



**Diseño de alternativa de un sistema de tratamiento de agua potable
para la vereda Naranjalito en Apulo-Cundinamarca**

Samuel Enrique Torres Ortiz

**Programa de Ingeniería Civil
Faculta de ingeniería Ambiental y Civil
Universidad Antonio Nariño
Bogotá D.C.
2023**

Diseño de Alternativa de un Sistema de Tratamiento de Agua Potable para la Vereda Naranjalito en Apulo-Cundinamarca

Samuel Enrique Torres Ortiz

Documento presentado como requisito para optar por el título de Ingeniero Civil

Directores:

Wendy Patricia Forero Rincón

Codirector Temático:

Didier Camilo Sierra Flórez

**Programa de Ingeniería Civil
Faculta de ingeniería Ambiental y Civil
Universidad Antonio Nariño
Bogotá D.C.
2023**

Diseño de Alternativa de un Sistema de Tratamiento de Agua Potable para la Vereda Naranjalito en Apulo- Cundinamarca

Alternative design of a drinking water treatment system for the Naranjalito village in Apulo-Cundinamarca

Torres Ortiz, Samuel Enrique

¹ Universidad Antonio Nariño, Colombia, samtorres@uan.edu.co

Resumen: Naranjalito es una vereda que pertenece al municipio de Apulo en el Departamento de Cundinamarca, los habitantes presentan problemas con el abastecimiento debido a que están consumiendo agua de mala calidad, los niveles de dureza colmatan la tubería y la infraestructura hidráulica operante no trata el agua de acuerdo a los lineamientos normativos. Por lo anterior, este documento plantea el diseño de una alternativa de una Planta de Tratamiento que permita garantizar un abastecimiento de calidad. Se empleó el método volumétrico para cuantificar el caudal. Además, se emplearán los métodos aritmético, geométrico y exponencial para proyectar la población. Se utilizó la técnica de muestreo simple para la toma de muestras siguiendo los procedimientos de manejo y preservación para su análisis Físicoquímico y Microbiológico, se llevó a cabo una revisión hidráulica del sistema existente para evaluar su funcionalidad. A partir de la información, resultados y la evaluación realizada se planteó el sistema de tratamiento, para cálculo y dimensionamiento de las estructuras se tomó como base las recomendaciones del Reglamento del Sector de Agua y Saneamiento Básico (RAS), el resultado final será la presentación de planos a detalle y el Análisis de Precios Unitario del costo total de la construcción del Sistema de Tratamiento de Agua Potable.

Palabras claves: Agua potable, Sistema de tratamiento de agua, Calidad, Análisis de tratamiento, Revisión hidráulica.

Abstract: Naranjalito is a village that belongs to the municipality of Apulo in the Department of Cundinamarca, the inhabitants have problems with the supply because they are consuming poor quality water, the hardness levels clog the pipes and the operating hydraulic infrastructure does not treat the water. according to regulatory guidelines. Therefore, this document proposes the design of an alternative for a Drinking Water Treatment Plant that allows treating water and guaranteeing quality supply. The volumetric method was used to quantify the flow. In addition, arithmetic, geometric and exponential methods will be used to project the population. The simple sampling technique was used to take samples following the handling and preservation procedures for their Physicochemical and Microbiological analysis, a hydraulic review of the existing system was carried out to evaluate its functionality. Based on the information, results and the evaluation carried out, the treatment system was proposed, for calculation and sizing of the structures, the recommendations of the Regulation of the Water and Basic Sanitation Sector (RAS) were taken as a basis, the final result will be the presentation of detailed plans and the Unit Price Analysis of the total cost of the construction of the Drinking Water Treatment System.

Key words: drinking wáter, Water treatment system, Quality, Treatment analysis, Hydraulic review of treatment system

INTRODUCCIÓN

Colombia destaca a nivel Mundial por ser un país diverso en muchos aspectos y rico en recursos naturales, entre estos por tener gran cantidad de fuentes hídricas por las que fluye y se almacena el agua dulce. Anualmente, la cantidad de escorrentía alcanza 1963 km^3 esto en términos de rendimiento equivale al 52 l/s/km^2 , entre tanto la media a nivel mundial es de apenas 10 l/s/km^2 (Ideam, ENA 2022).

A pesar de tener buenas cifras en materia de cantidad de agua, el país aún tiene retos por afrontar, hay una gran brecha de desigualdad entre zonas rurales y urbanas, el nivel de pobreza y problemas de salud pública están directamente relacionados con la gestión inadecuada del recurso hídrico.

Los factores antrópicos por actividades agrícolas e industriales, entre otros, impactan directamente sobre la calidad y cantidad de agua (Patel, CB et al, 2011), puesto que contaminan las fuentes de abastecimiento y alteran el equilibrio de un ecosistema por su uso irracional, ello sin tener en cuenta que el flujo de agua sigue su curso y no se puede ignorar el hecho de que “los vertimientos de unos son las fuentes de abastecimiento de otros” (D, Sierra 2023)

El agua presenta características físico-químicas, que dependen directamente del tipo de fuente de abastecimiento, pero como se mencionó, los parámetros son susceptibles a sufrir cambios inclusive a nivel microbiológico por bacterias, virus, parásitos, o elementos químicos a causa de la contaminación.

El abastecimiento en zonas rurales es complejo, los recursos no llegan y los esfuerzos y promesas por parte de los alcaldes y corporaciones son lentos, ello implica que la comunidad busque maneras y métodos para costear y construir estructuras que funcionalmente solo abastecen este vital líquido, pero que a nivel de tratabilidad no mejoran la calidad del agua.

Enfermedades como la Hepatitis, Cólera o Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) tienen una tasa de mortalidad más alta en los niños (Farfán-García et al, 2020), solo en Colombia para el año 2019, 6.6 niños de 100.000 murieron por EDA (Dane, 2021), los habitantes de estas zonas aun conociendo las consecuencias y riesgos que tiene para la salud el consumo de esta agua sin tratamiento no tienen más opción que utilizarla, situación que representa un problema de salud pública.

Las Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP), están compuestas por un sistema diseñado para tratar el agua proveniente de fuentes superficiales o subterráneas, pueden construirse de dos tipos compactas o convencionales, para dar una alternativa de solución a los pobladores de la vereda en cuanto al consumo de agua potable se plantea el diseño de un sistema compacto ello siguiendo lineamientos normativos, técnicos y constructivos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Antecedentes de problema

La ONU enfatiza la necesidad de llevar a cabo esfuerzos para abordar la crisis generada por la creciente demanda de agua potable y su disponibilidad para las personas por parte de los países miembros de esta organización. Es por ello que se establece como objetivo del Decenio Internacional para la Acción 'Agua para el Desarrollo Sostenible' (2018-2028) el impulso de proyectos y programas de sostenibilidad integrada para el agua.

En Colombia, Minvivienda es la principal autoridad encargada de gestionar, formular planes, proyectos y supervisar la política pública destinada a mejorar la calidad de vida de los habitantes del país en lo que respecta a vivienda, agua y saneamiento básico. Según las cifras presentadas por Minvivienda en el Congreso Camacol 2022, en lo que concierne al suministro de agua potable, se estima que aproximadamente 12 millones de personas en el país no disponen de un servicio continuo y enfrentan problemas relacionados con la mala calidad del agua. Además, a esta problemática se añade que 3.2 millones de personas carecen de acceso a este recurso vital.

Cabe destacar que el gobierno incrementó el presupuesto anual en 1 billón de pesos para abordar esta problemática, pero esta cifra no es suficiente, ya que, dadas las condiciones actuales, se requerirían al menos 50 billones de pesos para garantizar el acceso a agua potable para todos los habitantes.

El nivel de pobreza de un hogar puede determinarse en función del factor que se utilice para cuantificar, ya sea económico, las condiciones de la vivienda o la carencia de servicios de salud o públicos (Vallejo Zamudio 2021). Es indiscutible que tener acceso a agua potable es parte fundamental del eje principal para el desarrollo económico, social y cultural de una región, Por

ello el Departamento Administrativo Nacional (DANE) tiene en cuenta este parámetro que por medio de la metodología NBI (Necesidades Básicas Insatisfechas) cuantifica y determina el nivel de pobreza.

El Dane en su más reciente informe publicado en 2023 indica que el nivel de pobreza multidimensional a nivel nacional se redujo con respecto al año inmediatamente anterior, ubicándose en un 12,9%. Para el departamento de Cundinamarca se registró 7.3% y se redujo un 2.1% en comparación con el 2021, este motivo una nación no puede escatimar el uso de recursos para fortalecer y promover proyectos que impulsen el abastecimiento de agua por parte de un acueducto con suministro constante y de calidad.

Descripción del problema

La vereda Naranjalito se encuentra en el municipio de Apulo, en el departamento de Cundinamarca, a 25 minutos del casco urbano. Según el registro del Sisbén Municipal para el año 2020, esta comunidad alberga a 533 habitantes. El sistema de suministro de agua en esta zona capta agua subterránea, lo que conlleva propiedades fisicoquímicas y microbiológicas particulares que afectan el proceso de potabilización necesario.

El sistema en sí se estableció en el año 2000, y en la actualidad cuenta con 120 suscriptores registrados; Sin embargo, las familias que se abastecen de este sistema enfrentan una problemática importante, puesto que el agua no cumple con los parámetros de calidad establecidos en la norma 2115 de 2007. Aun así, están utilizando el agua proveniente del sistema para su consumo diario.

Esta situación se debe a que el sistema no cumple con los requisitos constructivos mínimos necesarios para llevar a cabo el tratamiento. El sistema carece de canales de conducción, lo que hace que el agua fluya sobre el suelo, volviéndola más vulnerable a la contaminación. Además, la falta de mantenimiento y los daños que afectan la funcionalidad de las estructuras han llevado a que algunas de estas estructuras se encuentren inoperables.

Formulación del Problema

¿Cuál es el Sistema de Tratamiento de Agua Potable adecuado para que la vereda Naranjalito del municipio Apulo tenga suministro de calidad?

ESTADO DEL ARTE

Para esta investigación se realizó una búsqueda de artículos en los motores de búsqueda de las bases de datos científicos como (Open Science Direct; Scopus y Pubblindex); A partir de las cuales se filtró la información por áreas temáticas (Engineering, Earth and planetary sciences, Sustainability), en tipos de artículos se tuvieron en cuenta (Review Articles, Research Articles, Book Chapters), para los años se seleccionaron a partir de 2020 hasta la actualidad, se analizaron solamente artículos de acceso abierto.

La deposición de minerales consiste en la formación de minerales en su estado sólido incapaces de fluir, ocasionando incrustaciones cálcicas y posteriormente el taponamiento de la tubería por las “costras de Carbonato” denominadas así por (Singer, 1990) afectando el funcionamiento del acueducto. Este fenómeno es un proceso natural ocasionado por la circulación de aguas denominadas duras que presentan un alto grado de metales disueltos, esto ocurre en fuentes subterráneas y en ríos donde se explotan minerales de forma artesanal (Perez Moreno, 2023).

El agua subterránea llega a los acuíferos por la filtración de agua de precipitación, ríos, lagos, entre otros, que se acumula bajo la superficie del suelo debido a la porosidad de las rocas por donde fluye a través de formaciones permeables hacia la superficie por la acción de una capa de suelo impermeable que detiene el flujo ocasionando que esta busque ascender hacia el exterior, este tipo de flujo se denomina manantial de ladera.

El agua al fluir a través de los estratos del suelo filtra las partículas de sólidos, en este proceso, el lapso de tiempo, profundidad y geología del acuífero determinan cambios en sus propiedades, color, turbidez, pH, dureza, etc., (Vence Márquez et al. 2012). Este último parámetro hace referencia al calcio y magnesio que se encuentra disuelto, para este tipo de agua es característico que se encuentren altos niveles de dureza (Khozyem et al 2019). Sin embargo, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), no es mortal el consumo de agua con niveles de dureza, pero esto no ocurre con los demás parámetros, por esta razón existen normativas internacionales que establecen directrices de los máximos niveles permisibles para cada indicador (OMS 2011).

En Colombia se siguen lineamientos como la resolución 2115 de 2007 (Minvivienda, 2007) y el índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA) y aunque también existe el indicador índice de Calidad de Agua (ICA) este no evalúa el agua para consumo, solo restringe el tipo de uso que debe darse al agua que no es sometida a un proceso de tratamiento.

A su vez, este proceso también representa un riesgo porque este tipo de fuentes pueden ser contaminadas por vertimientos de diferentes fuentes, sean de tipo natural, debido a las especies animales, tipo residual, por el vertimiento de aguas sin tratar, siendo la falta de saneamiento una de las causas, tipo industrial por el uso de químicos y sustancias nocivas para la salud, por procesos de transformación de materias primas (Wang et al. 2012), procesos agrícolas por las heces de bovinos o el uso de pesticidas afectando (Echeverri Sánchez et al. 2020).

El agua para ser apta para consumo debe cumplir con características Físicas, Químicas y Microbiológicas, la medición de estos implica un proceso de análisis diferente y varían en grado de complejidad por los equipos y procedimientos para ser evaluados. Esto presenta una barrera para las zonas rurales y municipales, dado que estas pruebas no pueden llevarse con tanta rigurosidad debido al plan logístico y operativo que conllevan. A su vez, el agua es susceptible sufrir cambios drásticos que afectan su calidad, puede atribuirse a factores climáticos, industriales, antrópicos que alteran las propiedades (Bertone et al, 2023).

De acuerdo con (Salehi M, 2022) el suministro de agua es una necesidad básica para las personas y su demanda cada vez es mayor por el alto crecimiento poblacional en municipios, veredas y zonas rurales, ocasionando un incremento de construcciones y urbanizaciones, alterando el ciclo hidrológico del ecosistema. A este panorama cabe agregar que el cambio climático ocasiona un incremento de las temperaturas en el planeta y el uso del agua se ve intensificado por las fuertes olas de calor (Watts Glenn, 2012). Por lo tanto, las plantas de tratamiento deben contar con la infraestructura adecuada y diseñadas bajo estándares normativos de cada país para que este pueda abastecer la demanda de sus suscriptores, basándose en los principios orientadores, cantidad, suficiencia y calidad (Falkenmark et al., 2019).

Las compañías proveedoras de agua están en la capacidad de suministrar el vital líquido por un periodo prolongado sin causar daño alguno al medio ambiente. Este panorama puede ser viable en

las principales ciudades en donde se encuentran las grandes empresas de servicios públicos y cuentan con los mejores procesos y métodos para llevarlo a cabo tal acción. Aun así, no es un modelo posible para los acueductos veredales en donde se deben tomar medidas y seguir planes de contingencia para el abastecimiento del vital líquido. Y la sobreexplotación reduce la capacidad de la fuente y de los niveles freáticos y buscar nuevas alternativas como ríos, lagos, manantiales, etc., traería consigo graves consecuencias para el ecosistema (Nikolaidis et al., 2014).

De hecho (Hosseiny et al., 2021) indica que, desde los primeros inicios como sociedad, la rápida expansión y la necesidad de un lugar para habitar condujo a que se construyan asentamientos en sitios que se encontraban cerca de fuentes de recursos naturales para su explotación y favorecer el desarrollo social y económico de la región. De acuerdo con (Angelakis et al., 2020) este descontrol ocasionó un deterioro y pérdida del balance natural. Para tal caso, en la ciudad de Glasgow, Escocia, la población vio la necesidad de buscar otra fuente de abastecimiento, dado que su fuente principal de abastecimiento sufrió pérdida de calidad del agua por la contaminación, ocasionando que la población empezará a contraer Cólera por el consumo de agua (ICE: The Home of Civil Engineering | Institution of Civil Engineers, n.d. 2023).

Por las razones mencionadas, los sistemas de abastecimiento deben estar sujetos a controles rigurosos de verificación de alertas tempranas en caso de verse afectados por la contaminación de sus fuentes hídricas. Del mismo modo, en caso de contaminación de la infraestructura, es fundamental contar con planes de contingencia y desinfección (Pérez-Vidal, 2020) . También se debe considerar el riesgo de vertimiento de aguas residuales en áreas cercanas a la captación del agua para prevenir brotes de enfermedades hídricas (Godoy et al., 2011). Por esto se recalca en la importancia de tener una cadena de mando con actividades, personal capacitado y manuales de operación en los acueductos veredales. (Yuerlita, 2017) estudió el caso de gestión comunitaria para hombres y mujeres bajo las mismas condiciones de responsabilidad y tareas de un acueducto veredal en Indonesia, el objetivo consistía en evaluar quien tiene un mejor rol en el manejo y administración del acueducto en cada una de las etapas de implementación operación, mantenimiento, monitoreo y evaluación. Se concluyó que la sostenibilidad del proyecto se encuentra en riesgo debido a que las mujeres no tienden a involucrarse de manera más directa. En

consecuencia, se requiere implementar planes de integración educativos para mejorar las competencias y conocimientos.

La sustentabilidad es otro tema de interés en la actualidad, Existe un caso en Túnez, la cual es una nación que por su ubicación presenta períodos prolongados de sequía, adicional a ello sus fuentes de captación de agua no son de total calidad. Es debido a esta situación que (Ahmed & Rouina, 2019) sugieren que se requieren modelos de gestión sostenible para el uso del agua, por ello se contemplaron alternativas de recursos hídricos no convencionales como el agua que presenta niveles de salinidad y residual tratada para uso agrícola.

La cobertura de energía también representa un reto en Colombia, aún hay barreras en las zonas más vulnerables como pueblos y veredas que por su ubicación geográfica no tienen acceso a este servicio, considerando que no se puede realizar bombeo, razón por la cual tampoco se cuenta con agua potable. (Kordab, 2007) analiza la opción de usar fuentes fotovoltaicas como alternativa de suministro en zonas remotas, y son alternativas viables, ya que en la actualidad se aprovecha con más eficiencia las fuentes de energía renovable.

MARCO TEÓRICO

Aforo de caudal

Aforar consiste en cuantificar la cantidad de agua que ingresa al sistema, hay varios métodos que son aplicables dependiendo del caudal (Monroy camacho, 2023), tipo de fuente y forma del sistema, el caudal en el cuerpo de agua se determina con las siguientes fórmulas:

$$Q=V/T$$

Ecuación 1

$$Q= A * v$$

Ecuación 2

Aforo Volumétrico

El método volumétrico se realiza empleando un recipiente base, el cual ya se encuentra aforado, es decir, se conoce de antemano la capacidad en litros del recipiente, y tomando el tiempo que tarda el recipiente en ser llenado se utiliza la ecuación 1 para obtener el valor del caudal. Este método es apropiado para medir caudales pequeños de agua hasta 3 l/s.

Proyección de la población

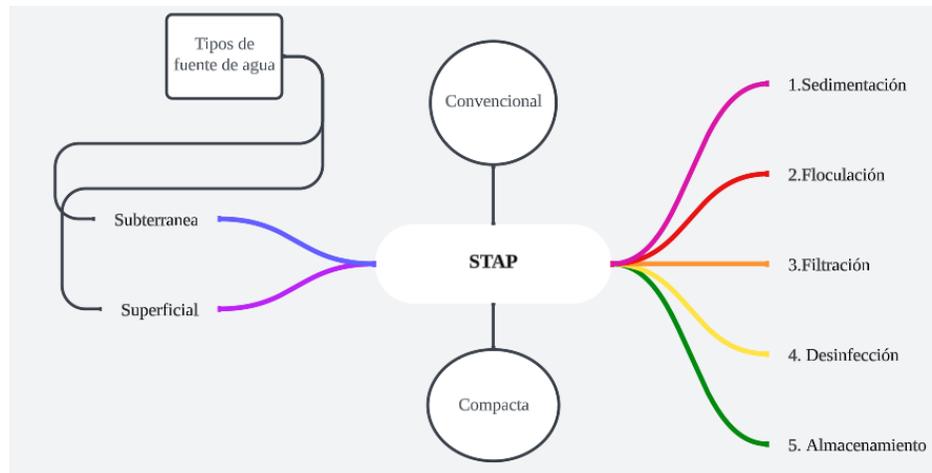
La proyección de la población desempeña un papel fundamental en proyectos relacionados con el suministro de agua y la gestión de recursos hídricos, todo sistema debe diseñarse para periodos de tiempo de 25 años para garantizar que la población futura no va a sufrir por falta de abastecimiento de agua, dado que la demanda de agua es la cantidad de líquido que necesita la población y varía con respecto a la cantidad de habitantes. Por tal motivo, proyectar el incremento de la población en un determinado periodo de tiempo permite cuantificar la demanda de agua futura y por ende planificar, dimensionar y diseñar estructuras funcionales a futuro

Es por ello que existen métodos para llevar a cabo una proyección de la población, y la información necesaria para poder realizar este cálculo la proporciona el DANE mediante el uso de cada uno de los censos llevados a cabo hasta la fecha. En Colombia se cuenta con un total de 24 censos realizados desde la época de la colonia (PINILLA, 2018).

Plantas de tratamiento de Agua

Las plantas de tratamiento de agua son instalaciones diseñadas para purificar y hacer segura el agua para el consumo humano. Estas plantas juegan un papel crucial en el suministro de agua potable al eliminar contaminantes y mejorar la calidad del agua. En la Figura 1 se muestran algunos de los procesos más comunes que se encuentran en las plantas de tratamiento.

Figura 1: Aspectos técnicos de una planta de tratamiento



Fuente: Elaboración propia

Todas las etapas del proceso de tratamiento son relevantes porque el consumo de agua contaminada puede llevar a una serie de enfermedades y problemas de salud, lo que se conoce como morbilidad relacionada con el agua contaminada (Vesga F.J et al 2018)

Los sistemas de tratamiento de agua existen en diversas formas, tamaños, materiales, etc. estas condicionadas principalmente por los tipos de fuente de captación (Berrio Banguero & Edder, 2020), otro factor condicionante es el caudal de agua a partir del cual se determina si es compacta o convencional.

En la actualidad se habla de la integración de fuentes de energía renovable, haciéndolos sostenibles, reduciendo la dependencia de combustibles fósiles y disminuyendo las emisiones de gases de efecto invernadero, puesto que no siempre los sistemas funcionan por gravedad.(Wang, F et al, 2021).

MARCO LEGAL

Norma	Objeto de la norma
Decreto 1575 de 2007	Regula la calidad del agua potable en Colombia. Este decreto es fundamental para garantizar que el agua que se suministra para consumo humano por parte de los distribuidores cumple con estándares de calidad, este decreto fue emitido por la Presidencia de la República y monitoreado por el Ministerio de Protección Social (Ministerio de Protección Social, 2007).
Resolución 4353 de 2013	Resolución por la cual el ministerio de salud y protección social autoriza a los laboratorios para realizar Análisis Físico-químicos y Microbiológicos al agua para consumo humano. (Ministerio de Salud, 2013)
Resolución 2115 de 2007	Esta resolución establece los lineamientos de las características Físico-Químicas y Microbiológicas del agua, de igual manera regula los instrumentos básicos y frecuencia de control y vigilancia del agua potable (Ministerio de Vivienda, 2007).
Resolución RAS 330 de 2017	El Reglamento Técnico para Agua Potable y Saneamiento Básico reglamenta los requisitos técnicos para cumplir en cada una de las etapas del proyecto de potabilización y saneamiento de agua. (Ministerio de vivienda, 2017)

Fuente: Elaboración propia

MARCO GEOGRÁFICO

Apulo es un municipio ubicado en el departamento de Cundinamarca (Ver Figura 2), hace parte de la provincia de Tequendama. Además de su atractivo turístico, Apulo se destaca por su producción agrícola, especialmente en cultivos como café, plátano, cacao, frutas y hortalizas. En la tabla 1 se encuentran los aspectos más relevantes del municipio.

Figura 2: Ubicación Municipio Apulo



Fuente: Archivo: Colombia - Cundinamarca - Apulo.svg

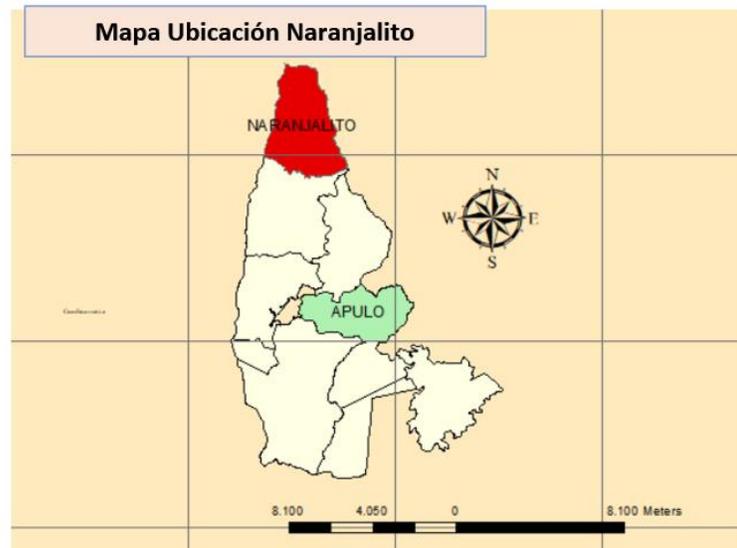
Tabla 1: Aspectos generales municipio Apulo

Municipio de Apulo		
Población	Rural	4.893 habitantes
	Urbana	3.345 habitantes
	Total	8162 habitantes
Área	Rural	12.382 hectáreas
	Urbana	95 hectáreas
	Total	12.286 hectáreas
Altitud	420 msnm	
Coordenadas	4°31'15"N - 74°35'55"O	
Distancia de Bogotá	101 km	
Temperatura	27 °C	
Límites	Norte	Anapoima
	Oriente	Anapoima y Viotá
	Occidente	Jerusalén y Tocaima
	Sur	Tocaima

Fuente: Plan de desarrollo municipal 2020-2023

La zona rural de Apulo está compuesta por 28 veredas, las cuales están divididas en 4 sectores, la vereda Naranjalito se encuentra en el Primer sector, Ver (Figura 3) se encuentra ubicada en un entorno montañoso y generalmente se caracteriza por su belleza natural y su clima cálido.

Figura 3: Ubicación Vereda Naranjalito



Fuente: Capas Shape Igac – Elaborado Qgis

Tabla 2: Zona Rural Naranjalito

Distancia de Apulo	16.4 km	
Coordenadas	4°36'37.0"N - 74°35'31.2"W	
Altitud	1.060 msnm	
Habitantes en la vereda	Edades	Cantidad
	0-17	159
	18-28	114
	29-59	164
	>60	96
	Total	533

Fuente: Plan de desarrollo municipal 2020-2023

OBJETIVOS

GENERAL

Proponer una alternativa de diseño para el sistema de tratamiento de agua potable en la vereda Naranjalito en el municipio de Apulo.

ESPECÍFICOS

- Diagnosticar mediante un análisis Físicoquímico y Microbiológico las condiciones actuales del cuerpo de agua del cual se abastece la vereda, identificando los parámetros de mejora que debe cumplir el agua para ser potable según la Resolución 2115 de 2007.
- Evaluar la situación actual del funcionamiento de cada una de las estructuras del sistema por medio de una revisión hidráulica.
- Plantear el del sistema de tratamiento ideal de acuerdo con las características de calidad del agua, y el estado del sistema.
- Realizar los planos de la alternativa de diseño, así como la presentación del presupuesto del sistema, el cual sirva a la comunidad como información guía para la construcción del STAP.

DISEÑO METODOLÓGICO

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación del proyecto es Hidrotecnia y Ambiente, enfocado al tratamiento de agua potable, con la finalidad de proponer una alternativa que dé solución al abastecimiento de agua potable a la comunidad de la vereda.

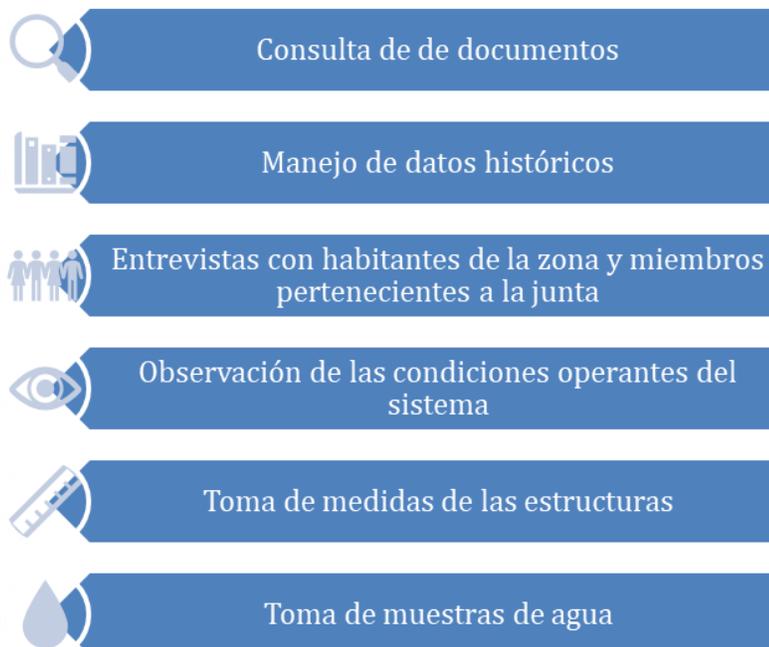
TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es cuantitativo, ello para comprender y relacionar las causas de la problemática, de tal manera que se logre expresar de manera matemática. Empleando un estudio descriptivo, para la recolección de datos e información de la situación actual, realizando mediciones, tomas de muestras, recolección de datos en campo.

TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La recolección de datos se realizó de la siguiente manera (Ver Figura 4):

Figura 4: Técnicas de obtención de datos e información.



Fuente: Elaboración propia

ETAPAS DEL PROYECTO

El proyecto inicia con la respectiva visita a la zona de estudio, con el propósito de tener un plan de trabajo e identificar métodos para abordar el desarrollo de los objetivos planteados, por lo cual se plantean las siguientes etapas:

Etapas 1: Recopilación de Información

- Determinar el caudal aplicando el método volumétrico.
- Cuantificar la población mediante los métodos lineal, geométrico y exponencial a partir de la consulta de datos de censos, y entrevistas.
- Tomar muestras de agua para análisis: Se solicitó una cotización formal Ver anexo A, y se documentó en el Anexo B Cadena de custodia, para ello se tomarán tres muestras de agua, para cada laboratorio, para un total de seis muestras, el tipo de muestreo es método simple, estableciendo como punto de referencia la fuente de captación, permitiendo obtener los resultados en un momento determinado. Para la conservación y transporte de las muestras se siguió el procedimiento del manual del (Instituto Nacional de Salud, 2011).
- Medir e inspeccionar las estructuras para el diagnóstico.

Etapas 2: Caracterización

Esta etapa consiste en identificar los parámetros Físico-Químicos y Microbiológicos que no cumplen, a partir de la emisión de los resultados de las muestras que se enviaron a los laboratorios de la universidad y al externo Ver anexo C y D Se siguieron los lineamientos de los capítulos I y II de la resolución 2115 de 2007, se identificaron los parámetros que se encuentran fuera de los límites establecidos para un agua destinada para consumo humano (Ministerio de vivienda, 2007). Se seleccionaron 9 parámetros, ello a partir de la consultoría de un especialista que, de acuerdo a su trayectoria y experiencia en Plantas de Tratamiento de Agua Potable, selecciono los más relevantes para la propuesta.

Esto para tener información sólida con el fin de buscar y estudiar la forma en que se van a tratar estos parámetros dentro del sistema y organizar cada una de las estructuras, dado que de esto depende el tipo de sistema que de mejor tratamiento al agua.

Etapa 3: Evaluación Hidráulica

Para esta etapa y según (Cárdenas Nivia et al, 2020) el diagnóstico del sistema se realiza para evaluar las condiciones a las que se está sometida el agua con el fin de tener un panorama más acertado para determinar si el sistema operante es funcional. Para ello se verificarán las condiciones del sistema, funcionalidad y cuantificación de capacidad realizando una revisión hidráulica de cada una de las estructuras.

Etapa 4: Propuesta y Dimensionamiento

Identificado el caudal, los parámetros de no cumplimiento, y la evaluación del sistema, se procede a identificar el tren de tratamiento, la configuración de las estructuras, métodos, ya sean físicos, químicos o mecánicos necesarios para garantizar un buen proceso. Esta etapa también incluye el dimensionamiento de cada una de las partes.

Etapa 5: Diseño y Presupuesto

A partir del dimensionamiento de los componentes del tren de tratamiento, se realizaron los planos en el software AutoCAD. A su vez un estimado del presupuesto necesario para la construcción de la planta de tratamiento.

Proceso Metodológico

La (Figura 5) muestra de manera gráfica la metodología de trabajo seguida para dar cumplimiento a cada uno de los objetivos, en cada actividad se aplica un método de trabajo el cual se irá abordando conforme se avance en el documento.

Figura 5: Proceso Metodológico del proyecto.



Fuente: Elaboración propia

RECOLECTAR DATOS O INFORMACIÓN

Toma de muestras método volumétrico

En la siguiente imagen (Ver figura 4) se muestra el aforo realizado directamente en la estructura de captación del sistema. Se obtuvieron los datos de tiempo y cantidad de agua en litros (Ver Tabla 3)

Figura 6: Medición de Caudal método volumétrico



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3: Datos método aforo

Método Volumétrico	
recipiente (balde)	12(litros)
tiempo	1 5,8 (seg)
	2 6,5 (seg)
	3 6 (seg)
Tiempo Promedio	6,1 (seg)
Caudal Aforado	1,967 lt/seg

Fuente: Elaboración Propia

Se utilizó un balde con una capacidad de 12 litros, se tomaron tres tiempos de llenado para obtener un promedio de tiempo y se determinó el caudal a partir de la cantidad de agua en volumen por unidad de tiempo (Ver Ecuación 1) el caudal aforado obtenido es de 1,97 lt/seg. Este método de medición también se realizó en el proyecto por (Monroy Camacho, 2023) demostrando su funcionalidad para establecer caudales pequeños.

Proyección población

La proyección de población se realizó con base a los métodos Lineal, Geométrico y Exponencial, los resultados de los tres métodos se normalizan para obtener un valor de población para cada año. Se usaron los datos de los Censos realizados en Colombia a partir del año 1993, esta información

se obtuvo de los planes de desarrollo municipal del municipio y de la información publicada por el DANE.

Tabla 4: Proyección de la población a 25 años

# Censo	Año	Tiempo intercensal	Población
16	1993	8	325
17	2005	12	436
18	2018	13	533
	2023	5	582
	2048	25	830

Fuente: *Elaboración Propia*

El tiempo de proyección al 2048 corresponde para un periodo de diseño de 25 años (Ver Tabla 4). En la tabla 5 el cálculo de la dotación neta y bruta se calculó tomando como guía los lineamientos de la norma Ras 330 de 2017 contenidos en el artículo 44. Dónde se menciona que el porcentaje de pérdidas de todas las estructuras en el sistema no puede ser superior al 25%. De igual manera, para determinar el valor de 130 litros * habitante/día de dotación neta se usó la tabla 1 contenida en Artículo 43, este dato corresponde a la dotación por habitante dependiendo de la altura sobre el nivel del mar sobre el que se encuentre ubicado para este caso la vereda se encuentra a 1060 msnm (Ver Tabla 2) este valor está entre un rango de 1000 a 2000 msnm según la norma

Tabla 5: Estimación de la Dotación y Caudales

Variables	Datos
Proyección Población	830 habitantes
Dotación Neta	130
Porcentaje de Pérdidas	25%
Dotación Bruta	173
caudal Medio diario Qmd	1,66 L/s
Caudal Máximo Diario	1,998 L/s

Fuente: *Elaboración Propia*

Se obtuvo como resultado un caudal de diseño de 1.998 L/s para satisfacer la demanda a 25 años para una población proyectada de 830 habitantes, el caudal aforado de la fuente es de 1.96 L/s. Para redondear se opta por tomar como caudal de dimensionamiento de 2 L/s

Toma de muestras y preservación

Para realizar la caracterización del agua que está consumiendo la comunidad de la vereda, se contactó un laboratorio certificado bajo el decreto 1575 de 2007, el cual le otorga las facultades para realizar análisis Físico-Químicos y Microbiológicos al agua que tiene como objetivo el consumo humano. Se tomó como punto de muestreo la tubería que está captando el líquido de la fuente, se realizó el 17/09/2023 a las 11:50 am y la recepción en laboratorio 18/09/2023.

Figura 5: Insumos para toma de muestras



Fuente: Elaboración propia

El tipo de muestreo usado fue simple, el cual consiste en elegir un lugar y fecha específica para recolectar las muestra, los insumos para llevar a cabo el muestreo los proporcionó el laboratorio, los cuales fueron; Nevera de icopor, Bolsas de gel para refrigerar y tres recipientes, de los cuales 1 fue plástico con un volumen de 250 ml, 1 en vidrio ámbar de 250 ml y 1 estéril de 500 ml se (Ver figura 5) tomaron a partir de las recomendaciones

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO

Las muestras se entregaron siguiendo el protocolo del manual del (Instituto Nacional de Salud, 2011) y se organizaron de acuerdo a la cadena de custodia ver anexo B. Se analizaron los parámetros: Cloro residual libre, Aluminio, Coliformes totales, E Coli, Dureza total, Hierro; Con el laboratorio particular (Ver anexo C). En el laboratorio de la UAN se analizaron; Turbidez, Color, pH y Nitritos (Ver anexo D).

La tabla 6 tiene las condiciones generales del día en que se tomaron las muestras, las tablas 7 y 8 contienen los respectivos análisis Físico-Químicos y Microbiológicos consolidados de ambos análisis de resultados de los laboratorios, y técnicas analíticas usadas.

Tabla 6: Condiciones generales del análisis

Ubicación: Naranjalito - Apulo	Origen del agua a tratar: Subterránea
Caudal: (2) LPS	

Condiciones ambientales de campo

Aspectos	Datos
Temperatura de Agua	23.1°C
Temperatura de Aire	23.3°C
Lluvia	No
Tipo de Agua	Subterránea
Tipo de Muestreo	Puntual
Hora de toma	11:50 am
Georreferenciación	Norte (Y) 2067652
	Este (X) 4823503
	Altura 1034
	Error Gps+/-3

Fuente: Elaboración propia

La razón por la que se usaron dos laboratorios para analizar las muestras es porque la información más compleja como los coliformes necesita ser emitida por un laboratorio certificado ello

enmarcado en la norma 1575 de 2007 (Ministerio de protección social, 2007), a su vez también permitió obtener resultados más acertados a la situación de la comunidad, ya que en los análisis referentes a la dureza se presentaron discrepancias entre un resultado y otro puesto que en los laboratorios de la universidad no se evidenciaron altos niveles de dureza caso contrario con los resultados del laboratorio particular este si evidencio los niveles que se ajustan a la problemática (Ver Figura 19) Tabla 10; presentándose taponamiento de la tubería por colmatación.

Tabla 7: Resultados Análisis Microbiológico

Recuentos Exp. En U.F.C / Muestra	Técnica Analítica	Resultado
Coliformes Totales UFC/100 ml	Filtración por membrana	200
Escherichia Coli UFC/100 ml	Filtración por membrana	<1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8: Resultados Análisis Físico-Químico

Parámetros /Muestra	Técnica Analítica	Resultados
Ph	Sm4500-B9	7,5
Color (U.P.C)	Colorimetric Method	2,1
Turbidez UNT	Turbidímetro	3,2
Cloro Residual libre Cl_2 mg/L	Colorimetric Method	<0,047
Aluminio Al_3 mg/L	Colorimetric Method Eriochrome Cyanine	<0,047
Dureza $CaCO_3$ mg/L	EDTA Titrimetric Method	481,6
Hierro mg Fe/L	Open Vessel FAAS	<0,131
Nitritos	Kit Nitritos	0,5

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9: Análisis IRCA

Parámetros /Muestra	Muestra 1	Normatividad Res. 2115	Cumplimiento	IRCA
Parámetros Físico-químicos				
Color (U.P.C)	2,1	15	Cumple	SIN RIESGO
Turbidez UNT	3,2	2	No cumple	ALTO
Cloro Residual mg/L	<0,047	0.5 a 2	Cumple	SIN RIESGO
Cloruros mg/L	26	250	Cumple	SIN RIESGO

Dureza $CaCO_3$ mg/L	481,6	300	No cumple	ALTO
Hierro mg/L	0,131	0,3	Cumple	SIN RIESGO
Nitritos mg/L	0,5	0,1	Cumple	SIN RIESGO
Parámetros Microbiológicos				
Coliformes Totales UFC/100 ml	200	0	No Cumple	INVIALE SANITARIAMENTE
Escherichia Coli UFC/100 ml	<1	0	Cumple	SIN RIESGO

Fuente: Elaboración propia

Análisis IRCA

A partir de las muestras extraídas del punto de captación se obtiene el análisis Físico-químico consolidado, realizando su evaluación y verificación del cumplimiento de cada parámetro, de acuerdo a lo indicado en la resolución 2115 del 2007 se lograron identificar 3 parámetros que están por fuera de los límites indicados: Turbidez, Dureza, y Coliformes Totales.

De acuerdo con el Análisis Índice de Riesgo de Calidad de Agua, el agua se cataloga como un líquido inviable sanitariamente por los problemas de salud pública que puede generar debido a su consumo, esto debido a que los resultados indican que hay presencia de coliformes de 200 UFC, este valor indica la cantidad de microorganismos presentes y la velocidad de propagación. Por esta razón este parámetro presenta una señal de alarma grave, puesto que la población puede ver afectada su salud por algún tipo de enfermedad, llegando a escalar hasta convertirse en un problema de salud pública, por ende se concluye que el agua no es apta para consumo humano.

DIAGNÓSTICO DEL SISTEMA

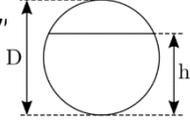
La información del Diagnóstico se consolidó en la tabla 10, el sistema de abastecimiento que se encuentra operante, tiene una fuente de captación, la cual es un nacedero (Ver Figura 6 - 7) Tabla 10 que se encuentra en una finca que tenía como actividad la producción de panela en el año 2000, año a partir del cual se vendió el predio y se consolidó como fuente para abastecer la vereda.

En la actualidad este sistema consta de: Fuente de captación, dos tanques de almacenamiento (Ver figura 8 - 9 - 17 y 18) Tabla 10, una caja de aforo (Ver figura 10 - 11) Tabla 10, canal de conducción (Ver figura 12 -15 y 17) Tabla 10, tanque sedimentador (Ver figura 21 - 22 Tabla 10); dentro del conjunto de estructuras se encuentra un tanque inhabilitado para funcionar debido a causa del deterioro (Ver figura 13 -14) Tabla 10.

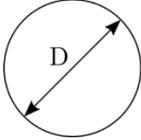
La zona sobre la que se encuentra el nacedero es de tipo montañoso, está a 1034 msnm mientras que Apulo se encuentra a 420 msnm, montañas arriba se encuentran otras viviendas, además el terreno se utiliza para la siembra de productos agrícolas.

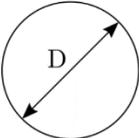
Tabla 10: Diagnóstico total del sistema operante.

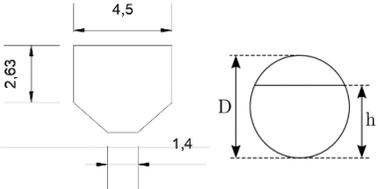
Captación	Revisión hidráulica
------------------	----------------------------

 <p>Figura 6: Nacimiento de agua</p>	 <p>Figura 7: Nacimiento de agua con filtro natural</p>	<p><i>Tubería de conducción:</i> <i>Sección Circular</i></p> <p><i>D: Pipe Size 2"</i></p> <p>$Q = A.V$</p> <p><i>V: 5 m/s</i></p> <p><i>Llenado parcial h: 1,3 cm</i></p> <p><i>Se captan: 2,05 l/s</i></p> 
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tipo de captación: subterránea. • La Fuente de nacimiento del cuerpo de agua se encuentra cubierta por tejas de zinc con alta contaminación de material vegetal 		
<p>Tanque de Almacenamiento</p>		<p>Revisión hidráulica</p>
 <p>Figura 8: Tanque de captación</p>		<p><i>Material del tanque : Muros de 20 cm hechos con ladrillo y con pañete en mortero.</i></p> <p><i>Medidas internas Ancho; 2.07 m</i></p> <p><i>Largo: 1.43 m</i></p> <p><i>Alto: 1.02 m</i></p> <p><i>Capacidad 3.93 m³</i></p>

	<p>Figura 9: Estructura de captación</p>	
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Esta estructura presenta altos niveles de formación y acumulación de Calcita y musgo en toda el área circundante de las caras del muro, Esto porque se presenta rebose de agua en el tanque favoreciendo la humedad. • Las tejas no tienen un soporte que garantice estabilidad y presentan corrosión. 		
<p>Caja de aforo de captación autorizada por la Car</p>		<p>Revisión hidráulica</p>
 <p>Figura 10: Estructura caja de aforo</p>	 <p>Figura 11: Tapa Caja de aforo</p>	<p><i>Material: Muros de 10 cm hechos con ladrillo y pañete en mortero.</i></p> <p><i>Medidas externas Ancho; 0.53 m</i> <i>Largo: 0.96 m</i> <i>Alto: 0.3 m</i></p> <p><i>Medidas Internas de cada sección</i> <i>Ancho; 0.33 m</i> <i>Largo: 0.33 m</i> <i>Alto: 0.19 m</i> <i>Capacidad de las cajas 0.02 m³</i></p> <p><i>Está conectado con el tanque por medio de un tubo de 3/4 "a</i></p>

		<p><i>flujo lleno, con una velocidad de 5 m/s</i></p> <p>$Q=V * A$</p> <p><i>Se calcula una captación de</i> $Q=1.42 \text{ l/s}$</p>  <p><i>Es por esta razón que el tanque de captación se rebosa de agua de la fuente, ya que está recibiendo una diferencia 0.63 l/s más agua de la que puede almacenar</i></p>
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • La caja desarenador no cuenta con una tapa adecuada que impida la contaminación del agua por descomposición causada debido a la oxidación del material que la cubre 		
<p>Canal de Conducción</p>	<p>Revisión hidráulica</p>	
<p>Figura 12: Flujo de agua sobre el terreno</p> 	<p><i>No existe un canal de conducción, por ende no se puede cuantificar la cantidad de agua que fluye sobre el terreno porque sobre toda el área fluyen más corrientes de agua que emergen del subsuelo.</i></p>	
<p>Observaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El sistema no cuenta con un canal de conducción entre la estructura de captación y el tanque de almacenamiento, por lo cual el agua fluye sobre el terreno. La zona entre la estructura del Tanque de almacenamiento y el desarenador no cuenta con un canal de conducción. 		

Tanque de Almacenamiento		Revisión hidráulica
 <p>Figura 13: Estado tanque de almacenamiento</p>	 <p>Figura 14: Toma de medida de grieta</p>	<p><i>Medidas internas:</i></p> <p>Ancho: 6.1 m Largo: 3.8 m Alto: 1.43 m</p> <p><i>El tanque está diseñado para una capacidad de almacenamiento</i></p> <p>32.6 m³</p>
<p>Observaciones: Ruptura</p> <ul style="list-style-type: none"> • El tanque presenta un alto grado de deterioro, hay materia orgánica en descomposición. • Se evidencia una grieta de 1 cm en una de las esquinas, además presenta ruptura en una de las caras del muro de 6cm, que se extiende desde la base hasta la parte superior del muro, lugar por el cual el agua se infiltra. 		
Desarenador		Revisión hidráulica
 <p>Figura 15: Desarenador</p>	 <p>Figura 16: Canal de conducción</p>	<p><i>Medidas internas:</i></p> <p>Ancho: 0.8 m Largo: 0.8 m Alto: lámina de agua: 0.2 m <i>El tanque tiene una capacidad de 0.128 m³</i></p> <p><i>Tiene un tubo de 1" al cual le llega agua que pasa a flujo lleno, con una velocidad de 5 m/s</i></p> <p>$Q = V * A$</p> <p><i>Se calcula una captación de Q=2.53 l/s</i></p> 

		<p><i>Si tenemos en cuenta que en el tanque de captación se están rebosando 0.63 l/s de agua y al desarenador llegan 2.53, aproximadamente del terreno están emergiendo 2 l/s más de agua teniendo una capacidad de 4 lt/s</i></p>
<p>Tanque de Almacenamiento</p>		<p>Revisión hidráulica</p>
 <p>Figura 17: Tanque de almacenamiento</p>	 <p>Figura 18: Vista lateral de Tanque</p>	<p><i>El área de esta estructura es de 15.88 m² de acuerdo a sus medidas y una altura: 1.6 m Obteniendo una capacidad de 25 m³</i></p>  <p><i>Tiene un tubo de rebose de 3/8" Por el cual fluye 0.42 l/s fuera de la estructura</i></p>
<p>Línea de Suministro</p>		<p>Revisión hidráulica</p>

 <p>Figura 19: Disminución del diámetro de la tubería del sistema</p>	 <p>Figura 20: Red de Conducción tubería PVC 3"</p>	<p>La medida de la tubería de conducción es de 3.5" las válvulas no están abiertas, a flujo lleno se estima la profundidad h del tubo de 3 cm, ello teniendo en cuenta la medida, el grado de taponamiento de la tubería</p> <p>D: Pipe Size 3.5" $Q = A \cdot V$ V: 5 m/s Llenado parcial h: cm Se captan: 9 l/s aproximadamente</p>
<p>Observaciones: · La tubería se tapa por formación de mineral de calcita presente en el agua.</p>		
<p>Tanque Sedimentador</p>		<p>Revisión hidráulica</p>
 <p>Figura 21: Estructura general Sedimentador</p>	 <p>Figura 22: Vista Superior</p>	<p><i>Medidas internas:</i></p> <p>Ancho; 0.8 m Largo: 5.2 m Alto: 2.400 m El tanque tiene una capacidad de 9.6 m³</p>



Figura 23: Formación de algas, Estado de oxidación de las escaleras, falta de mantenimiento

Observaciones:

- El tanque sedimentador presenta un alto grado de formación de algas en su interior, falta mantenimiento.
- La escalera de acceso al interior del sistema es de acero 5/8 que por sus propiedades y contacto con el agua presenta corrosión, esto ocasiona que el agua dentro del tanque se contamine.

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del análisis son consecuentes, a lo evidenciado en el diagnóstico se corrobora que ninguna parte del sistema se lleva a cabo potabilización que consiste en eliminar los microorganismos que tiene el agua, por el contrario, como se mencionó anteriormente, el agua es susceptible a contaminarse. Las razones son: las estructuras no tienen un cronograma de mantenimiento, no realizan limpieza de la zona, el sitio de abastecimiento no está delimitado ni protegido a su acceso, cualquier persona o animal pueden ingresar, la inexistencia de canales de conducción (Ver figura 12). Las situaciones mencionadas agravan la situación, puesto que el análisis de microorganismos solo se realizó en el punto de captación y estos arrojaron la presencia de E Coli, por ende los valores pueden ser mayores y la comunidad esté tomando agua con índices de contaminación elevados.

Los parámetros físicos de igual manera son susceptibles a cambios por mínima que sea la condición a la que el agua es sometida, el pH, Turbidez, Color, etc.; se atribuye a la

descomposición de materia orgánica, partículas suspendidas, temperatura, contaminación por fuente antrópica (López Mendivelso et al 2022).

La capacidad del tanque de captación de acuerdo a sus medidas de 3.93 m³ y tiene un caudal de entrada de 2 l/s y está conectado a la caja de aforo de la cual se determinó un caudal de salida de 1.42 l/s, esto quiere decir que está ingresando más agua que la que sale ocasionando que el agua fluya por las paredes de la estructura (Ver figura 8 y 9), Adicional a esto cabe resaltar que se está captando más agua según la concesión autorizada por la Car, ya que hay más puntos de afloración del agua sobre el terreno, esto explica por qué el tanque de almacenamiento tiene unas dimensiones que le dan una capacidad de 23 m³ y aun así tiene un tubo de rebose por el cual fluyen 0.42 l/s de agua fuera del sistema (Ver figura 17 y 18).

A pesar de que el agua realiza el recorrido de forma libre, se esperaría que esta ganara oxigenación y por ende la dureza se reduciría, pero esto no ocurre, las condiciones geológicas y el hecho de que no haya un canal de conducción ocasionan que fluya de manera natural sobre el terreno incrementan los valores de dureza, esto se evidencia en el taponamiento de la tubería (Ver figura 19 - 20).

Se concluye que el sistema con el que se encuentran abasteciéndose la vereda no es funcional por las razones mencionadas, cabe aclarar que este aproximadamente tiene 23 años en funcionamiento, otro motivo por el cual se determina que es obsoleto y se necesita de una estructura que realice el tratamiento de manera adecuada.

PROPUESTA TREN DE TRATAMIENTO

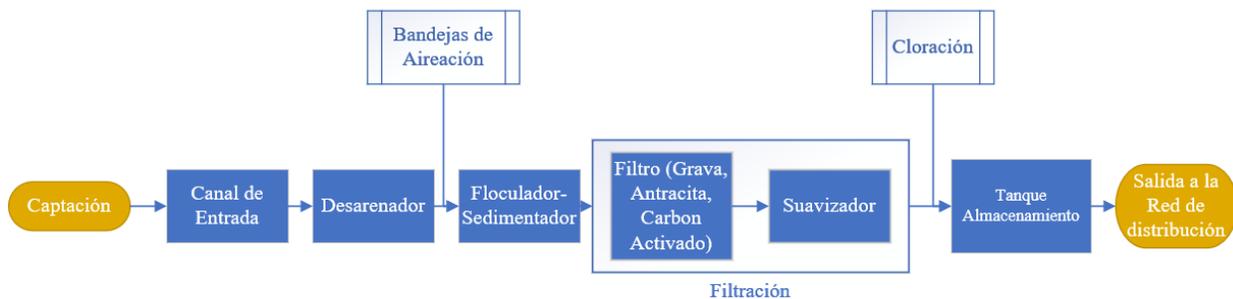
Se propone construir un STAP compacto tiene una ventaja contra uno convencional en su aspecto constructivo, ya que este sistema permite la modulación y su montaje no requiere equipo especializado, a su vez la propuesta se plantea a partir de los resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico, se proponen las siguientes partes del sistema (Ver figura 24), como el sistema actual ya cuenta con un canal de entrada (Ver Figura 8 y 9) Tabla 10 que a su vez funciona como desarenador al retener el agua permite que las partículas gruesas y suspendidas se precipiten es funcional para el diseño propuesto. De igual manera, el tanque de almacenamiento (Ver figura 17 y 18) Tabla 10 se puede utilizar para empalmar la estructura propuesta. Por ende el diseño del

sistema se plantea a partir de las bandejas de aireación hasta la cloración, el orden se plantea tal cual se planteó la alternativa (Ver figura 24).

Los materiales usados para su construcción son de fácil acceso y comerciales, además que reduce tiempos montaje, ya que las bandejas de aireación se fabrican en PRFV (poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio) es un material muy resistente y usado para temas de conducción y almacenamiento la distribución de estas se anexan en los planos (Ver Planos Anexo F), por ello sistema compacto.

Para dar solución a los resultados del análisis de la tabla 9 se menciona de manera específica en el uso de cada estructura: Las bandejas de aireación oxigenan el agua reduciendo la dureza y el filtro suavizador con la resina catiónica llevara al mínimo los niveles permitidos de este parámetro, la eliminación de microorganismos presentes se abordara directamente al final del proceso en la cloración, y los filtros de grava, antracita carbón activado le aportaran mejor calidad de color, turbidez y pH al agua, el floculador sedimentador eliminará las partículas que por su tamaño no se decantan de forma rápida.

Figura 24: Alternativa, Sistema de tratamiento propuesto



Fuente: Elaboración propia

DISEÑO HIDRÁULICO

Caudal de diseño

De acuerdo a los métodos de proyección de población y cuantificación del caudal de la fuente por medio del método de aforo volumétrico, se opta por tomar un caudal de diseño para el sistema de 2 L/s.

Tipo de Planta de Tratamiento

Se opta por dimensionar una planta de tratamiento compacta, es un sistema de tratamiento de agua fabricado, ensamblado y diseñado para ocupar menos espacio en comparación con las plantas de tratamiento de agua convencionales, entre sus ventajas que lo hacen un sistema viable es el bajo costo en mano de obra, transporte, a largo plazo los mantenimientos, a su vez los tiempos de ensamble y entrada en operación.

Descripción del proceso

Bandejas de Aireación

El sistema de aireación elegido es la Torre de Aireación, seleccionada por sus ventajas específicas: funciona sin requerir energía eléctrica, opera hidráulicamente y aumenta eficientemente el nivel de oxígeno disuelto en el agua cruda. Esto propicia una eliminación efectiva de metales pesados y gases disueltos. Además, destaca por su operación sencilla y fácil manejo, junto con costos operativos significativamente bajos en comparación con métodos de aireación mecánica u oxidación química de metales.

Floculación

Es un proceso utilizado para eliminar partículas suspendidas y coloidales del agua. Consiste en la aglomeración de estas partículas pequeñas en flóculos más grandes, lo que facilita su posterior eliminación. La calidad del agua tratada y la eficacia de la floculación dependen de la selección adecuada de los productos químicos, las condiciones de mezcla y el control del proceso.

Sedimentación

La sedimentación es un proceso en el cual las partículas suspendidas en el agua se depositan y eliminan cuando el agua se estanca o fluye lentamente a través de un tanque. En estas condiciones de baja velocidad de flujo, no hay turbulencia significativa, lo que permite que las partículas más densas que el agua se asienten y sean removidas.

Filtración

Un sistema de filtración de agua es un conjunto de componentes y procesos diseñados para eliminar partículas, contaminantes y sedimentos del agua, estos sistemas se utilizan para eliminar impurezas como arena, arcilla, óxidos, bacterias, virus y otros contaminantes suspendidos en el agua.

Para este sistema de tratamiento se planteó la circulación de agua por dos filtros: filtración por gravedad y resinas.

- **Filtración por gravedad:** El agua fluye a través de un medio filtrante (como arena, grava o carbón activado) debido a la gravedad. Este proceso es lento pero efectivo para eliminar partículas grandes.
- **Filtración por Resinas:** La suavización del agua se realiza mediante la filtración por resinas, es efectiva para eliminar iones específicos y compuestos disueltos, como dureza del agua (calcio y magnesio), iones metálicos, nitratos y otros contaminantes. Se utiliza en aplicaciones de des-ionización y ablandamiento del agua.

La cloración o desinfección

Es un paso crucial en el tratamiento de agua que tiene como objetivo eliminar o inactivar microorganismos patógenos, como bacterias, virus y otros microbios, para que el agua sea segura para el consumo humano, la forma más común y efectiva que se lleva a cabo es la adición de cloro al agua.

DIMENSIONAMIENTO

Diseño Bandejas de Aireación

Las bandejas de aireación aportan oxígeno al agua oxidando el hierro disuelto, esta oxidación obliga al hierro a precipitarse de forma sólida, es por ello que con el fin de mejorar la eficiencia

de remoción se recomienda el uso de Pall Ring: son anillos plásticos que complementan este proceso, ya que actúan cuando entran en contacto con el agua reteniendo estas partículas de hierro, una ventaja de estos es que cuando se saturan se pueden remover y lavar y reutilizar en un 100%, tienen un bajo peso, son fáciles de remover e instalar. Estos anillos se ubican entre las torres de aireación, de allí su diseño de tipo bandeja. Los detalles de los cálculos se adjuntan en el anexo E.

Cálculo y diseño Bandejas de Aireación:

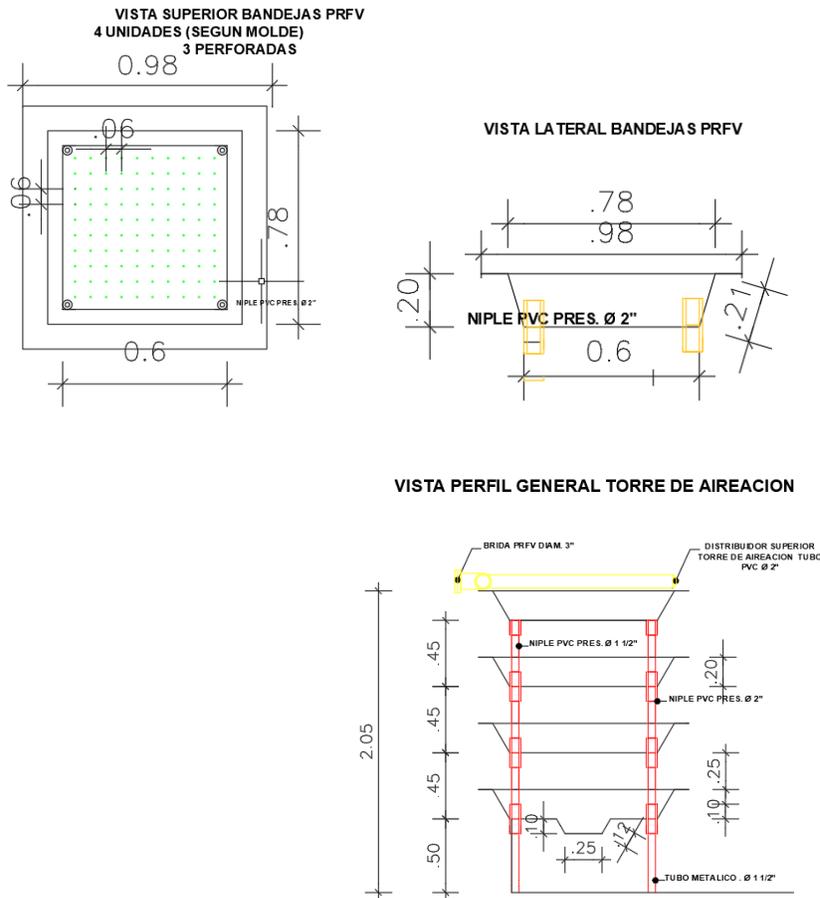
Todos los parámetros de cálculos se anexan en el anexo I

Tabla 11: Cálculo Bandejas de Aireación

No. De Unidades	<i>Una (1)</i>
No. De Bandejas	<i>Cuatro (4)</i>
Geometría de Bandejas	<i>Cuadrada</i>
Ancho Bandeja Perforada	<i>0,6 m</i>
Longitud Bandeja	<i>0,98 m</i>
Profundidad Bandejas	<i>0,20 m</i>
Separación entre Bandejas	<i>0,25 m</i>
Altura Total Torre	<i>2.05 m</i>
Lecho Adsorbente	<i>Pall Ring</i>
Otros Accesorios	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema distribuidor superior tipo flauta en tubería y accesorios PVC – P. - Soporte en Tubería PVC – P y Tubería Metálica.

Fuente: Elaboración propia

Figura 25: Planos Diseño vistas bandejas de Aireación



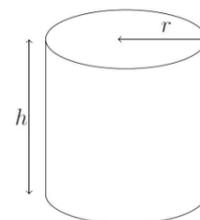
Fuente: Elaboración propia

Dimensionamiento tanque de floculación - sedimentación

El diseño de esta estructura se realiza en un tanque de forma concéntrica con ambos sistemas en una unidad, ello bajo el principio de aprovechamiento del espacio y recursos, ya que no se requiere de construirlo para unidades separadas, incrementando el presupuesto del proyecto, la tabla 12 muestra los resultados de los cálculos los cuales se muestran el ANEXO I.

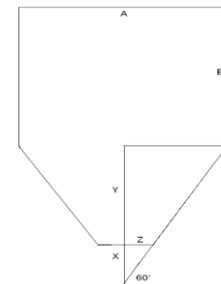
Tabla 12: Cálculos Tanque Floculación - Sedimentación

<i>Tanque Floculador Sedimentador</i>		
<i>Caudal</i>	0,002	m ³ /s
<i>Tiempo, Floculación y Retención</i>	65	min
<i>Volumen Tanque Requerido</i>	7,8	m ³
<i>Medidas del tanque con ambos compartimento Sedimentador</i>		



<i>Altura HI</i>	2,8	<i>m</i>
<i>Diámetro</i>	1,9	<i>m</i>
<i>Volumen</i>	7,94	<i>m³</i>
<i>Floculador: Tanque Interno Cilindro Fondo Cónico</i>		
<i>Tiempo Retención</i>	19	<i>min</i>
<i>Diámetro del floculador</i>	1,2	<i>m</i>
<i>Volumen Floculador Requerido</i>	2,3	<i>m³</i>
<i>Altura HI</i>	2,8	<i>m</i>
A	1,9	
B	1,8	<i>m</i>
y	1	<i>m</i>
C	1,64	<i>m</i>
x	0,64	<i>m</i>
z	1	
<i>Volumen de la sección</i>	7,93	<i>m³</i>
<i>Volumen del cono</i>	0,87	<i>m³</i>
<i>Volumen Total</i>	8.8	<i>m³</i>

Fuente: Elaboración propia

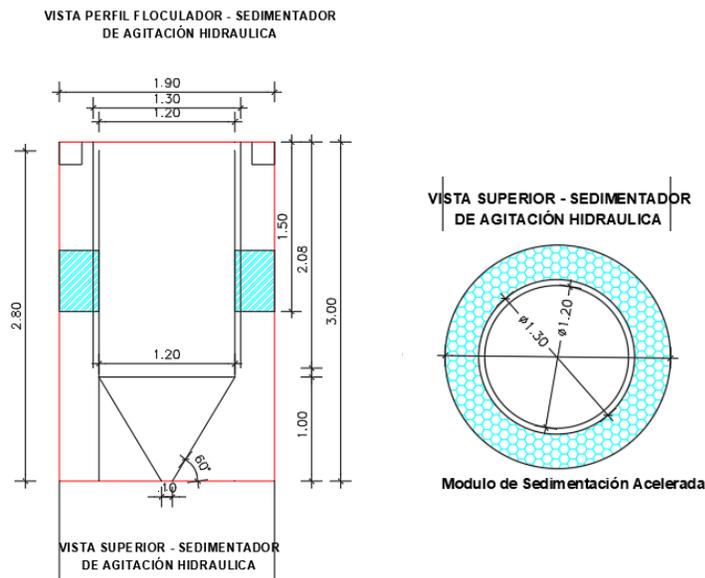


Diseño Tanque Floculación-Sedimentación

Los módulos de sedimentación acelerada (Ver figura 26) hacen parte del proceso de sedimentación, son láminas fabricadas a medidas de proyecto en material ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno) tienen una alta eficiencia en la remoción de sólidos, son de fácil instalación independientemente de la forma del sistema, tienen un diseño inclinado, presenta una desventaja: si se expone de manera directa al sol estos se deforman y pierden utilidad.

Estos módulos, al ser medida estándar de diseño y mercado, no necesitan de realizar cálculos, solo se envían medidas de diseño y las fabrican, los construyen a pedido.

Figura 26: Planos Diseño vista perfil Floculador Sedimentador- Módulo de sedimentación



Fuente: Elaboración propia

Tabla 13: Dimensiones del Módulo de Sedimentación Acelerada

<i>Módulo Sedimentación Acelerada</i>	<i>Unidades</i>
<i>Altura vertical</i>	<i>0.54 m</i>
<i>Altura inclinada</i>	<i>1.20 m</i>
<i>Ángulo inclinación</i>	<i>60°</i>
<i>Dimensión hexágono</i>	<i>6 x 6 cm</i>
<i>Longitud máxima</i>	<i>2.00 m</i>

Fuente: Elaboración propia

Diseño Filtros

El módulo de tratamiento tendrá dos (2) filtros; Cada uno con una capacidad de 1.15 Litros por segundo. Estos filtros deben ser de flujo descendente y retro lavado hidráulico manual, como a los filtros llega la misma cantidad de agua, el dimensionamiento sirve para ambos filtros, por ende son iguales. Las capas de Arena, Grava y Antracita van en la parte interna del filtro.

Dimensionamiento Filtros

Los filtros tienen la función de remover los restos de partículas que lleguen a este proceso, por otro lado, también se tratan parámetros físicos como el mejoramiento del pH, turbidez, sabor y color, para el diseño se tomó como referencia los datos contenidos en el libro (Lozano Rivas, 2015)

Tabla 14: Dimensiones de Filtros

<i>Filtros</i>	
<i>No. De Unidades</i>	<i>Dos (2)</i>
<i>Geometría</i>	<i>Cilíndrica Vertical – Fondo plano apoyado al piso.</i>
<i>H Vertical Total</i>	<i>2,00 m</i>
<i>H Vertical Agua Filtrada</i>	<i>1.80 m</i>
<i>H Falso Fondo</i>	<i>0.7 m</i>
<i>Diámetro</i>	<i>1.00 m</i>
<i>Accesorios</i>	<i>Tanque de carga PRFV. Sistema colector inferior en accesorios PVC – P. Lechos Filtrantes (antracita, arena y grava). Escalera Metálica Tipo Marinero externa. Tres (3) Manhole PRFV para acceso e inspección.</i>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15: Capas de Filtro

<i>Capas Lechos Filtrantes</i>	Unidades
<i>Grava</i>	<i>20 cm</i>
<i>Arena</i>	<i>10 cm</i>
<i>Antracita</i>	<i>20 cm</i>

Fuente: Elaboración propia

el material de construcción puede variar de acuerdo al presupuesto, disponibilidad de materiales, proceso constructivo, transporte, etc., para este caso se plantea Plástico Reforzado con Fibra de Vidrio (PRFV), el cual tiene las propiedades adecuadas para usar en este tipo de proyectos, se enuncian algunas: Precio, tiempos de fabricación, peso, resistencia a los cambios de temperatura, no se deforma con los rayos del sol.

Dosificación

los químicos usados para tratar el agua se determinan a partir del caudal diario, ello para cuantificar la cantidad de sulfato de aluminio que se requiere para tratamiento del agua en el día, se determinó que se requieren 3.5 Kilos diarios, su dilución se hará en un tanque de 500 litros el cual tendrá un agitador mecánico y su dosificación al agua lo realizará una bomba dosificadora de

capacidad 8 Litros por Hora estos dispositivos son programables por ende su funcionamiento es autónomo. El sulfato de aluminio se agrega al tanque floculador sedimentador, se transportará por medio de mangueras. A su vez, también se determinó que para la cloración del agua se requieren de 1.4 kilos diarios de Hipoclorito de sodio que también se dosificaran mediante bombas (Ver anexo I).

PLANOS Y PRESUPUESTO

Los planos del sistema se adjuntan en el anexo E, F y G en los cuales se presentan las respectivas vistas de perfil, superior y detalles de los componentes del sistema, los cálculos fueron la base para realizarlos a medida.

El presupuesto del sistema se realizó con base en los precios actuales del mercado y están sujetos a cambios en el tiempo, se cuantificó un total de \$ 68.897.102 (Ver anexo H) necesarios para construir y ensamblar el sistema compacto, este valor contempla todos los aspectos para la puesta en marcha del sistema.

CONCLUSIONES

El análisis de agua demostró la problemática a la que se encuentran expuestos las personas que se abastecen de este punto de captación, por otro lado, también fue la base para realizar la propuesta con datos verídicos, esto le da peso a la propuesta del sistema, pues ello permite justificar con mayor seguridad la alternativa.

El diagnóstico reveló que las estructuras del sistema que tiene la vereda no están diseñadas de manera congruente con el caudal, se evidencian estructuras como el del tanque de almacenamiento que de acuerdo a sus medidas tiene una capacidad de 25000 l de agua, esto representa una cantidad exagerada, ya que la retención del agua por tanto tiempo favorece la formación y crecimiento de microorganismos (Ver figura 22 y 17). Por otro lado, también se evidencia la falta de mantenimientos que deben ser realizados por las personas de la vereda, esto representa un problema porque si se llegara a construir el STAP propuesto la comunidad no trabajaría para mantener el sistema y por ende se perderán esfuerzos y recursos destinados para su construcción.

El dimensionamiento del sistema de tratamiento se realizó acorde al estudio y cálculo de información obtenida en la investigación, es por ello que la alternativa se ajusta a las capacidades de la fuente, captando solo el caudal que requiere para tratabilidad y garantizando el caudal ecológico del ecosistema aguas abajo.

Se espera que los planos y el presupuesto sirvan a la comunidad de la vereda para tener la base de cotización y buscar los recursos con la gobernación para la construcción del sistema de tratamiento que requieren, el cual requiere un presupuesto de \$ 68.897.102, cabe aclarar que la vereda ya cuenta con una concesión de agua autorizada por la Car.

Verificar las condiciones del agua de manera permanente debe ser una tarea rutinaria, la persona que realiza los análisis debe tener los conocimientos necesarios para interpretar los resultados de tal forma que pueda tomar la decisión con respecto a la dosificación de los insumos para potabilizar.

Se comprueba a partir de análisis físico-químico que la razón por la cual se presenta taponamiento del sistema de distribución es por los altos niveles de minerales de calcio y magnesio, característica de las aguas subterráneas.

CONTRIBUCIONES Y RECOMENDACIONES

A corto plazo la construcción del sistema no representa gran desafío, el gran reto se presenta en el momento en el que el sistema entre en operación porque la sostenibilidad implica tener personal capacitado, a su vez los recursos financieros son esenciales para costear los diferentes rubros asociados al funcionamiento.

La condición del agua es una variable que está sujeta a cambios en sus propiedades y puede ser ocasionada por diferentes factores, cuantificar estos cambios para determinar su tipo de tratamiento es parte del proceso para garantizar un agua apta para su consumo. Las zonas rurales tienen restricciones de accesibilidad para el análisis de agua potable debido a la distancia entre que hay entre los puntos de muestreo con laboratorios certificados. Sumado a esto los costos de transporte y al estado de las diferentes vías de acceso que afectan la calidad de la muestra por el tiempo que

transcurre entre la toma y la recepción de la misma, adicional, el tiempo que transcurre para la emisión de los resultados incrementan la incertidumbre del estado real de líquido.

La confiabilidad de los resultados depende de muchos factores como son la correcta preparación, toma de muestra, cadena de custodia, calibración de los equipos, estandarización de procedimientos, entre otros. Es muy importante que el técnico que haga los análisis tenga una validación periódica de sus competencias, el factor humano siempre es el más importante.

Es por ello que es importante que no se deje todo en manos de los habitantes de la zona, se espera que las entidades encargadas encuentren una forma más asequible de realizar los procesos requeridos para garantizar que las zonas rurales tengan agua apta para el consumo, cumpliendo los lineamientos establecidos en el marco normativo de la OMS y la normativa 2115 del 2007.

REFERENCIAS DE PROYECTOS REALIZADOS EN LA UAN REFERENTES AL ÁREA TEMÁTICA

Monroy Camacho, Dylan Estiwar, 2023, Evaluación de alternativas para una ptap en la vereda El Floral, municipio de Melgar Tolima. <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/8269>

López Mendivelso, Javier Alejandro, 2022, Diagnóstico y diseño de una planta de tratamiento de agua potable para una comunidad de la vereda san isidro, municipio de san antonio del tequendama, departamento, de cundinamarca, <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/7212>

Cardenas Nivia, Jeisson, Ruiz Guzmán, Journey Stiven, 2020 Diagnostico hidráulico operativo de la planta de tratamiento de agua potable de municipio de Santuario Risaralda, <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2187>

Berrio Banguero, Cristhian Edder, 2020, Diseño de un sistema de potabilización y abastecimiento de agua; <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/3248>

REFERENCIAS

A. N. Angelakis, K. S. Voudouris, G. Tchobanoglous; Evolution of water supplies in the Hellenic world focusing on water treatment and modern parallels. *Water Supply* 1 May 2020; 20 (3): 773–786. doi: <https://doi.org/10.2166/ws.2020.032>

Bertone, E., Rousso, B. Z., & Kufeji, D. (2023). A probabilistic decision support tool for prediction and management of rainfall-related poor water quality events for a drinking water treatment plant. *Journal of Environmental Management*, 332. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117209>

Dane (2021), Determinantes y factores asociados con la tasa de Mortalidad Infantil: una comparación departamental y municipal. Informes de Estadística Sociodemográfica Aplicada. Obtenido de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticaspor-tema/demografia-y-poblacion/informes-de-estadistica-sociodemografica-aplicada>

Dane (2023). Boletín Técnico Pobreza multidimensional en Colombia Año 2022. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/pobreza/2022/bol-pobreza-multidimensional-2022.pdf

Escobar, C., Becerra-Agudelo, E., Hernández, T. *et al.* Seasonal and Spatial Variations in the Presence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in Rural Drinking Water Supply Systems in Different Municipalities of Antioquia, Colombia. *Water Air Soil Pollut* 233, 389 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11270-022-05760-0>

Echeverri Sánchez, A. F., Urrutia Cobo, N., & Barona Ramírez, S. M. (2020). Vulnerability of surface water sources in the Cerrito River basin to diffuse agricultural pollution. *Journal of Agricultural and Environmental Research*, 11(2), 117-130. <https://doi.org/10.22490/21456453.3136>

Elleuch, Mohamed & Elleuch, Lobna & Ahmed, Frikha. (2018). A Hybrid Approach for Water Resources Management in Tunisia. *International Journal of Water*. 13. 10.1504/IJW.2019.10018445.

Falkenmark, M., Wang-Erlandsson, L., & Rockström, J. (2019). Understanding of water resilience in the Anthropocene. *Journal of Hydrology X*, 2, 100009. doi:10.1016/j.hydroa.2018.100009

Farfán-García, A. E., Imdad, A., Zhang, C., Arias-Guerrero, M. Y., Sánchez-Álvarez, N. T., Iqbal, J., Hernández-Gamboa, A. E., Slaughter, J. C., & Gómez-Duarte, O. G. (2020). Etiology of acute gastroenteritis among children less than 5 years of age in Bucaramanga, Colombia: A case-control study. *PLoS neglected tropical diseases*, 14(6), e0008375. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0008375>

Gallo Corredor, J. A., Humberto Pérez, E., Figueroa, R., & Figueroa Casas, A. (2021). Water quality of streams associated with artisanal gold mining; Suárez, Department of Cauca, Colombia. *Heliyon*, 7(6), e07047. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07047>

Godoy, P., Bartolomé, R., Torres, J., Espinet, L., Escobar, A., Nuin, C., & Domínguez, A. (2011). Gastroenteritis outbreak due to consumption of public supply water caused by *Shigella sonnei* [Waterborne outbreak of *Shigella sonnei* caused by consumption of public supply water]. *Health Gazette*, 25(5), 363–367. <https://doi.org/10.1016/j.gaceta.2011.04.012>

ICE, The Home of Civil Engineering | Institution of Civil Engineers, n.d (2023) <https://www.ice.org.uk/events/past-events-and-recordings/recorded-lectures/monitoring-subsurface-groundwater-flow>

Ideam ENA (2022). Estudio Nacional del Agua 2022. 464 pp. Obtenido de: <http://www.ideam.gov.co/web/agua/estudio-nacional-del-agua>

Khozyem, H., Hamdan, A., Tantawy, A.A. et al. Distribution and origin of iron and manganese in groundwater: case study, Balat-Teneida area, El-Dakhla basin, Egypt. *Arab J Geosci* 12, 523 (2019). <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4689-1>

Lozano-Rivas, W. A., & Bravo, G. L. (2015). Potabilización del agua: Principios de diseño. control de procesos y laboratorio (1st ed.). Universidad Piloto. <http://www.jstor.org/stable/j.ctt1c3q113>

Ministro de la Protección Social, (2007). Decreto 1575 de 2007, Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>.

Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección Social, (2007) Resolución 2115 del 22 de junio 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. <https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>.

Instituto Nacional de Salud Subdirección Red Nacional de Laboratorios, (2011). Programa de Vigilancia por Laboratorio de la Calidad de Agua para Consumo Humano. <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>.

Mazille, F., & Spuhler, D. (18 de 05 de 2023). sswm.info. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspectivees/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulaci%C3%B3n%20floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n>.

Ministerio de salud y protección social, 2013, por medio de la cual se autoriza laboratorios para la realización de análisis físicos, químicos, y microbiológicos al agua para consumo humano; <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/resolucion-4353-de-2013.pdf>.

Mohamad Kordab, 2007, Priority option of photovoltaic systems for water pumping in rural areas in ESCWA member countries, Page: 73-77, <http://dx.doi.org/10.1016/j.desal.2007.04.011>

Nikolaidis, NP, Bidoglio, G., Bouraoui, F. y Cardoso, AC: Calidad del agua del Mediterráneo, Agua Integral Calidad y Purificación, 4, 230-250, doi:10.1016/B978-0-12-382182-9.00076-1, 2014.

(PDF) Radares costeros de alta frecuencia en el Mediterráneo: estado de funcionamiento y marco para el desarrollo futuro. Available from: https://www.researchgate.net/publication/357031319_Coastal_HF_radars_in_the_Mediterranean_status_of_operations_and_a_framework_for_future_development

OMS (Organización Mundial de la Salud) (2011) Directrices para la calidad del agua potable, 4^a ed. Organización Mundial de la Salud, Ginebra.

Pérez Moreno, F., Prieto García, F., Rojas Hernández, A., Galán Vidal, C. A., Marmolejo Santillán, Y., Romo Gómez, C., ... & Barrado Esteban, E. (2003). Caracterización química de aguas subterráneas en pozos y un distribuidor de agua de Zimapán, Estado de Hidalgo, México. *Hidrobiológica*, 13(2), 95-102.

Pérez-Vidal, A., Escobar-Rivera, J. C., & Torres-Lozada, P. (2020). Development and implementation of a water-safety plan for the drinking-water supply system of Cali, Colombia. *International journal of hygiene and environmental health*, 224, 113422. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113422>

Patel, CB, Vajpayee, P., Singh, G., Upadhyay, RS y Shanker, R. (2011). Contaminación del agua potable por *Escherichia coli* enterotoxigénica: detección y cuantificación sin cultivo basada en qPCR. *Ecotoxicología y seguridad ambiental*, 74 (8), 2292–2298. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2011.07.022>

Ruffino, B., Campo, G., Crutchik, D., Reyes, A., & Zanetti, M. (2022). Drinking Water Supply in the Region of Antofagasta (Chile): A Challenge between Past, Present and Future. *International journal of environmental research and public health*, 19(21), 14406. <https://doi.org/10.3390/ijerph192114406>

Salehi M. (2022). Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. *Environment international*, 158, 106936. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106936>.

Seyedeh Habibbeh Hosseiny, Omid Bozorg-Haddad, Daniele Bocchiola, (2021) 9 - Water, culture, civilization, and history, Editor(s): Omid Bozorg-Haddad, Economical, Political, and Social Issues in Water Resources, Elsevier, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90567-1.00010-3>.

United Nations (2018). Decenio Internacional para la Acción: Agua para el Desarrollo Sostenible, 2018-2028 Obtenido de: <https://www.un.org/es/events/waterdecade/index.shtml>

Vallejo Zamudio, L. E. (2021). Magnitud e implicaciones de la pobreza en Colombia. *Apuntes del Cenes*, 40(72). Págs. 7 - 13 <https://doi.org/10.19053/01203053.v40.n72.2021.13362>

Villanueva, C. M., Evlampidou, I., Ibrahim, F., Donat-Vargas,... Kogevinas, M. (2023). Global assessment of chemical quality of drinking water: The case of trihalomethanes. *Water research*, 230, 119568. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119568>

Vence Márquez, L., Rivera González, M., Osorio Bayter, Y., & Castillo Sarabia, A. B. (2012). Microbiological and physicochemical characterization of groundwater from the municipalities of La Paz and San Diego, Cesar, Colombia. *Journal of Agricultural and Environmental Research*, 3(2), 27-35. <https://doi.org/10.22490/21456453.953>

Vesga, F. J., Moreno, Y., Ferrús, M. A., Campos, C., & Trespalacios, A. A. (2018). Detection of *Helicobacter pylori* in drinking water treatment plants in Bogotá, Colombia, using cultural and molecular techniques. *International journal of hygiene and environmental health*, 221(4), 595–601. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.04.010>

Wang, Y., Sikora, S., Kim, H., Dubey, B., & Townsend, T. (2012). Mobilization of iron and arsenic from soil by construction and demolition debris landfill leachate. *Waste management*, 32(5), 925-932.

Wang, F., Xu, J., Liu, L., Yin, G., Wang, J., & Yan, J. (2021). Optimal design and operation of hybrid renewable energy system for drinking water treatment. *Energy*, 219, 119673.

Yuerlita (2017). Women's Participation in a Rural Water Supply and Sanitation Project: A Case Study in Jorong Kampung Baru, Nagari Gantung Ciri, Kubung Subdistrict, Solok, West Sumatra, Indonesia. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805451-2.00007-7>