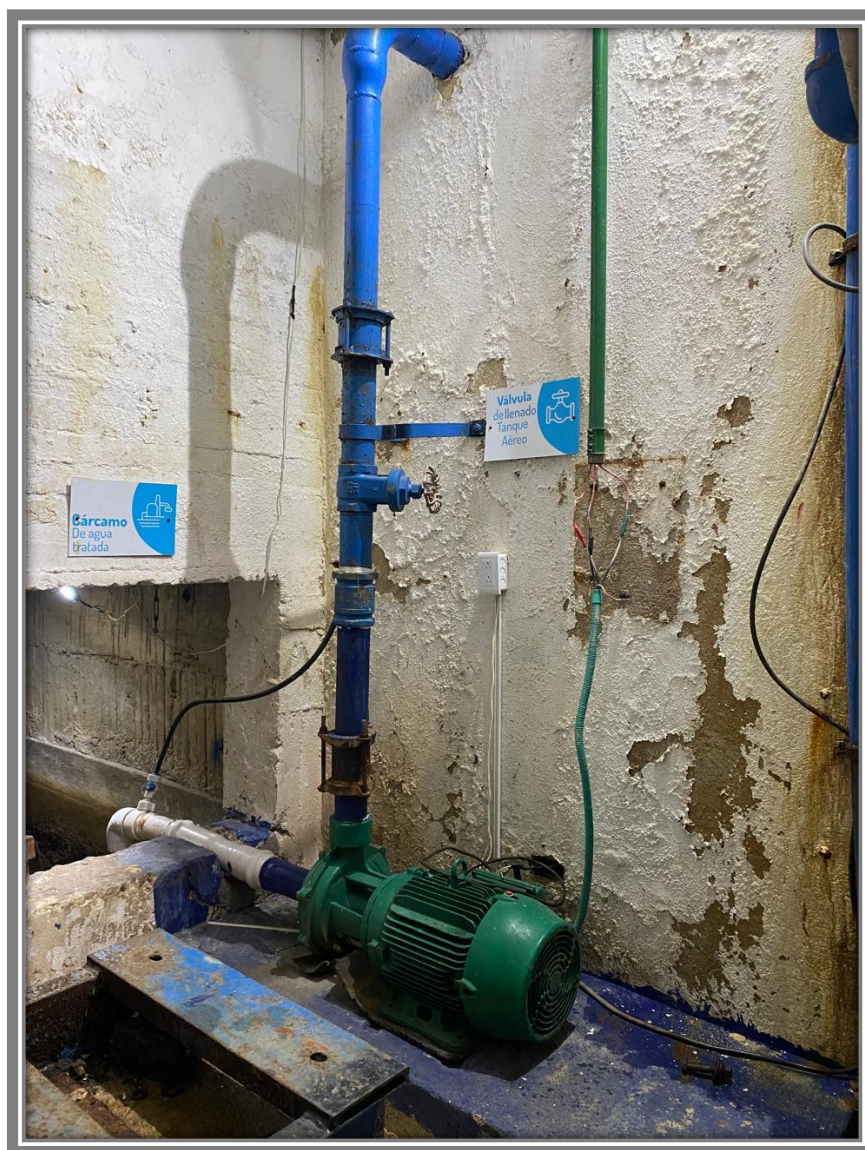
Ilustración 44 Cárcamo de agua tratada



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

En la ilustración 44 se puede evidenciar la bomba del cárcamo o tanque de almacenamiento, allí es dirigida hacia el municipio, este cuenta con un registro de cierre, el cual permite cortar el flujo del agua.

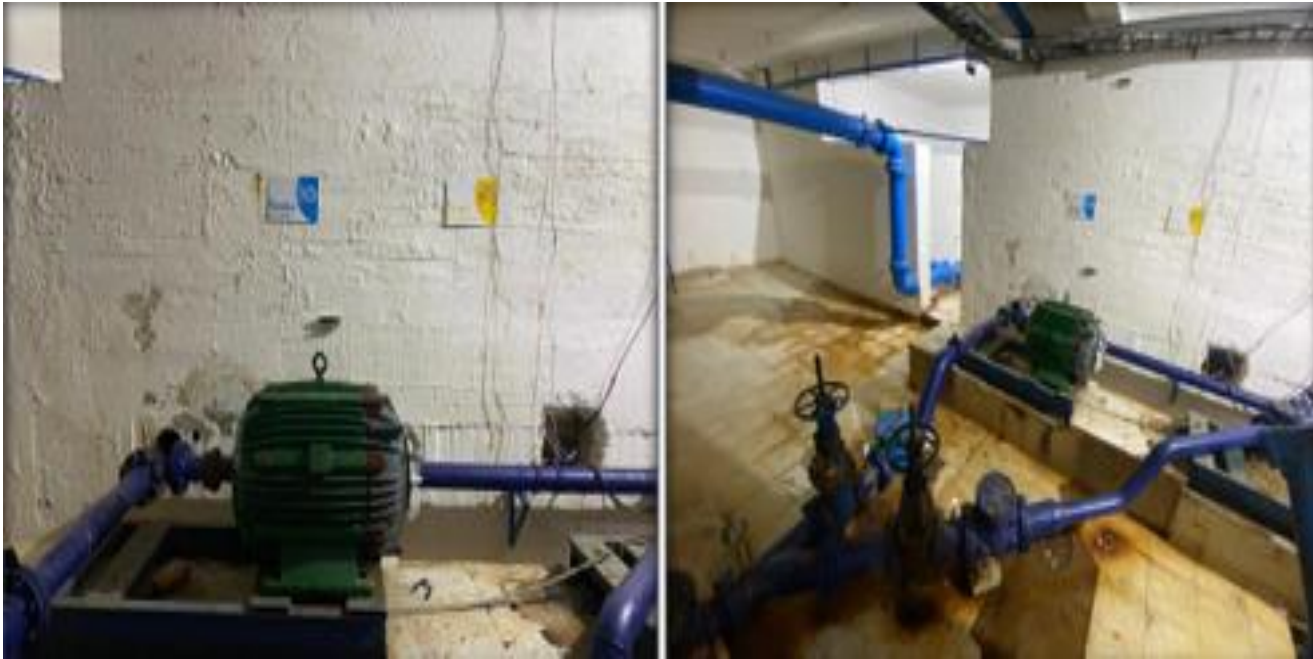
Ilustración 45 Válvula de llenado tanque aéreo



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

En la ilustración 45 se observa el cuarto de bombeo, donde el agua previamente tratada es suministrada a los tanques de almacenamiento. Las tuberías cuentan con un sistema de cierre, es decir, válvulas que permiten regular el flujo de agua, ya sea disminuyéndolo o aumentándolo según sea necesario.

Ilustración 46 Válvulas y bomba.



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

En la ilustración 46 se encuentra el registro de salida del agua potable, en el cual se recolecta o se toman muestras del agua para hacer los diferentes análisis en el laboratorio de la PTAP, como lo son el pH, la turbiedad, el color y el cloro. Así como los análisis que se realizan al agua en un laboratorio más especializado en el cual miden Coliformes Totales y *Escherichia coli* para determinar si el agua es óptima para el consumo humano. (véase Ilustración 46)

Ilustración 47 registro de salida de agua potable



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

13. FALENCIAS IDENTIFICADAS

Durante la evaluación realizada a las estructuras existentes en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) “El Río”, se identificó que el sistema de floculación actualmente cuenta únicamente con dos cámaras de floculación como se evidencia en la ilustración 48. Esta condición representa una falencia en el diseño, ya que no cumple con lo establecido en el artículo 112 de la resolución 0330 del 2017, donde se especifica que en los procesos de floculación convencional se deben garantizar al menos tres zonas o etapas de floculación. La presencia de tres zonas permite reducir progresivamente los gradientes de velocidad, favoreciendo así la formación y crecimiento adecuado de los flóculos sin que se rompan por esfuerzos mecánicos excesivos. La falta de una tercera cámara puede afectar la eficiencia del proceso, comprometiendo la calidad del agua tratada. (Véase Ilustración 47).

Ilustración 48 Cantidad de cámaras de floculación insuficientes.



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

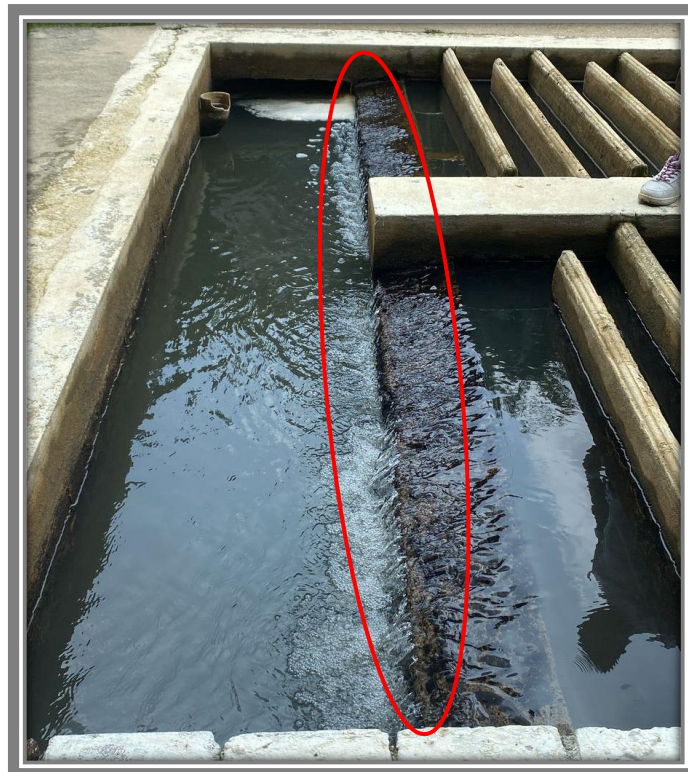
Durante la evaluación del sistema de floculación, se identificó una falencia estructural importante en las cámaras del floculador la cual se describe a continuación: en la parte final de las mismas se presenta un sobresalto o desnivel que altera el comportamiento hidráulico esperado. Este sobresalto genera un cambio brusco en la velocidad y dirección del flujo de agua, provocando un régimen turbulento en una zona donde debería mantenerse un flujo más controlado y suave idealmente un flujo laminar.

La función principal del floculador es permitir que las partículas suspendidas en el agua se agreguen formando flóculos estables de mayor tamaño, los cuales posteriormente serán removidos en la etapa de sedimentación. Para que este proceso sea eficiente, es fundamental que el flujo se mantenga lo más uniforme y tranquilo posible, evitando esfuerzos mecánicos excesivos sobre los flóculos ya formados.

El sobresalto mencionado introduce una zona de turbulencia que ocasiona ruptura de los flocs previamente formados y reducción en la eficiencia del proceso de sedimentación, ya que los flóculos rotos forman partículas más pequeñas y difíciles de remover.

El sobresalto identificado en la zona de estudio se visualiza en la siguiente ilustración. (Véase ilustración 48)

Ilustración 49 Turbulencia en el flujo del agua en el floculador.



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

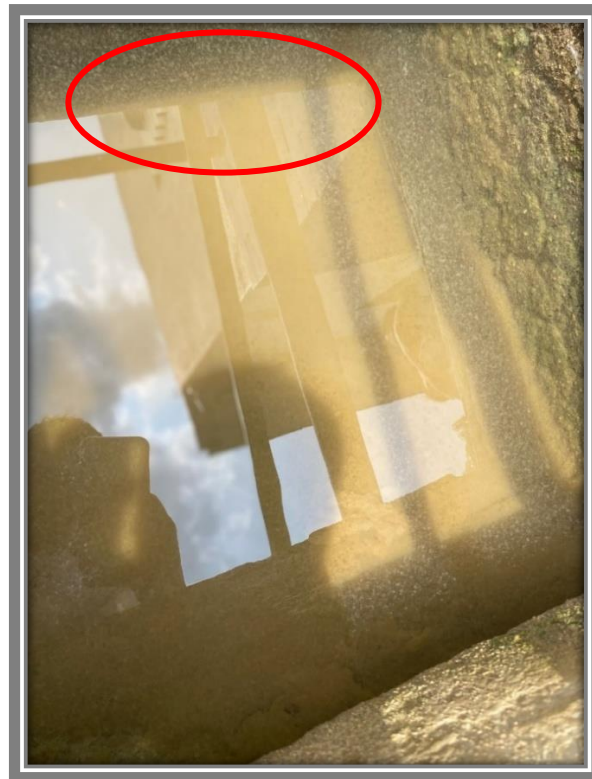
Durante la evaluación realizada en la PTAP El Río, se identificó un problema importante en la transición del flujo entre el floculador y el sedimentador. Se observó que, en esta zona de paso, el agua sufre un movimiento brusco que genera turbulencia. Esta turbulencia afecta directamente a los flóculos formados en el proceso de floculación, provocando su rompimiento.

Cuando un flóculo se rompe, pierde parte de su volumen original, lo que hace que sea mucho más ligero y, por lo tanto, disminuya su capacidad de sedimentar de manera eficiente. En lugar de precipitarse por su propio peso (que es el objetivo principal del sedimentador) los fragmentos de flóculos rotos quedan suspendidos en el agua. Esta situación puede observarse claramente en la Ilustración 50, donde se evidencia la presencia de flóculos flotando dentro del sedimentador, algo que no debería ocurrir en condiciones normales de operación.

La función del sedimentador es permitir que las partículas más grandes y pesadas se asienten en el fondo por efecto de la gravedad. Sin embargo, al tener flóculos rotos y más livianos, este proceso se ve afectado, disminuyendo la eficiencia de la remoción de sólidos.

Esta deficiencia en la unidad de sedimentación se ve reflejada en los resultados de la encuesta aplicada a la comunidad, donde se evidencio una alta frecuencia en la percepción de turbidez en el agua que es suministrada. (Véase ilustración 49).

Ilustración 50 Baja sedimentación de sólidos.



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

Ilustración 51 Unidades de filtros inadecuados.



Fuente: Registro fotográfico realizado por la Autora, (2025)

Otra de las falencias que se detectaron a través de la evaluación fue en el proceso de filtración donde esta PTAP solo cuenta con un filtro, teniendo en cuenta la normatividad vigente como es:

la (RESOLUCION 0330 DE 2017) en su artículo 114 el cual indica lo siguiente: *Para la implementación de un sistema de filtración convencional, es necesario realizar un estudio de alternativas basado en un análisis multicriterio, que permita seleccionar la tecnología de filtración más adecuada en función de variables como la turbiedad objetivo del agua tratada y las condiciones operativas del sistema. El dimensionamiento de las unidades de filtración debe seguir los parámetros establecidos en las Tablas 10 y 11, que hacen referencia a las cargas hidráulicas permitidas. Adicionalmente, el párrafo del mismo artículo especifica que, cuando el lavado de los filtros rápidos se realiza mediante una fuente externa o tanque de lavado, se deben instalar como mínimo tres unidades. En caso de lavado mutuo, el número mínimo de filtros debe ser cuatro, y la velocidad ascensional durante el lavado no debe ser inferior a 0,6 m/min.*

El artículo y el párrafo anteriormente citados establecen que, para el tipo de filtros instalados en esta PTAP, se debe disponer de un mínimo de cuatro unidades. (véase Ilustración 50).

14. CONCLUSIONES

A través del desarrollo de este proyecto de investigación se logró recolectar información mediante la encuesta de percepción ciudadana aplicada a los habitantes de las zonas donde se distribuye el recurso hídrico. Los resultados obtenidos demuestran que un porcentaje significativo de la población percibe que el agua presenta características poco favorables, como sabor a barro, olor desagradable y turbiedad ocasional. Estas condiciones están relacionadas a las deficiencias presentes en la planta de tratamiento de agua potable, especialmente desde el proceso de floculación, el cual presenta fallas importantes. A partir de allí, los procesos posteriores realizados en el sedimentador y en el filtro también resultan ineficientes, lo que afecta negativamente en la calidad del agua distribuida.

Como resultado de la revisión de los procesos que conforman el tratamiento del agua en la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) “El Río”, se identificó el proceso operativo desde la captación inicial en la cámara de entrada hasta la distribución final del recurso. El tratamiento inicia con la coagulación y floculación, seguido por el paso del agua a través de dos cámaras de floculación existentes en la planta con el fin de crear floculos. Posteriormente, el flujo continúa hacia el sedimentador donde se busca sedimentar la mayor parte de partículas del agua y luego al sistema de filtración que está compuesto por capas de grava y antracita. Finalmente, el agua es desinfectada mediante la aplicación de cloro gaseoso y es almacenada en el cárcamo de agua tratada, desde donde se bombea hacia el tanque de recolección ubicado en la vereda La Chica. Este análisis permitió comprender de manera detallada cada etapa del proceso y contribuye de manera significativa para evaluar el funcionamiento y la eficiencia del sistema de tratamiento, así como para proponer futuras mejoras en pro de garantizar la calidad del agua distribuida a la comunidad

Por medio de las visitas realizadas a la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), fue posible identificar el estado actual de las estructuras que componen cada etapa del proceso de potabilización. Este análisis permitió determinar diversas falencias presentes en la planta, las cuales afectan la eficiencia del tratamiento y la calidad del agua distribuida. Los resultados evidencian que existen falencias tanto estructurales como operativas en los procesos de potabilización. Las cuales son la insuficiente cantidad de cámaras de floculación, la presencia de turbulencia en el flujo del agua dentro del floculador, la baja eficiencia en la sedimentación de sólidos y la existencia de una única unidad de filtración, cuando la normativa vigente establece un mínimo de cuatro. Estas deficiencias técnicas comprometen la eficiencia del tratamiento y la calidad del agua que llega a los hogares.

15.RECOMENDACIONES

Con base en las falencias detectadas durante el desarrollo del proyecto, se proponen las siguientes recomendaciones técnicas y operativas con el fin de mejorar la eficiencia del tratamiento de agua en la PTAP “El Río” y garantizar una mejor calidad del recurso hídrico suministrado a la población:

1. Ampliar el número de cámaras de floculación: Se recomienda adecuar la infraestructura de la planta para cumplir con lo establecido en la Resolución 0330 de 2017, la cual exige un mínimo de tres cámaras de floculación. Esta adecuación permitirá mejorar la formación de flocs y optimizar la eficiencia del proceso.
2. Corregir la turbulencia en el floculador: Es necesario rediseñar o modificar el sistema de salida del agua en la cámara de floculación para eliminar el sobresalto que genera turbulencia. Mantener un flujo laminar en esta etapa es fundamental para evitar la ruptura de flocs y asegurar posteriormente una correcta sedimentación.
3. Mejorar la eficiencia del sedimentador: Una vez corregida la etapa de floculación, se debe realizar un seguimiento al rendimiento del sedimentador para verificar si se requieren ajustes en su diseño o mantenimiento.
4. Incrementar el número de unidades de filtración: De acuerdo con el artículo 114 de la Resolución 0330 de 2017, se recomienda que la planta cuente con al menos cuatro unidades de filtrado, especialmente si se emplea el sistema de lavado mutuo. Esto permitirá asegurar la continuidad del servicio durante labores de mantenimiento y mejorará la calidad del agua filtrada.

16. Referencias

- Abbas, T. . (2003). *Handbook of Mixed Methods in Social & Behavioral Research*. Thousand Oaks, California: SAGE Publications.
- Acosta, L. (2006). Estado del arte del tratamiento de aguas por coagulación-floculación. *ICIDCA*, 16.
- Acosta, L. (2018). *Universidad Santo Tomas* . Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/41a5ff65-d9f8-41d5-ae58-9ea926b32e62/content>
- Acuatecnica. (6 de mayo de 2016). Obtenido de <https://acuatecnica.com/caracteristicas-una-planta-compacta-tratamiento-agua/>
- Acueducto y alcantarillado de Popayan S.A E.S.P . (s.f.). *Acueducto y alcantarillado de Popayan S.A E.S.P* . Obtenido de Acueducto y alcantarillado de Popayan S.A E.S.P : <https://aapsa.com.co/institucional/infraestructura/plantas-de-tratamiento/>
- Agua y Medio Ambiente Con/Ciencia . (21 de abril de 2022). *Agua y Medio Ambiente Con/Ciencia* . Obtenido de <https://aguaymedioambienteconciencia.com/los-caudales-y-algunos-de-sus-conceptos/>
- Alcaldia de Anapoima. (s.f.). Obtenido de <https://www.anapoima-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx#:~:text=El%20Municipio%20de%20Anapoima%20est%C3%A1,occidental%20de%20la%20cordillera%20oriental.>
- Alcaldia de Anapoima. (s.f.). *Alcaldia municipal de Anapoima, Cundinamarca*. Obtenido de <https://www.anapoima-cundinamarca.gov.co/ciudadanos/PBOT/05%20-%20Cartograf%C3%ADa%20de%20formulaci%C3%B3n/P-22%20Sistema%20de%20servicios%20p%C3%BAblicos%20-%20red%20de%20acueducto.pdf>
- amb. (2023). *ACUEDUCTO METROPOLITANO DE BUCARAMANGA amb S.A. ESP* . Obtenido de <https://www.amb.com.co/amb/conoce-amb/nuestros-procesos/procesos-operativos/proceso-de-potabilizacion/>
- Anapoima . (s.f.). *Alcaldia de Anapoima* . Obtenido de <https://www.anapoima-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Galeria-de-Mapas.aspx#lg=1&slide=33>
- Anapoima, Cund. (s.f.). *Alcaldia de anapoima* . Obtenido de <https://www.anapoima-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Documents/CARTILLA%20RECURSO%20H%C3%8DDRICO%20ANAPOIMA%202012-2015.pdf>

- Apella, M., & Araujo, P. (2020). *plataforma solar de almeria* . Obtenido de plataforma solar de almeria :
https://www.psa.es/es/unidades/tsa/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf
- Arboleda, J. (2000). *teoria y practica de la purificacion del agua*. Bogota: Asociacion colombiana de ingenieria sanitaria y ambiental.
- Barrantes, A. (2 de diciembre de 2022). *TSI LifeScience*. Obtenido de <https://tecnosolucionescr.net/blog/695-la-importancia-del-color-en-el-agua-como-parametro-de-calidad>
- Barreto, L. (11 de febrero de 2019). *SSWM*. Obtenido de SSWM: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/acerca-de-esta-herramienta/%C2%BFsabes-qu%C3%A9-son-los-sistemas-de-abastecimiento-de-agua%3F>
- Beatriz, P. (12 de septiembre de 2016). *iagua* . Obtenido de iagua : <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-pradillo/parametros-control-agua-potable>
- Blue-white . (21 de septiembre de 2023). *Blue-white* . Obtenido de Blue-white : <https://es.blue-white.com/article/the-important-role-of-ph-levels-in-water-treatment/>
- Botero, J., Gonzalez, G., & Sanchez, C. (2017). *UNIVERSIDAD CATOLICA DE Colombia*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Catolica de Colombia - RIUCaC: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/4d1041e3-a0bf-4ff1-b883-404ba4698b71/content>
- Caceres, J. (2017). *repositorio universidad del valle de guatemala* . Obtenido de repositorio universidad del valle de guatemala : <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/bitstream/handle/123456789/3725/Tesis%20-%20Jos%C3%A9%20Alejandro%20C%C3%A1ceres%20Schrei.pdf?sequence=1>
- Cogollo, F. J. (5 de Octubre de 2010). *SciELO*. Obtenido de SciELO: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532011000100002
- Cogollo, F. J. (5 de octubre de 2011). *Universidad Nacional De Colombia- Sede Medellin*. Medellin: REVISTA DYNA, Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellin). Facultad de Minas. Obtenido de Universidad Nacional De Colombia- Sede Medellin: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133>
- Comision Nacional Del Agua de Mexico . (2019). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento - Diseño de Redes de Distribucion de Agua Potable*. Obtenido de Gobierno de Mexico:

https://civilgeeks.com/2017/08/18/disenio-redes-distribucion-agua-potable/#google_vignette

DANE. (2018). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Obtenido de https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/perfiles/25035_infografia.pdf

Danna, S. G. (28 de agosto de 2024). *Noticias caracol* . Obtenido de noticias caracol : <https://www.noticiascaracol.com/colombia/pueblo-con-mejor-clima-queda-a-dos-horas-de-bogota-segun-ia-supera-a-melgar-y-girardot-so35>

de Gracia, P. D. (23 de Septiembre de 2020). *Universitat Oberta de Catalunya*. Obtenido de Universitat Oberta de Catalunya: https://arts.recursos.uoc.edu/wp-content/uploads/sites/23/2020/09/guia_metodologica_ES.pdf

DECRETO 1575 DE 2007. (9 de Mayo de 2007). *Funcion Publica*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>

Decreto 1729 de 2002. (s.f.). *FUNCION PUBLICA*. Obtenido de EVA: <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5534>

Decreto 1898 de 2016. (2016). *funcion publica* . Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=78173>

Departamento Nacional de Planeacion. (2015). *Departamento Nacional de Planeacion*. Obtenido de OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE : <https://ods.dnp.gov.co/es/objetivos/agua-limpia-y-saneamiento>

Diaz, S., & Gonzalez, J. (30 de abril de 2022). *Universitat Politècnica de València*. Obtenido de Universitat Politècnica de València: https://watermark.silverchair.com/ia202217366.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAwUwggMBBgkqhkiG9w0BBwagggLyMIIC7gIBADCCAucGCSqGSIb3DQEHATAeBgIghkgBZQMEAS4wEQQMyr5ouHgZRCXYX2-aAgEQgIICuLiQU_JuB8ETTxQTFKZpsH5gG1Ee2O4BKLZD1ZxGFwt

Dominguez, M. (2010). *repositorio universidad pontifica bolivariana* . Obtenido de repositorio universidad pontifica bolivariana : https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/848/digital_19174.pdf?sequ

Dynaflux . (10 de dic de 2021). *Dynaflux* . Obtenido de Dynaflux : <https://www.dynaflux.com.pe/blog/que-es-dosificacion-tratamiento-de-agua/>

eadic. (30 de Junio de 2016). *eadic*. Obtenido de OBRAS HIDRAULICAS E INGENIERIA DEL AGUA Y AMBIENTAL: <https://eadic.com/blog/entrada/caracteristicas-de-la-red-de-distribucion-de-agua-potable/>

- Empitalito. (15 de agosto de 2018). *Empresa de servicios públicos domiciliarios de Pitalito E.S.P.* Obtenido de https://www.empitalito.gov.co/images/procesos_y_procedimientos/B-OPERATIVO/B.01.01.PR.09---PROCEDIMIENTO-OPERACIN-UNIDADES-DE-FLOCULACIN.pdf?%23zoom=85&%3Bscrollbar=0&%3Btoolbar=0&%3Bnavpanes=0
- Empresa de servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo, Santo Domingo S.A E.S.P. (4 de septiembre de 2024). GOV.CO. Obtenido de E.S.P: <https://empresa-de-servicios-publicos-domiciliarios-de-acueducto.micolombiadigital.gov.co/glosario/que-es-hidroxiclورو-de-aluminio>
- Empresa Regional Aguas del Tequendama S.A. E.S.P. (MAYO de 2024). ERAT. Obtenido de ERAT: <https://aguasdeltequendama.com/wp-content/uploads/2024/05/CRONOGRAMA-SUMINISTRO-ANAPOIMA-MAYO-2024.pdf>
- Empresas publicas de medellin. (2024). EPM. Obtenido de <https://www.epm.com.co/institucional/sobre-epm/nuestras-plantas/plantas-de-agua.html#tabs-c2b9f2f2b0-item-ce5019ba0a-tab>
- Equipo de comunicacion Aconsa . (25 de agosto de 2021). Aconsa . Obtenido de Aconsa : <https://aconsa-lab.com/parametros-calidad-agua-consumo-humano/>
- Fibras y normas de Colombia S.A.S. (2023). *blog fibras y normas de colombia* S.A.S. Obtenido de F&N de Colombia : <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/agua-definicion-origen-propiedades-e-importancia/#sidr-main>
- Fidias, A. (2012). *El Proyecto de Investigacion* . Venezuela : Episteme .
- Fonseca, A. (mayo de 2018). *repositorio Udistrital* . Obtenido de repositorio Udistrital : <https://repository.udistrital.edu.co/server/api/core/bitstreams/d692658b-1dd7-4ee1-86d3-71199b81290e/content>
- Funcion publica . (09 de mayo de 2007). *Funcion publica* . Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>
- Garzon, F., & Martinez, D. (2018). *Repositorio Universidad Santo Tomas* . Obtenido de Repositorio Universidad Santo Tomas : <https://repository.usta.edu.co/server/api/core/bitstreams/54324b9c-a37d-4698-820d-2e48d7d72e1f/content>
- Garzon, F., & Martinez, D. (28 de Mayo de 2019). *Universidad Santo Tomas*. Obtenido de Prediseño y evaluación de la planta de tratamiento de agua

- potable El Río en el municipio de Anapoima (Cundinamarca):
<https://repository.usta.edu.co/items/4cd1f80d-f6ed-4d0f-ac2d-457e1ded34f5>
- Gomez, K., & Jimenez, L. (9 de Mayo de 2017). *Universidad Cooperativa de Colombia*. Obtenido de Universidad Cooperativa de Colombia:
<https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/057fd152-1922-40b3-b722-3af627bb9e63/content>
- Google Maps . (2025). Obtenido de
https://www.google.com/maps/place/Anapoima,+Cundinamarca/@4.6159495,-74.5978254,48174m/data=!3m1!1e3!4m6!3m5!1s0x8e3f14d036336ed9:0x54573970f8820636!8m2!3d4.548942!4d-74.535235!16s%2Fg%2F119v4pwnb?entry=tту&g_ep=EgoyMDI1MDIxMi4wIKXMDSoASAFQAw%3D%3D
- Grupo Acura. (2 de octubre de 2023). *Grupo Acura*. Obtenido de Grupo Acura:
<https://grupoacura.com/es/blog/potabilizacion-agua/>
- Herrera, Y., Lozano, C., & Mendoza, J. (14 de Agosto de 2022). *KUPDF*. Obtenido de Turbiedad en Agua Potable: https://kupdf.net/download/informe-de-laboratorio-ph-temperatura-color-aparente-y-verdadero-y-turbiedad_62f802dae2b6f5902e6fd3cd_pdf
- Huerta, K. (22 de marzo de 2022). *CONTYQUIM*. Obtenido de CONTYQUIM:
<https://contyquim.com/blog/el-coagulante-en-el-tratamiento-de-aguas/>
- Infraestructura de datos especiales regional . (22 de NOVIEMBRE de 2021). *IDER* . Obtenido de IDER: <https://ider.cundinamarca.gov.co/datasets/municipios-departamento-de-cundinamarca-1100000-2021-capa/about>
- Ingeniería en agua SAS . (10 de diciembre de 2021). Obtenido de
<https://www.ingenieriaenaguas.com/agua-potable/plantas-de-tratamiento-de-agua-potable>
- Ingeniería en aguas SAS . (10 de 12 de 2021). *Ingeniería en aguas SAS* . Obtenido de <https://www.ingenieriaenaguas.com/agua-potable/plantas-de-tratamiento-de-agua-potable>
- Instituto distrital de patrimonio cultural . (11 de Noviembre de 2020). Obtenido de <https://idpc.gov.co/la-primera-planta-de-tratamiento-de-agua-de-bogota-queda-en-san-cristobal/#:~:text=En%20este%20video%20te%20contamos,los%20bogotan os%20de%20la%20%C3%A9poca.>
- Instituto nacional de salud de Colombia . (18 de diciembre de 2023). *Instituto nacional de salud de Colombia* . Obtenido de Instituto nacional de salud de Colombia : <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/informe-nacional-irca-urbano-y-rural-por-municipio-2020-2023-version-2.pdf>

- Kassandra, H. C. (22 de MARZO de 2022). *CONTYQUIM*. Obtenido de CONTYQUIM: <https://contyquim.com/blog/el-coagulante-en-el-tratamiento-de-aguas>
- Marco, L., Azario, R., Metzler, C., & Garcia, M. (2004). *Higiene y Sanidad Ambiental* . Obtenido de [https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://saludpublica.ugr.es/sites/dpto/spublica/public/inline-files/bc510156890491c_Hig.Sanid_.Ambient.4.72-82(2004).pdf)
- Marin, L. (2007). *Hidrogenesis* . Obtenido de Hidrogenesis : <https://www.binasss.sa.cr/opac-ms/media/digitales/Desinfecci%C3%B3n%20del%20agua.%20Sistemas%20utilizados%20en%20AyA.pdf>
- Mazille, F. (2 de diciembre de 2018). *toolbox* . Obtenido de toolbox : [https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulaci%C3%B3n%20C-floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n#:~:text=El%20tiempo%20de%20contacto%20adecuado,\(adaptado%20de%20MRWA%202009\).](https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulaci%C3%B3n%20C-floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n#:~:text=El%20tiempo%20de%20contacto%20adecuado,(adaptado%20de%20MRWA%202009).)
- Ministerio de la Protección Social y el Presidente de la República de Colombia. (2007, 9 de mayo). *Decreto 1575*. Funcion Publica. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>
- Ministerio de medio ambiente . (2000). *Libro blanco del agua en españa* . Centro de Publicaciones Secretaría general Técnica Ministerio de Medio Ambiente.
- Minvivienda . (22 de 06 de 2007). *Minvivienda* . Obtenido de <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>
- Minvivienda . (08 de 06 de 2017). *Minvivienda*. Obtenido de <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0>
- Minvivienda . (09 de 12 de 2021). *Minvivienda* . Obtenido de <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0799-2021>
- Netquest. (1 de abril de 2024). *Netquest Blog*. Obtenido de <https://www.netquest.com/blog/que-es-una-encuesta-por-muestreo-y-como-usarla-en-una-investigacion>
- Newtech Chemical Company. (23 de febrero de 2024). *Newtech Chemical Company*. Obtenido de <https://www.ncc.com.tr/es/post/qu%C3%A9-es-un-coagulante-para-qu%C3%A9-y-d%C3%B3nde-se-utiliza-cu%C3%A1l-es-el-mejor-coagulante-cu%C3%A1les-son-las-difer>
- Núñez, D., Vargas, A., & Lopez, L. (2019). OPTIMIZACIÓN GEOMÉTRICA DE UN FLOCULADOR HIDRÁULICO HORIZONTAL PARA POTABILIZACIÓN DE AGUAS VEREDALES. *Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)*, 2.

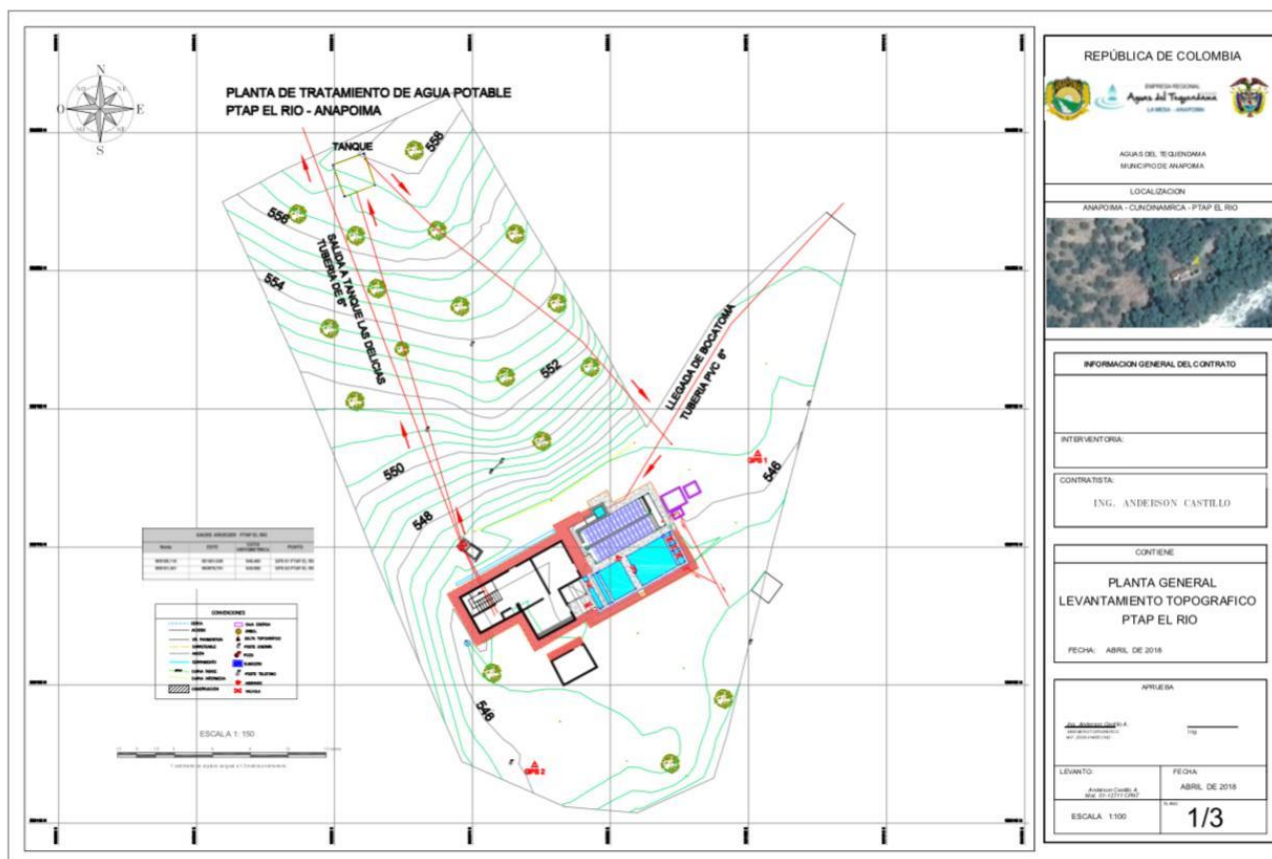
- Organizacion mundial de la salud. (13 de septiembre de 2023). *Organizacion Mundial de la salud*. Obtenido de Organizacion Mundial de la salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Organizacion Mundial de la Salud. (13 de 09 de 2023). *Organizacion Mundial de la Salud* . Obtenido de Agua Para Consumo Humano: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Parada, E. (2012). *Alcaldia de Anapoima*. Obtenido de <https://www.anapoima-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Documents/CARTILLA%20RECURSO%20H%C3%8DDRICO%20ANAPOIMA%202012-2015.pdf>
- Perez, F., & Urrea, M. (18 de enero de 2012). *eicm*. Obtenido de https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf
- Perez, F., & Urrea, M. (26 de Junio de 2018). *Universidad Politecnica de Cartagena* . Obtenido de <https://es.slideshare.net/slideshow/coagulacionyfloculacion/103209531>
- Perez, F., & Urrea, M. (s.f.). *Universidad politecnica de cargatena* . Obtenido de https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/6019/mod_resource/content/1/Tema_06_COAGULACION_Y_FLOCULACION.pdf
- Perez, J. (1981). Manual de tratamiento de agua. *Universidad Nacional*, 136. Obtenido de Repositorio Universidad nacional .
- QuestionPro. (2023). *QuestionPro*. Obtenido de QuestionPro: <https://www.questionpro.com/es/tama%C3%B1o-de-la-muestra.html>
- Quimpac S.A. (25 de agosto de 2022). *Quimpac Ecuador S.A*. Obtenido de Quimpac Ecuador S.A: <https://www.quimpac.com.ec/hidroxiclورو-de-aluminio-quimpac-2800/>
- RAS . (NOVIEMBRE de 2000). Obtenido de https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483
- RAS 2000. (s.f.). *Reglamento Tecnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico - RAS*. Obtenido de TITULO B: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulob-030714.pdf>
- RESOLUCION 0330 DE 2017. (s.f.). *Alcaldia Mayor de Bogota D.C*. Obtenido de Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=71542>
- Resolucion 2115 de . (22 de Junio de 2007). *Republica de Colombia*. Obtenido de MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL Y MINISTERIO DE PROTECCION SOCIAL.: <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/2115%20-%202007.pdf>

- Restrepo, H. (2009). *Repositorio unal* . Obtenido de Repositorio unal : https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2561/15372239_2009.pdf?sequence=1&#:~:text=%E2%96%AA%20Gradiente%20de%20velocidad,c%C3%A1maras%20intermedias%20con%20gradientes%20elevados.
- Rodriguez, Azury; Redon, Giselle; Vanegas, Luis; Velasco, Erika. (17 de Diciembre de 2020). *INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL* . Obtenido de ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS EXTRACTIVAS : <https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-politecnico-nacional/quimica-general/sesion-10-lqg-practica-de-laboratorio-de-quimica-general/14749207>
- Rodriguez, C. (octubre de 2008). *repositorio Unisucre* . Obtenido de repositorio Unisucre : <https://repositorio.unisucre.edu.co/server/api/core/bitstreams/a9f32f83-a67d-4855-8c99-48f924e9e9c0/content>
- Rodriguez, Y. (17 de abril de 2023). Obtenido de <https://es.scribd.com/presentation/639022459/LINEA-DE-ADUCCION-EN-SISTEMAS-DE-ACUEDUCTO-1>
- Romero, J. (2000). *Potabilizacion del agua*. España: Marcobombo.
- Saavedra, E. (octubre de 2019). *Universidad de Piura* . Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/320db035-ff73-4ebe-8416-16b2cef34fc6/content>
- Secretaria distrital de salud de bogota . (s.f.). Obtenido de <https://www.saludcapital.gov.co/sitios/VigilanciaSaludPublica/Protocolos%20de%20Vigilancia%20en%20Salud%20Publica/Calidad%20de%20Agua%20para%20Consumo%20Humano.pdf>
- Taylor, S., & Bogdan, R. (1984). *Introduccion a los metodos cualitativos de investigacion*. España,Argentina,Mexico: Paidos.
- Tuset, S. (2022). *Condorchem Eviro Solutions*. Obtenido de Historia sobre el tratamiento del agua potable : <https://condorchem.com/es/blog/historia-sobre-el-tratamiento-del-agua-potable/>
- Valades, L. (27 de marzo de 2024). *iagua*. Obtenido de iagua: <https://www.iagua.es/blogs/luis-anda-valades/hablemos-antracita-fundamental-proceso-filtracion-agua>
- Zamora, J. (26 de octubre de 2009). Parámetros fisicoquímicos de dureza total en calcio y magnesio, pH, conductividad y temperatura del agua potable analizados en conjunto con las Asociaciones Administradoras del Acueducto, (ASADAS), de cada distrito de Grecia,cantón de Alajuela. . costa rica .
- Zarza, L. (2023). Obtenido de iagua : <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua->

cruda#:~:text=Por%20definici%C3%B3n%2C%20el%20agua%20cruda,%2C%20mana

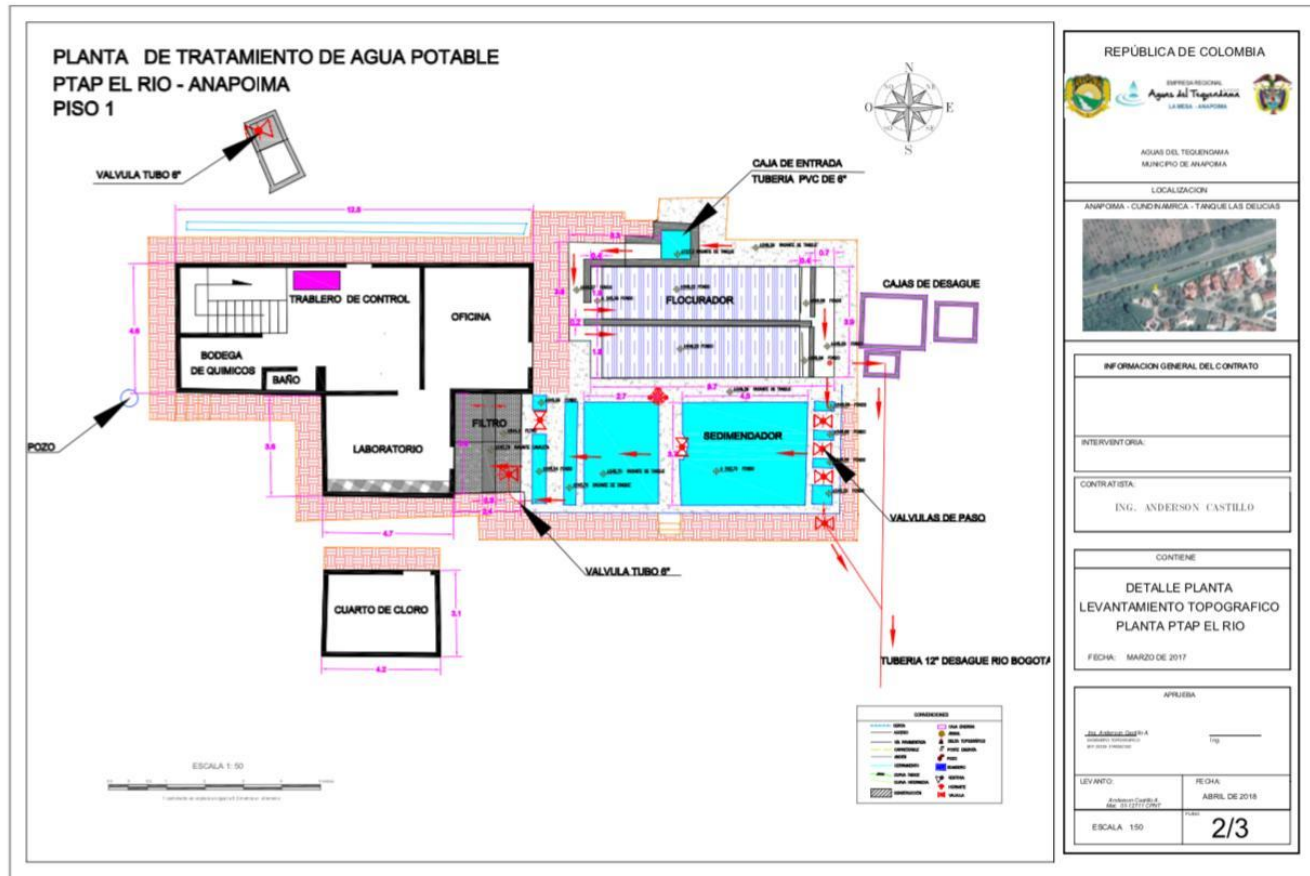
17. ANEXOS

Ilustración 52 Planta general- plano topografico PTAP El Rio.



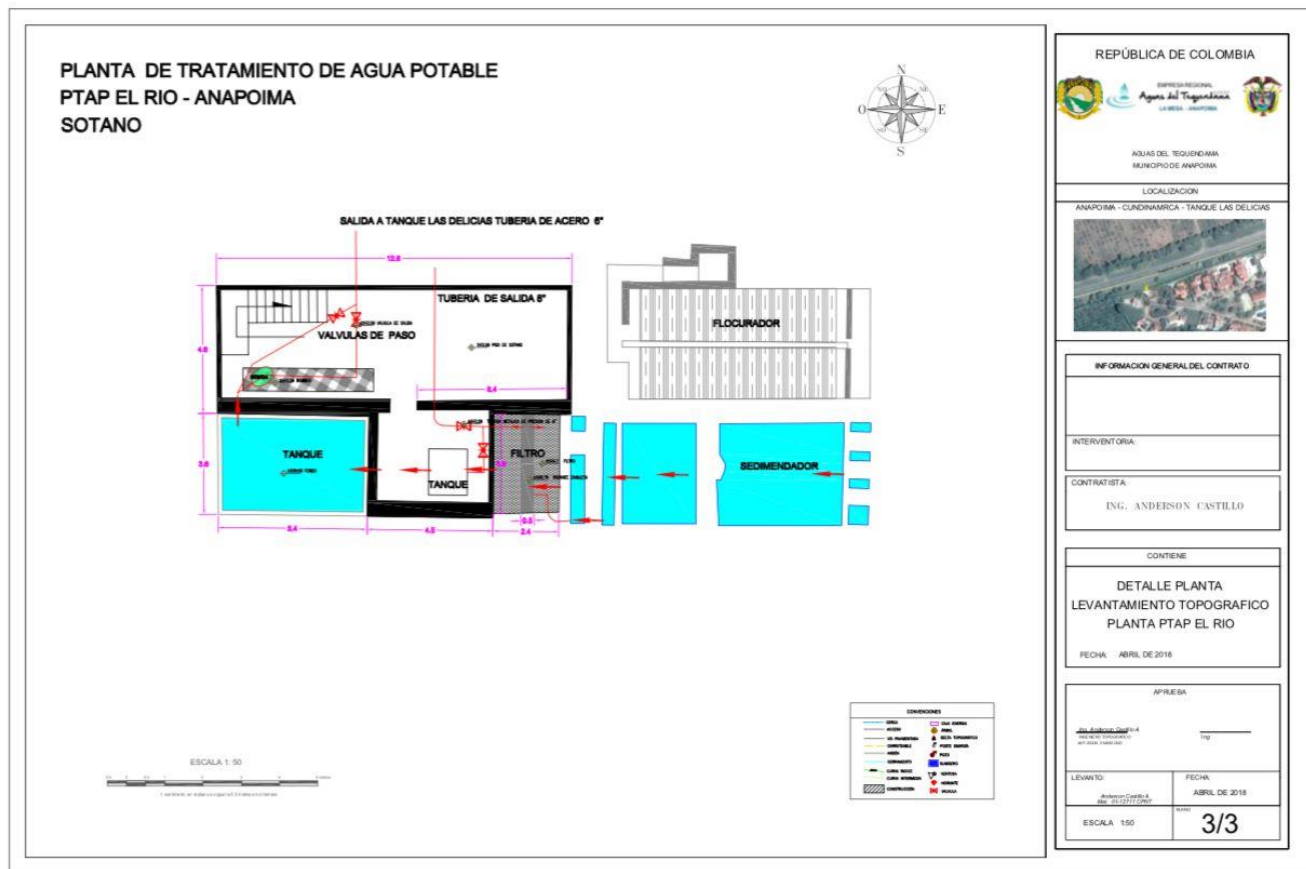
Fuente: Ingeniero Luis Carlos Murcia Galindo – Correo:
subgerencia@aguasdeltequendama.com 3 de abril de 2025

Ilustración 53 Detalle planta-Levantamiento topográfico Planta PTAP el Rio.



Fuente: Ingeniero Luis Carlos Murcia Galindo – Correo:
subgerencia@aguasdeltequendama.com 3 de abril de 2025

Ilustración 54 Detalle planta-Levantamiento topográfico.



Fuente: Ingeniero Luis Carlos Murcia Galindo – Correo: subgerencia@aguasdeltequendama.com 3 de abril de 2025

Ilustración 55 IRCA rural y urbano 2020-2023.



Municipios de Córdoba sin reporte en SIVICAP de muestras de vigilancia de la calidad del agua de prestadores durante los 4 años	Buenavista
	Canalete

Cundinamarca

Cundinamarca								
Municipios	IRCA							
	2020		2021		2022		2023*	
	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano
Agua de Dios	0.4	0	0	1.3	0	0.2	0	0
Albán	0	13.9	6.1	11.6	3	10.1	12.6	4.2
Anapoima	17.6	5.9	7.7	11.9	2.2	15.5	4.6	16.1
Anolaima	17.2	15.9	25.4	9.4	10.7	9	29.3	18.3
Apulo	s.n.m.	16.2	s.n.m.	15.2	s.n.m.	12	s.n.m.	20.3
Arbeláez	0	19.6	4.6	11.3	0	6.5	18.2	1.7
Beltrán	0	4.1	11.7	7.1	6.5	7.3	9.3	4.2
Bituima	s.n.m.	3.4	s.n.m.	5.9	s.n.m.	12	66.7	6.2
Bojacá	s.n.m.	2.3	s.n.m.	0	s.n.m.	11.5	s.n.m.	0
Cabrera	s.n.m.	8	s.n.m.	4.2	s.n.m.	7.7	0	5.5
Cachipay	5.1	2.9	17.1	3.3	15.5	3.1	11.4	s.n.m.
Cajicá	0	0	1.1	0	0.5	1.6	1.6	0.1
Caparrapí	s.n.m.	7.6	s.n.m.	10.1	s.n.m.	6.5	s.n.m.	3.7
Cáqueza	s.n.m.	18.1	s.n.m.	3.7	s.n.m.	13	s.n.m.	4.5
Carmen de Carupa	0	5.7	s.n.m.	5.2	s.n.m.	4.1	18.2	1.8
Chaguaní	s.n.m.	21.7	s.n.m.	11.9	s.n.m.	13.3	s.n.m.	12.8
Chía	2.4	0	0.1	4.7	0.5	1.6	1.4	0.4
Chipaque	8.1	4.3	9.3	0.6	18.1	0.3	26	3.4
Choachí	s.n.m.	0	s.n.m.	4.5	s.n.m.	5.5	s.n.m.	3.6
Chocontá	s.n.m.	0	s.n.m.	0	s.n.m.	6.5	s.n.m.	1.9
Cogua	36.3	2.5	17.4	5.9	25.5	6.8	9.4	6.4
Cota	12.9	3.1	7.5	3.7	12.8	2.2	3.4	0
Cucunubá	s.n.m.	10.8	9.3	4.3	3.2	9.8	5.1	11.9
El Colegio	5.4	1.1	3.7	0.7	6.3	1.6	9.2	6.2

Nivel de riesgo	Sin riesgo	Bajo	Medio	Alto	Inviabile sanitariamente
2023* = Dato con corte al 15-nov-2023 s.n.m. = sin notificación de muestras en SIVICAP Fuente: SIVICAP-INS					

#OrgullosamenteINS



@INSColombia



@insaludcolombia



Instituto Nacional de Salud de Colombia

Avenida Calle 26 # 51 - 20 / Bogotá, Colombia • PBX: (601) 220 77 00 exts. 1101 - 1214



Fuente: (Instituto nacional de salud de Colombia , 2023)