



**Evaluación de alternativas para una ptap en la vereda El Floral, municipio de
Melgar-Tolima.**

Dylan Estiwar Monroy Camacho

10481815821

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2023

**Evaluación de alternativas para una ptap en la vereda El Floral, municipio de
Melgar-Tolima**

Dylan Estiwar Monroy Camacho

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Civil

Director (a):

PhD, Doctor, Ingeniero, Carlos Martín Molina Gallego

Línea de Investigación:

Hidrotecnia y Ambiente.

Grupo de Investigación:

GRESIA

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Ambiental y Civil

Bogotá, Colombia

2023

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA UNA PTAP EN LA VEREDA EL FLORAL, MUNICIPIO DE MELGAR-TOLIMA.

EVALUATION OF ALTERNATIVES FOR A PTAP IN THE VEREDA EL FLORAL, MUNICIPALITY OF MELGAR-TOLIMA.

Camacho Monroy, Dylan Estiwar^{1*}

Gallego Molina, Carlos Martín^{2*}

¹ Universidad Antonio Nariño, Colombia, dmonroy01@uan.edu.co

² Universidad Antonio Nariño, Colombia, martin.molina@uan.edu.co

Resumen: El presente trabajo de grado contiene la evaluación de alternativas para una Planta de Tratamiento de Agua Potable para la Vereda El Floral, en el municipio de Melgar, Tolima, evaluadas por medio de una matriz y un método analítico, en la cual se establecieron tres alternativas diferentes, sometidas a un sistema de ponderación a partir del análisis de distintos criterios según expertos, donde la ponderación más alta fue la alternativa escogida para el diseño esquemático de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) para la vereda El Floral. De igual forma, se enlistan los diferentes criterios para la selección de la alternativa más adecuada, con el objetivo de establecer las correspondientes operaciones unitarias que permitan la remoción de cada contaminante presente en el agua, del mismo modo los análisis de calidad del agua, dieron a conocer los parámetros que representan un riesgo para la salud de la población y aquellos que puedan aparecer si no se toman las medidas pertinentes y se realiza un previo tratamiento antes de su consumo. La alternativa escogida para el tratamiento del agua de la vereda El Floral implementa las siguientes operaciones unitarias, aireación por medio de bandejas múltiples, coagulación en vertedero triangular, floculador de flujo horizontal, sedimentador de alta tasa, filtración de grava, arena y antracita, y desinfección en un tanque de contacto con hipoclorito de sodio. En conclusión, se espera que la PTAP seleccionada permita mejorar la calidad del agua de la vereda El Floral, permitiendo así una mejor calidad de vida y beneficiando a la población respecto al costo de operación y mantenimiento debido a que funciona totalmente de manera hidráulica.

Palabras Claves: Planta de Tratamiento de Agua Potable, Planta de Potabilización de Agua, Matriz de Pugh, Proceso Analítico Jerárquico (AHP), Calidad del Agua, Diagnóstico Técnico, Zonas rurales, PTAP, Sistema de Tratamiento de Agua Potable.

Abstract: This degree work contains the evaluation of alternatives for a Drinking Water Treatment Plant for the Vereda El Floral, in the municipality of Melgar, Tolima, evaluated by means of a matrix and an analytical method, in which three alternatives were established. Different, subjected to a weighting system based on the analysis of different criteria according to experts, where the highest weighting was the alternative chosen for the schematic design of the Drinking Water Treatment Plant (PTAP) for the village of El Floral. In the same way, the different criteria for the selection of the most appropriate alternative are listed, with the objective of establishing the corresponding unit operations that allow the removal of each contaminant present in the water, in the same way the water quality analyzes, gave to know the parameters that represent a risk to the health of the population and those that may appear if the pertinent measures are not taken and a previous treatment is carried out before its consumption. The alternative chosen for the treatment of water from the village of El Floral implements the following unit operations: aeration through multiple trays, coagulation in a triangular weir, horizontal flow flocculation, high rate settler, gravel, sand and anthracite filtration, and disinfection in a contact tank with sodium

hypochlorite; In conclusion, it is expected that the selected PTAP will improve the water quality of the El Floral village, thus allowing a better quality of life and benefiting the population regarding the cost of operation and maintenance because it works entirely hydraulically.

Keywords: Drinking Water Treatment Plant, Water Treatment Plant, Pugh Matrix, Hierarchical Analytical Process (AHP), Water Quality, Technical Diagnosis, Rural Areas, PTAP, Drinking Water Treatment System.

Introducción

El agua es un recurso natural vital para la vida de todos los seres vivos, su consumo es creciente en relación con la población, por tal motivo la gestión adecuada de los recursos hídricos ha sido tema fundamental a nivel mundial. Esto debido a que ellos han sido francos del estrés hídrico, el cambio climático, la demografía cambiante y la brecha económica que hay entre las zonas urbanas y rurales (Castro-Jiménez et al., 2022). Tal como lo expone la Organización Mundial de la Salud (OMS), alrededor de dos mil millones de personas carecen de acceso al agua segura y al saneamiento básico; debido a lo anterior, en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), se reitera la importancia y la necesidad de lograr el acceso al agua potable y saneamiento básico equitativo a nivel universal, así como se establece en la meta 6.1, siendo de alta prioridad las poblaciones más pobres y vulnerables (Castro-Jiménez et al., 2022).

Según (Huérfano-Moreno et al., 2023) Colombia no es deficiente en agua por razones climáticas, al contrario, es rica en agua, pero esa riqueza no llega a todos los colombianos; siendo uno de los nueve territorios con más reservas de recurso hídrico y el sexto entre los países con mayores reservas de agua dulce en el mundo. (Mundial, 2020) (Ágora, 2021).

Por lo anterior en Colombia, según el índice de calidad del agua, las fuentes hídricas cuentan con un alto nivel de contaminación debido a las actividades agrícolas, industriales y mineras aumentando la transmisión de enfermedades vehiculizadas por agua (EVA & EDA, 2018) y los problemas en la salud pública; por tal motivo y por muchos más el recurso hídrico subterráneo en áreas rurales de Colombia está catalogado como la fuente de agua potable más importante y valiosa para el consumo humano, convirtiéndose en una alternativa eficaz para el abastecimiento de las comunidades rurales que no cuenten con un sistema de saneamiento básico. (Huérfano-Moreno et al., 2023).

En el departamento del Tolima se realizó un estudio epidemiológico, tomando como población los cuarenta y siete municipios del departamento, así mismo revisando la base de datos del Sistema de Información para Vigilancia de la Calidad del Agua Potable (SIVICAP) y consultando de manera global la calidad del agua de cada municipio, se evidencia que treinta municipios presentaron algún tipo de riesgo en el agua y que solo diecisiete cumplen con agua apta para consumo humano. (Briñez A et al., 2012).

El acceso al agua potable y saneamiento básico en las zonas rurales es un reto para el país, principalmente para los municipios los cuales deben asegurar que todos los habitantes cuenten con agua potable, por eso mismo se hace indispensable los sistemas de tratamiento para la purificación del agua, sin embargo, Melgar cuenta con veredas que aún no tienen un sistema de tratamiento de agua, lo que hace que sea prácticamente inviable el consumo del recurso hídrico; como es el caso de la vereda El Floral debido a que captan agua de un nacedero y esta es conducida a un tanque de almacenamiento para luego ser distribuida, lo que hace evidente la inexistencia de algún tratamiento que haga el agua sanitariamente viable, esto se debe a la carencia de recursos económicos del municipio. Todo lo anterior, para mostrar la manera con la que se busca impactar a través de este trabajo de grado, donde se puede identificar la problemática que desafortunadamente tiene los habitantes de la vereda El Floral, ya que, no cuentan con una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) que al mismo tiempo de brindarles un servicio minimiza los riesgos de enfermedades.

Planteamiento del Problema

La calidad del agua potable es una cuestión que preocupa a países de todo el mundo, en desarrollo y desarrollados, por su repercusión en la salud de la población. Siendo, entre otros, los agentes infecciosos y los productos químicos tóxicos como factores de riesgo (Obando, Mora, Lievano, Hernandez, Cardenas, 2019).

De acuerdo a un artículo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) del 2018, aproximadamente 1.800 millones de personas en todo el mundo se abastecen de una fuente de captación de agua potable contaminada por restos fecales y unos 2.400 millones de personas carecen de calidad de agua y servicios de saneamiento básico. Por tal motivo, más del 40 % de la población mundial sufre por escasez del recurso hídrico (ONU, 2018).

En Colombia el acceso al agua potable ha venido en aumento los últimos años, para el 2021, según cifras del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 45.5 millones de personas ya cuentan con acceso a este servicio (93 % de colombianos) (Ministerio de Vivienda, 2021). Sin embargo, a Colombia le quedan retos importantes en materia de cobertura insuficiente del servicio, especialmente en las zonas rurales del territorio nacional y la calidad inapropiada del recurso hídrico.

En las zonas rurales de Colombia la calidad de agua y saneamiento básico es prácticamente inexistente, para el 2015 por lo menos el 24 % de la población habita en el campo colombiano, es decir 11 millones de personas no cuentan con el recurso hídrico. De esta población, aproximadamente 5 millones de personas se catalogan en situación de pobreza multidimensional, lo cual determina lo esencial para una vida digna, entre ellas el derecho al agua, que comprende agua apta para el consumo humano y derecho al saneamiento básico, que incluye el acceso a un aseo seguro. Por ello, el Gobierno nacional expidió el CONPES 3810 el 14 julio de 2014 (Política de Suministro de Agua Potable y Saneamiento Básico Rural para Colombia). (MinVivienda, 2021).

Según el Estudio Nacional del Agua (ENA,2018) en el municipio de Melgar - Tolima se ubican tres fuentes hídricas abastecedoras superficiales (Quebrada la Melgara, río Sumapaz y río Juan López). La empresa Empumelgar ESP es la encargada del Suministró, Mantenimiento y Operación del recurso hídrico a nivel Urbano y Rural, sin embargo, en algunas veredas del municipio los acueductos son operados por las mismas juntas de acción veredal (JAV) como lo es el caso de la vereda el Floral en la cual se enfoca esta investigación.

En la vereda el Floral se evidencia la carencia de agua digna para el consumo humano por la falta de un sistema para el tratamiento de agua potable (STAP). Es relevante en este punto acotar, que mis abuelos tienen la finca donde viven, en esa vereda, hace más de veinte años. Razón por la cual, conozco de primera mano, la problemática de la potabilidad del agua de este sitio. Los habitantes manifiestan recoger el recurso de un yacimiento, cercano al cerro. Esto, sin tener en cuenta que dicha agua se encuentra contaminada por diferentes factores como: Metales Pesados, heces de animales, residuos sólidos, entre otros. Sin embargo, los habitantes de la vereda el Floral en muchos casos se ven obligados a consumir el agua del nacimiento, con las respectivas consecuencias del consumo de este elemento, sin las medidas de saneamiento requerida.

Dentro de estas enfermedades dada la mala calidad del agua, se evidenciaron Hepatitis A, Enfermedad Diarreica Aguda (EDA), Fiebre Tifoidea y Dengue, siendo la EDA tendencia en menores de 5 años con un porcentaje de mortalidad de 55.70 rural disperso (INS, 2015); sumado a eso, con el fin de suplir las necesidades los habitantes de la vereda generan cierta dependencia al tener que adquirir el recurso a entidades autorizadas, aumentando los costos con el fin de sostener las actividades económicas que allí se llevan a cabo, como lo son la Ganadería , Cultivos , Crianza de porcinos, alevinos y gallinas; sin dejar de lado la actividad turística.

Por eso, buscando participar en la solución de este problema, aflora la idea de abordar diferentes alternativas para el tratamiento del agua, de tal manera que se suministre específicamente a la comunidad de la vereda el Floral un agua digna para el consumo humano bajo los criterios de salubridad mínimos requeridos para la potabilización del recurso hídrico (Arboleda, 2000), minimizando dichos problemas de salud y mejorando la calidad de vida tanto de los habitantes como la población flotante de la vereda el Floral.

La población de la vereda El Floral cuentan con agua captada de un nacimiento, sin embargo; ¿cumplirá los parámetros adecuados para el consumo humano? ¿Cuál alternativa sería la óptima para tratar el agua con la cual los habitantes de la vereda el Floral suplen sus necesidades básicas teniendo en cuenta los parámetros establecidos por el IRCA?

Estado del Arte

A continuación, se compilaron los trabajos de investigación cuya finalidad tiene similitud con el presente trabajo o simplemente en opinión del autor, pueden aportar para seleccionar de la mejor manera la alternativa idónea para el saneamiento del agua de la vereda el Floral. Esta información fue recolectada por medio de bases de datos de que dispone la universidad Antonio Nariño como Scopus. Adicionalmente, se realizaron búsquedas en repositorios como Google Académico, Scielo, Science Direct y recursos al público de instituciones educativas.

En primera instancia, se referencia, la tesis titulada *Estudio para el montaje de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) tipo compacta, en la vereda Cualamaná, municipio de Melgar, Tolima* presentado por Jaiber Cruz, en el 2019 (Cruz J., 2019) tiene como objetivo realizar un estudio para la implementación de una PTAP tipo compacta en la vereda de Cualamaná en Melgar. Esta investigación fue desarrollada en 4 fases: la etapa de investigación y teoría, el cálculo y medición de forma teórica y experimental, la toma de muestras y finalmente la determinación de costos y programación de obra. El método de estudio para la caracterización de la toma de muestras del agua cruda y el respectivo análisis del agua en cuanto a los parámetros físico-químicos y microbiológicos es de vital importancia debido a que es una metodología que se ajusta a las necesidades para definir el diseño y montaje para la planta de tratamiento compacta (Cruz J., 2019). De este modo, la importancia de esta tesis de grado infiere de la implementación de la metodología debido a que resulta similar con la presente investigación, tanto en el tema del proyecto aplicado como en la resolución del problema. Este trabajo fungió como guía, en los temas relativos a operaciones unitarias, cálculo de caudal y análisis de parámetros del agua.

Continuando con la investigación, se revisó la investigación de Cortez Pinzón, H. E., Mora Fajardo, L. M. (2015) titulada *diseño de un sistema compacto de potabilización de agua para consumo humano en la granja la fortaleza ubicada en el municipio de melgar–Tolima* se inclina en la implementación de una planta compacta para el tratamiento del agua en la granja “La fortaleza”. El agua que reciben los residentes de la granja y la población flotante (turismo y trabajadores) no es apta para el consumo humano, ya que se abastecen por medio de carro tanques; sin embargo, para el consumo y preparación de alimentos deben adquirirla de una entidad certificada aumentando costos y limitando las actividades diarias de la finca, es por eso que esta investigación carácter relevante debido a que su objetivo principal es diseñar una PTAP tipo compacta que disminuya costos y espacio y a su vez satisfacer las necesidades que presenta la población de la granja, por otro lado, se basa en metodologías que tienen en cuenta el IRCA y los parámetros admisibles por la Resolución 2115 de 2007 (Fajardo, 2015). Con base en este trabajo, se realizó la toma de muestras y se tuvo en cuenta la cadena de custodia requerida para optimizar los resultados en lo atinente al análisis del agua.

Continuando con el proceso investigativo, se realizó una revisión bibliográfica donde se encontró un artículo muy interesante y completo, sobre la cáscara del coco como elemento de filtración de agua. “*A comprehensive review of coconut-based porous materials for wastewater treatment and CO2 capture*” menciona la posibilidad de cambiar las técnicas de tratamiento utilizadas durante varias décadas, ya que estas son costosas y en algunas ocasiones ineficaces, por técnicas de absorción, puesto que han demostrado gran eficiencia como método de tratamiento económico. Según (Khan et al., 2023) los recursos a base de coco se han catalogado como excelentes absorbentes para el tratamiento de aguas debido a su bajo costo, abundancia y propiedades superficiales favorables.

De igual forma, en la revisión se halló otra forma de remover el arsénico del agua, esto con el fin de que sea apta para el consumo humano, sin embargo, estas alternativas son bastante costosas y complejas de implementar, no obstante, Litter(Litter et al., 2012) menciona en su artículo la implementación de tecnología a pequeña escala y de bajo costo para impulsar agua potable libre de arsénico; de acuerdo al autor, estas tecnologías son aptas para zonas rurales y peri urbanas que no cuenten con un acueducto propio o que no estén conectadas al acueducto de las grandes urbes (situación muy acorde con lo planteado para la vereda el Floral). En dicho artículo se resalta la importancia de estas tecnologías, ya que en muchos casos son adaptaciones a tecnologías convencionales o procesos emergentes amigables con el ambiente, debido a que utilizan materia prima de la zona afectada; estas tecnologías se basan en absorción con materiales geológicos y otros materiales de bajo costo, métodos biológicos como la fitorremediación, uso de hierro cero Valente y procesos fotoquímicos. (Litter et al., 2012).

Otra de las tecnologías que se evaluó en el desarrollo de esta monografía de grado, es la Planta de tratamiento de agua potable contenerizada integral o tecnología de planta compacta. Es una solución al saneamiento al agua subterránea a través de su procesamiento por aireación, coagulación, floculación, decantador o sedimentador, filtrantes (arena, grava y antracita) y desinfección por medio de un tanque de contacto con hipoclorito de sodio. Es muy eficiente, pero es una solución muy grande para la población de la Vereda el Floral, toda vez, según la junta de acción veredal el censo de personas viviendo en la vereda es menor a 100 habitantes incluidas las personas flotantes. Esto conlleva un costo muy alto y una inversión logística demasiado grande y complicada. (Synertech, 2023).

En este acápite de la monografía, también se incluye información para el análisis de los parámetros mínimos que debe tener el agua potable, reglados en el Decreto 1575 y resolución 2115 del año 2007, como requerimiento sine qua non para el diseño e implementación de proyectos en lo atinente a la potabilización del agua. Esta información se amplía detalladamente en el anexo F.

Para finalizar el estado del Arte, se contempla la utilización de una metodología convencional basada en la capacidad para remover del agua por procesos físicos y químicos, la turbiedad o lodos, organismos microscópicos, así como estabilización del pH y características organolépticas. Teniendo en cuenta que el agua en la vereda el Floral proviene de fuente subterránea, esta puede tener variaciones de calidad y se requiere de estabilización en la potabilización, de acuerdo con los parámetros exigidos por el ministerio del Medio Ambiente y de Desarrollo Sostenible. Esta tecnología exige que se apliquen al agua todos los procesos de potabilización, como lo son: la aireación por bandejas múltiples (permiten la oxidación del hierro, así como mejorar el sabor del agua), adición de Sulfato de aluminio (Coagulación), proceso de vertedero triangular, floculación, decantación de sedimentos, filtrado a través de arena, grava y antracita y, por último, aplicación hipoclorito de sodio para desinfección total (Acuatecnica sas, 2018).

Marco Referencial

Marco Teórico - Conceptual

Para esta investigación se definen diferentes variables de estudio, las cuales tendrán un fin para el desarrollo del marco teórico - conceptual, siendo indispensable para la elección de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP).

Tabla 1
variables de Estudio

Programa	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	Hidrotecnia y Ambiente
Variable de Análisis	Tratamiento de Agua

Fuente: Elaboración Propia, 2023

El recurso hídrico es vital para la vida y desarrollo de las actividades humanas, por lo que es indispensable considerar proyectos que beneficien a comunidades sin comprometer la disponibilidad de este recurso, desde hace tiempo el ser humano ha optado por inventar diversos sistemas de tratamiento con el fin de purificar el agua, debido a diversos problemas que se han generado en el medio ambiente a nivel mundial estos han afectado no solo el recurso hídrico, sino también los servicios ecosistémicos en general presentando escasez de agua apta para el consumo humano. (Caro-Camargo et al., 2023).

Los sistemas de tratamiento de agua se utilizan en función de las necesidades de la comunidad y de las características que presente la fuente de agua a tratar, debido a lo cual se encuentran distintos procesos fundamentales para garantizar que el agua cumpla con las características fisicoquímicas y microbiológicas establecidas por la resolución 2115 de 2007 para no llegar a afectar la salud de los consumidores.

Para lograr una mejor comprensión y de acuerdo al proyecto se deberá tener en cuenta algunos conceptos y teoría que se encuentran directamente relacionados con el tema en cuestión.

Acuífero

Los acuíferos son rocas o sedimentos permeables capaces de almacenar y botar agua (IDEAM, 2020). Otra definición que aplica a este concepto son cuerpos dinámicos de agua que fluyen en el subsuelo. Los acuíferos son fruto de la permeación del agua a través de la corteza terrestre que forman naturalmente depósitos geológicos de aguas lluvias.

Etimológicamente, el término acuífero proviene del latín “aqua” que se define como “agua” y del término “fero” que se define como la expresión “yo llevo”. Así las cosas, la mejor definición de acuífero es “yo llevo agua”.

Es muy relevante acotar que, en los acuíferos, se pueden apreciar tres zonas muy bien definidas: el nivel freático (nivel donde se puede encontrar el cuerpo de agua), la zona de saturación (son los poros o fisuras donde las rocas pueden acumular agua cuando el nivel freático los anega) y la capa impermeable (es el medio por el cual el agua tiene movimiento en varias direcciones).

Calidad de Agua

Según la OMS y otros organismos internacionales, la calidad de agua se resume en las condiciones respecto a las características fisicoquímicas y biológicas del agua, ya sea en su estado natural o posteriormente alteradas (BCN, 2016). En este punto es de interés mencionar el IRCA o lo que es lo mismo, el Índice de Riego de la Calidad del Agua para el Consumo Humano. La idea es que la calidad es óptima cuando el IRCA es cero, para todas las características físicas, químicas y microbiológicas. Por otro lado, si no cumple ninguna de las características para que el agua sea consumible, se le asignará una puntuación de 100.

Caudal

Hace referencia al volumen de agua que pasa por una superficie en un determinado tiempo (Valdivielso, 2016). Esta cantidad de agua se puede aforar (medir) por medio de un molinete y este sistema se denomina directo. Por otro lado, se puede aforar en centímetros, la cantidad de agua que hay sobre el suelo y así determinar el cauce.

También se pueden tener definiciones ampliadas del caudal, como lo puede ser el caudal ecológico. Se define como la cantidad de agua que tiene un río, preservando el río en condiciones adecuadas ambientales; es decir, la cantidad de agua necesaria para mantener el cauce del mismo (Santacruz, 2013). Otra medición del caudal puede ser dada por el Caudal de Diseño, que es la cantidad de fluido para satisfacer los requerimientos hidráulicos (Minvivienda, 2017).

Clarificación

En tiempos de antaño, se utilizaban metodologías como filtración por carbón y tamizado, con el fin de mejorar el aspecto del agua, haciendo que las partículas de tamaño considerable se precipitan para así poder retirarlas. La turbidez no es un problema de apariencia del agua, sino también de salubridad; por tal motivo se comenzó a implementar el proceso de clarificación, con el objetivo de remover los microorganismos y partículas muy finas del agua, mejorando el aspecto y el color del agua; usualmente estos procesos de clarificación se implementan posteriormente de los tratamientos fisicoquímicos. (FLÓREZ, 2010)(Pochteca Costa Rica, 2023).

Coagulante

Proceso que consiste en la adición al agua de sustancias químicas para ayudar con la sedimentación de microorganismos no sedimentable, permitiendo la aglomeración de partículas muy finas y pequeñas, ocasionando la formación más grande y pesadas (RAS, 2000). Por otra parte, esta eliminación de partículas se realiza por medio de la adición de químicos (coagulantes), los cuales logran desestabilizar la partícula o los microorganismos para su precipitación. (Cabrera Bermúdez, Fleites Ramírez, & Contreras Moya, 2009)

Cadena de custodia

Proceso que mantiene una muestra bajo posesión física y control durante su ciclo de vida, es decir, desde que se toma la muestra hasta que se desecha (INS, INS, 2011).

Desinfección

El proceso de desinfección se ha implementado desde principios del siglo XX, con el objetivo de erradicar microorganismos patógenos del agua, sin embargo, los productos desinfectantes asimismo actúan como oxidante de Fe y Mn y eliminando sabor y color. Un desinfectante común utilizado en el tratamiento de agua potable es el cloro, teniendo en cuenta su bajo costo y la eficiencia en agua, proporcionando un nivel mínimo de cloro residual para prevenir la recontaminación microbiana en los tanques de almacenamiento o redes de distribución. (Rodríguez, Rodríguez, & Sadiq, 2007).

Dotación

Es la cantidad de agua que se suministra a una población o a un habitante para su consumo en un cierto tiempo; esta se expresa en litro por habitante por día o en unidades equivalentes (RAS, 2000). La dotación se da a raíz de las necesidades de agua estudiadas en la población; haciendo uso del recurso para calmar la sed, para el lavado de objetos, para el uso personal, entre otras actividades. La dotación no es un valor fijo, debido a que puede alterarse por varios factores, sin embargo, es recomendable analizarlos para poder determinar la dotación necesaria para el proyecto en cuestión (Rodríguez, 2010).

Escherichia Coli (E. Coli)

Es una bacteria presente en el intestino de la mayoría de los seres vivos, de sangre caliente y en los humanos. Esta bacteria cuenta con varias cepas, las cuales algunas son inofensivas. No obstante, otras como la E. coli productora de toxina Shiga pueden desencadenar problemas de salud graves por medio de los alimentos y agua. Dicha bacteria se transmite al ser humano, especialmente por el consumo de agua contaminada fecalmente y alimentos contaminados. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

Adicionalmente, se registran brotes los cuales están coligados al consumo de masas de agua contaminadas por el contacto con heces fecales de animales, ya sean domésticos o salvajes; esta bacteria ha demostrado que puede sobrevivir por meses en las heces de animales y en las masas de agua. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

Floculación

Hay partículas presentes en los cuerpos de agua, esto debido a que erosiona la tierra, hay presencia de minerales y hay descomposición de materia vegetal. Sin embargo, puede incluir materia orgánica, bacterias, algas o virus. La floculación es un proceso químico que se implementa al agua para su debido tratamiento, lo anterior, con el fin de priorizar la eliminación de partículas, por medio de la aglomeración, haciendo que su forma sea gelatinosa, lo que permite aumentar su tamaño y retener las masas en un filtro o sedimentador. (Mazille & Spuhler, 2023)

Muestra

Toma puntual de agua que refleja la composición física, química y microbiológica representativa del momento para el proceso de vigilancia de la autoridad sanitaria (INS, Manual de Instrucciones para la Toma, Prevención y Transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para Análisis de Laboratorio, 2011). El muestreo es un proceso de toma de muestras para ser analizadas en laboratorios con el fin de obtener información sobre la calidad del agua del sitio en que fueron tomadas (INS, Manual de Instrucciones para la Toma, Prevención y Transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para Análisis de Laboratorio, 2011).

pH

Es una forma de expresar la concentración de ion hidrógeno o, más exactamente, la actividad del ion hidrógeno. En general se usa para expresar la intensidad de la condición ácida o alcalina de una solución, sin que esto quiera decir que mida la acidez total o la alcalinidad total. El agua es más ácida cuando hay mayor presencia de iones de hidrógeno, pero, por lo contrario, si el agua tiene mayor presencia de hidróxido indica que es básica. Por otro lado, el pH en su mayoría de veces se ve alterado por fenómenos atmosféricos (lluvia ácida) pero también por los vertimientos de agua residuales o industriales en las masas de agua estudiadas. (IDEAM, DETERMINACIÓN DE pH EN AGUA POR ELECTROMETRÍA, 2007) (UCM, 2023).

Recurso Hídrico

El recurso hídrico hace referencia al agua dulce y salada, presente en aguas continentales, superficiales y subterráneas, sin importar su calidad. Sin embargo, debe estar monitoreada, debido a fenómenos naturales. La administración del recurso hídrico es una de las prioridades más importantes del mundo, sin dejar de lado las cantidades y su distribución, que es hoy una de las prioridades más importantes del mundo. (Cepal, 2022)

Sólidos Suspendidos Totales (SST)

El agua puede tener sólidos suspendidos, las cuales son partículas con un tamaño mayor a 2 micrómetros. Estos sólidos en su mayor parte están compuestos por limos, arenas, plancton, algas y bacterias, los cuales pueden contribuir a definir las concentraciones de SST. Como se mencionó anteriormente, el grado de afectación que generan los sólidos suspendidos respecto a la calidad del agua es bastante relevante, debido a que define la turbiedad del agua y por consiguiente su apariencia. (Cromtek, 2023)

Tratamiento

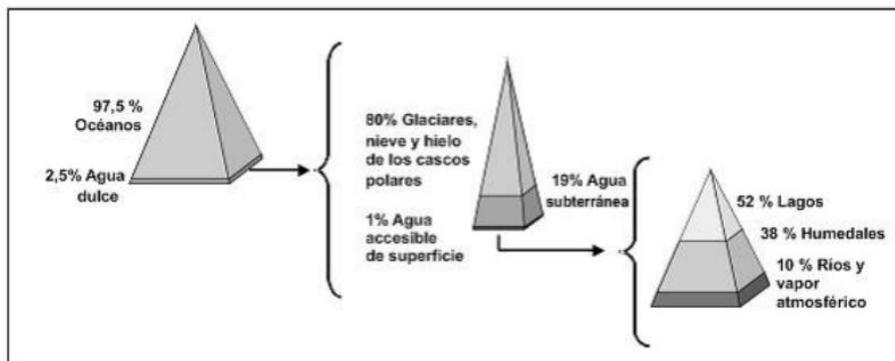
El agua es un elemento natural básico para la supervivencia de los seres vivos, en especial los seres humanos; por tal motivo, acceder a un agua digna y salubre para el consumo humano es un derecho fundamental que todas las personas deberían tener. Sin embargo, hay millones de personas alrededor del mundo que no cuentan con este derecho, enfrentados a desmesuradas dificultades para poder acceder a este servicio. Por tal motivo se implementa un conjunto de procesos que se realizan al agua cruda, con el fin de modificar sus características fisicoquímicas y microbiológicas para que sea apta para el consumo humano, teniendo en cuenta lo establecido en el Decreto 1575 de 2007 y la Resolución 2115 de 2007 (RAS, 2000) (Escuela de postgrado industrial, 2022).

Agua

La molécula agua resulta de la combinación de tres átomos; un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno, esta molécula es aparentemente simple pero extraordinariamente importante para la vida terrestre. (Garrido, 2016).

Su palabra proviene del latín *aqua* y esta cubre el 70 % de la superficie del planeta, se puede encontrar en océanos, ríos, lagos, aire y suelo. Según un estudio de Alicia Fernández Cirelli de 2012, los océanos comprenden casi el 97.5 % del agua del planeta, un 2.5 % es agua dulce, del cual 80 % lo componen glaciares, nieve y hielo, 1 % agua accesible de la superficie y el 19 % restante es agua subterránea (Ver figura 1) (Cirelli, 2012).

Figura 1
distribución del Agua



Fuente: Tomado de *El agua: un recurso esencial* (p. 3), de Alicia Cirelli, 2012, Quimica Viva.

Sin embargo, al día de hoy podemos clasificar el agua como

Agua Cruda

Es aquella que no se ha sometido a ningún tratamiento, por lo tanto, contiene materia orgánica, inorgánica y microorganismos; así como también sabor, olor, color y turbidez. Se pueden encontrar en fuentes hídricas superficiales (ríos, lagos, embalses, canales...) y en aguas subterráneas (pozos, manantiales, surgencias...) (Zarza, 2021).

Agua Potable

El término se aplica al agua cuyas características físicas, químicas y microbiológicas ya fueron alteradas, cumpliendo los parámetros señalados en la resolución 2115 del 2007 en beneficio de garantizar aptitud para el consumo humano sin que se produzcan efectos adversos a la salud (MinSalud, 2015).

Fuentes Hídricas

Una fuente hídrica se refiere al origen del agua (como ríos, embalses, arroyos, manantiales y aguas subterráneas) la cual suministra agua para ser usada temporalmente y luego ser regresada a su origen.

Estas fuentes pueden ser superficiales y subterráneas

Aguas superficiales

Son las aguas que circulan sobre la superficie del suelo. Esta se produce ya sea por la escorrentía a partir de las precipitaciones o por el nacimiento de aguas subterráneas, una vez producida el agua superficial puede presentarse de manera correntosa como el caso de ríos, arroyos o en forma mansa como lagos o embalses. Estas fuentes generalmente proporcionan aguas claras, sin embargo, en épocas de alta precipitación se vuelven un poco turbias, además debido a su alta exposición a la contaminación, estas contienen una gran cantidad de sólidos suspendidos y microorganismos de origen animal (Hilleboe, 2001).

Aguas subterráneas

Es aquella parte de agua que se encuentra en el subsuelo, es decir bajo la superficie terrestre, esta puede ser colectada mediante túneles o galerías de drenaje hacia la superficie mediante manantiales o filtraciones hacia los fluviales (Gálvez, 2011).

Debido a que el agua subterránea permanece en constante movimiento con las rocas, el subsuelo y los minerales fácilmente disuelve sustancias durante su movimiento; debido a lo anterior, las aguas

presentes en el subsuelo presentan mayores índices de dureza que las aguas superficiales, lo cual hace referencia a lavados de depósitos minerales (Medina, 2020).

El agua subterránea es de gran importancia, ya que comprende una masa de agua dulce de todo el planeta, su ubicación es bajo la corteza terrestre por debajo del nivel freático donde los poros se encuentran saturados; esta se almacena en acuíferos con la capacidad de transmitir el agua a la superficie debajo de la tierra (Medina, 2020).

Potabilización del Agua

El agua apta sanitariamente viable para el consumo de los humanos es una de las prioridades de la ingeniería civil, no solo en cuanto a su suministro sino también al tratamiento para su debida purificación.

El agua cruda emana de diferentes fuentes, por tal motivo su tratamiento no es el mismo; pues según sus características físicas, químicas y biológicas determina su respectivo proceso para hacerla apta para el consumo humano. El proceso de potabilización del agua es un tratamiento que se le hace al agua cruda para que esté libre de todo organismo patógeno y evitar el contagio de enfermedades que el agua puede transportar; es decir, que sea biológicamente segura. (Cardenaz & Medina, 2017)

Debido esto se debe identificar la calidad del agua, partiendo desde sus características organolépticas hasta físico-químicas y microbiológicas, con el fin de elegir el proceso de potabilización más viable para cada tipo de agua. (García-Ávila et al., 2023).

Características de la calidad del agua

Físicas

Dichas características del agua son perceptibles gracias a los sentidos del ser humano (gusto, vista y olfato), lo cual permite establecer las condiciones estéticas y su aceptabilidad; pero estas propiedades pueden ser no perjudiciales, sin embargo, esto no es del todo cierto, pues puede haber otras características que impiden al ser humano consumirla por solo percepción llamativa (Gutiérrez, 2013).

Turbidez - Color:

La turbidez ocurre cuando el agua contiene grandes cantidades de sólidos suspendidos, lo cual hace que pierda su transparencia y genere un gran impacto estético, pues a nadie le agradaría consumir agua sucia o que exhiba un color oscuro. El color tiene relación con la turbidez del agua, sin embargo, esta también se produce por la presencia de materia orgánica, metales como hierro o manganeso; sin dejar atrás factores influyentes como el pH y la temperatura.

Olor y sabor:

El olor y sabor del agua son factores importantes a la hora consumirla, no obstante, esta característica ocurre cuando en el agua hay presencia de seres vivos (peces) o compuestos orgánicos fruto de algas o microorganismos. Así mismo, el sabor está determinado en mayor parte por las sales presentes en el agua.

Químicas

Potencial de Hidrógeno pH

Este parámetro determina la alcalinidad o la acidez del agua, su ocurrencia se debe a los cambios de la atmósfera y a las causas del efecto invernadero que al combinarse con el agua se convierten en ácidos, alterando el pH.

Dureza

La dureza es un factor importante a la hora de determinar la calidad del agua, debido a que el consumo de agua dura genera un impacto negativo en la salud de las personas; según la OMS consumir agua dura podría presentar riesgo cardiovascular a largo plazo y en personas con cálculos renales puede ser mortal. Esta característica está presente en el agua cuando hay alcalinotérricos y depende del pH y la alcalinidad. (Aveiga, Noles, De la Cruz, Peñarrieta, Alcántara, 2019).

Alcalinidad

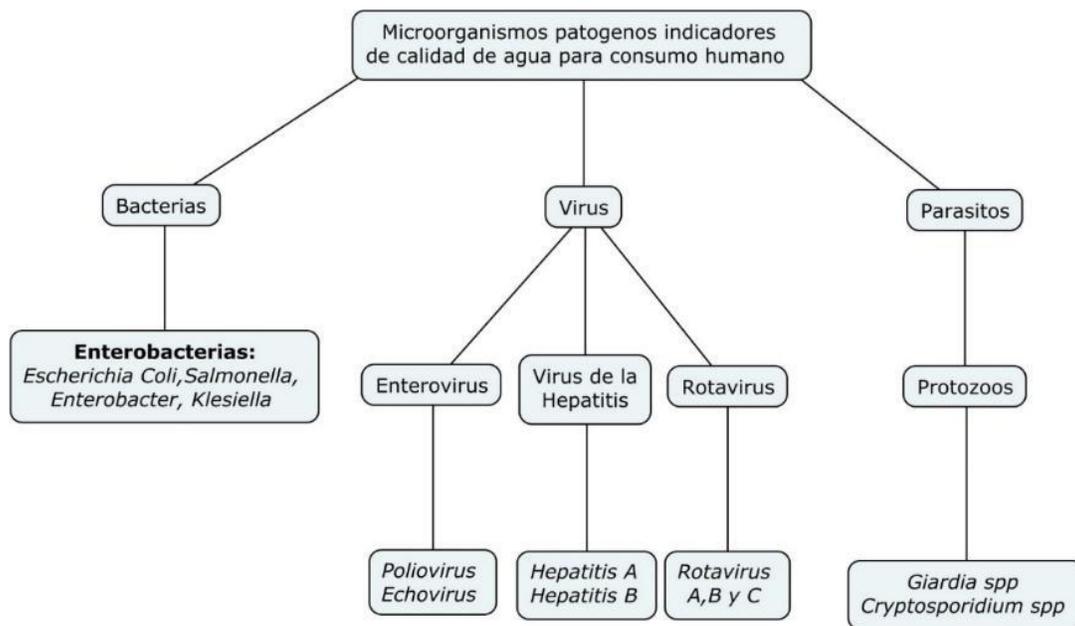
Es la capacidad de neutralizar ácidos; se define como la capacidad amortiguadora del agua para resistir un cambio de pH cuando se añade ácido. Es expresada en miligramos por litro de equivalente de carbonato de calcio (CaCO₃) (IDEAM, pso determinación de alcalinidad por potenciometría, 2005).

Microbiológicas

Es uno de los determinantes primordiales en la calidad del agua, debido a que puede estar en contacto con bacterias, virus, parásitos y hongos, como presenciamos en la Figura 2, esto por la presencia de heces humanas o de animales, como también por efecto directo o indirecto en el medio ambiente y en la población (Industrialización, crecimiento poblacional, pobreza, urbanización no controlada) generando un incremento en la turbidez, color, olor y mal sabor del agua (Ríos-Tobón eju yt al., 2017).

Figura 2

Principales microorganismos bioindicadores de calidad de agua para consumo humano.



Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Coliformes Totales

Son un gran grupo de microorganismos que se encuentran normalmente en el suelo y el agua superficial, estos microorganismos suelen denominarse “organismos indicadores”, ya que indican la presencia de bacterias que son potencialmente causa de enfermedades vehiculadas por el agua (Swistock, 2020).

Coliformes Fecales

Son un subgrupo de bacterias de los coliformes totales, así como también lo son E.coli ; estas bacterias se generan en el tracto intestinal de los animales, incluidos los humanos. Es decir, que se necesita un análisis más efectivo para poder determinar si es contaminación por aguas residuales o por desechos de animales (Swistock, 2020).

Estreptococos y Entero cocos Fecales

Es una bacteria Gram positiva, la cual es otro indicador de organismos patógenos en el agua, ya que se consideran muy resistentes a condiciones adversas. Sin embargo, lo utilizan para determinar la relación entre coliformes fecales de humano o animales por medio del cociente propuesto en la ecuación 1 por Geldreich y Kenner.

Ecuación 1

coeficiente propuesto por Geldreich y Kenner

$$\frac{\text{Coliformes Fecales}}{\text{Estreptococos Fecales}}$$

Fuente: Elaboración Propia, 2023

Plantas de tratamiento

Según Romero (1999) la calidad del agua cruda depende en mayor parte de la fuente hídrica, por tal motivo el tratamiento para producir agua potable también cambia.

Dependiendo de la calidad de agua cruda se selecciona el tratamiento del agua, ya que el grado de complejidad es diferente para cada fuente; sin embargo, para el diseño de una planta de tratamiento es necesario un estudio preliminar de ingeniería cuidadoso y exhaustivo teniendo en cuenta la calidad de la fuente para así seleccionar los procesos y operaciones más económicos y adecuados para producir agua de calidad según requerimientos (Rojas, 1999).

Aunque no existe una fórmula o norma específica para establecer algún tipo de planta de tratamiento de agua potable (PTAP) se necesita realizar un estudio de trazabilidad para determinar las características del agua en cuestión. Entonces, una PTAP es un conjunto de estructuras en las que se lleva a cabo una serie de procesos eficientes en los cuales se trata el agua en un periodo de tiempo, obteniendo como resultado agua pura y de buena calidad; es decir, sin ningún tipo de microorganismos causales de enfermedades gastrointestinales, cumpliendo los parámetros establecidos por la resolución 2115 de 2007 y el IRCA (Rojas, 1999). (Ortiz Rodríguez et al., 2016).

El objetivo de una PTAP es reducir y eliminar las concentraciones biológicas, físicas, químicas y radiológicas que sean nocivas para la salud, integrando de forma económica las operaciones requeridas para satisfacer la demanda y mejorar la calidad de vida de las personas siendo una planta confiable y eficiente (Cortés & Fajardo, 2015).

Tipos de Plantas de tratamiento de agua potable (PTAP)

Los tipos de plantas que existen se clasifican según los procesos que la conforman; es decir, plantas convencionales, plantas compactas, plantas presurizadas, plantas abiertas modulares y plantas de osmosis inversa.

Planta Convencional

Es el sistema de potabilización más antiguo en el medio, se ha venido utilizando desde el siglo pasado (1910-1920). Se caracteriza principalmente por el gran tamaño en las unidades de operación, principalmente en el sedimentador rectangular de flujo horizontal (Ver Figura 3) (Saavedra, 2019).

Figura 3

Planta de tratamiento de agua potable convencional



Fuente: Tomado de *Tratamiento de agua para consumo humano* (p. 110), de Lidia de Vargas, 2004, Cepis.

Las plantas de tratamiento de agua potable convencionales se caracterizan básicamente porque cada proceso ocurre en una estructura diferente, incluyendo todos los procesos coagulación, mezcla rápida, floculación, sedimentación, clarificación, filtrado y desinfección; teniendo la capacidad de remover turbiedad, sedimentos, microorganismos, dureza, olor y color siendo los tiempos de residencia muy altos (Ver figura 4) (Acuatecnica, 2018).

Figura 4
PTAP convencional Yopal-Casanare



Fuente: Plantas de tratamiento de agua potable, de Carolina Campos, 2016.

Planta Compacta

Es una unidad la cual es prefabricada y pre ensamblada desde fábrica, esta planta reduce el área de instalación en sitio, disminuye peso y volumen y no menos importante disminuye costos. Sin embargo, es una planta muy sencilla, lo cual facilita la fase de instalación y operación; además, estas plantas son ideales y muy comunes para ciudades y municipios con poblaciones pequeñas como la de la vereda, el floral que aproximadamente tiene 120 habitantes (Vargas A. C., 2019).

Estas plantas de potabilización de agua se caracterizan porque sus procesos unitarios de tratabilidad como coagulación, floculación y sedimentación ocurren en una misma unidad, para luego enviarla a los filtros y desinfección, los tiempos de residencia en este tipo de plantas son bajos (Colombia, 2018).

Figura 5
Planta de tratamiento compacta



Fuente: Tomado de Plantas de tratamiento de agua potable PTAP, de Carolina Ramos, 2016, (Plantas De Tratamiento De Agua: Plantas De Tratamiento De Agua Potable En Colombia, n.d.).

Marco Geográfico

Melgar localizado en el departamento del Tolima (Ver Figura 6) es un municipio catalogado popularmente como la puerta de oro del turismo en el centro del país, además de eso gracias, posición geográfica en el territorio nacional, este brinda un clima cálido en lo que se resalta un bosque tropical seco. Por otro lado, Melgar se beneficia de varios afluentes y sus principales fuentes hídricas se relacionan en la tabla 1 (Manrique et al., n.d.).

Figura 6
Georreferenciación de Melgar en el Tolima



Fuente: Tomado del Mapa del Municipio de Melgar, Tolima (Colombia), de Milenioscuro, 2012.

Tabla 1
Principales fuentes hídricas de Melgar

ITEM	FUENTE HÍDRICA
1	Río Sumapaz
2	Quebrada la Melgara
3	Quebrada las Águilas

Fuente: Elaborado a partir del Plan de Contingencia Municipal Simplificado en Incendios Forestales, por CMGRD,2021 (CMGRD, 2021).

De acuerdo a la información general del municipio se detalla:

Tabla 2
Información general del municipio de Melgar

MUNICIPIO DE MELGAR				
Área Total (km ²)		Población Total (Aprox.)	Altura sobre el nivel del mar	Temperatura Promedio
201				
Área Urbana (km ²)	Área Rural (km ²)	37224 habitantes	323	28 °C
16	185			

Fuente: Elaborado a partir del Plan de Contingencia Municipal Simplificado en Incendios Forestales, por CMGRD,2021 (CMGRD, 2021).

Haciendo referencia a la economía de Melgar, la base del desarrollo económico se centra en el turismo, además de la ganadería, la agricultura, la porcicultura y la pesca. Sin embargo, la administración del municipio tiene como prioridad vigorizar la imagen turística, resaltando la cultura y el folclor.

En la tabla 2 como segunda instancia se presenta información secundaria del municipio:

Tabla 2
límites y distancias de referencia de Melgar

MUNICIPIO DE MELGAR			
Límites del Municipio		Distancias de Referencia	
Norte	Departamento de Cundinamarca	Bogotá	116 km
Sur	Municipio Cunday		
Oriente	Municipio de Icononzo	Ibagué	87 km
Occidente	Municipio de Carmen de Apicalá		

Fuente: Elaborado a partir del Plan de Contingencia Municipal Simplificado en Incendios Forestales, por CMGRD, 2021 (CMGRD, 2021).

La zona de interés para la realización del presente proyecto se encuentra ubicada en la Vereda El Floral, el cual beneficiará a más de 20 familias con agua apta para el consumo humano, como se presenta en la Figura 7.

Figura 7
Ubicación Vereda El Floral en el municipio de Melgar



Fuente: Tomado de Ubicación Vereda El Floral en el municipio de Melgar, de Map data © OpenStreetMap contributors, 2012, (<https://visor.codigopostal.gov.co/472/visor/?lang=es>) CC BY-SA.

Marco Legal

El agua es de gran importancia, debido a que es el recurso vital en la tierra no solo para consumo humano, sino también para el desarrollo de una gran cantidad de actividades económicas y para la buena salud de los ecosistemas, por tal motivo Colombia lo reconoce mediante la sentencia T-740/11 de la corte constitucional la cual establece el acceso a ella como derecho fundamental disponiendo de agua suficiente, salubre, aceptable, accesible y asequible (T-740-11 Corte Constitucional de Colombia, n.d.).

Colombia establece una extensa variedad de normativas como se presenta en la tabla 5, las cuales están enfocadas en la regulación, protección y control de la calidad de agua, además de instaurar lineamientos técnicos respecto al control y vigilancia con el objetivo de prevenir riesgos en la salud.

Tabla 3
Relación normativa para la viabilidad del proyecto

Norma	Artículo	Descripción
Constitución Política de Colombia 1991	1	Colombia es un Estado social de derecho, fundado en el respeto de la dignidad humana, en el trabajo y la solidaridad de las personas que la integran y en la prevalencia del interés general (Constitución Política de Colombia, 1991).
Derechos Colectivos	79	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano (Constitución Política de Colombia, 1991).
Decreto 1575 de 2007		Es el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud causados por el consumo de agua (MADS, 2007).
Resolución 2115 de 2007		Por medio del cual se establecen las características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano (MAVDT, 2007).
Resolución 0330 de 2017		Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (MVCT, 2017).

Fuente: Elaboración Propia, 2023

Objetivos

General

Evaluar alternativas para el Tratamiento del Agua Potable (PTAP) para la población de la vereda El Floral, ubicada en el municipio de Melgar-Tolima teniendo en cuenta su costo/beneficio.

Específicos

- Recopilar y analizar información sobre las posibles tecnologías de Sistemas de Potabilización de Agua para la Vereda El Floral.
- Diagnosticar la zona de estudio para reconocer el estado del terreno y el agua.
- Evaluar la calidad del agua en la fuente hídrica de la zona en estudio, abarcando características físicas, químicas y microbiológicas, según los parámetros aceptados por la Resolución 2115 del 2007 y el IRCA.
- Proponer la alternativa más adecuada según costo/beneficio para la potabilización del agua de la vereda El Floral.
- Diseñar esquemáticamente el tipo de planta de tratamiento de agua potable más apropiada para el sistema de potabilización sugerido para la vereda El Floral.

Justificación

El presente trabajo de grado se encuentra directamente relacionado con la línea de investigación de Hidrotecnia y Ambiente de la facultad de ingeniería civil, toda vez en este trabajo estamos hablando de la alternativa más viable para el tratamiento de agua que consume la vereda el Floral, con el fin de hacer el agua apta para el consumo de la población.

A nivel mundial el agua es un recurso fundamental e indispensable, por tal motivo la Organización mundial de las Naciones Unidas (ONU) lo toma como uno de sus objetivos de desarrollo sostenible (ODS) siendo el N.º 6 de los objetivos, el cual hace referencia a “Garantizar el acceso al agua potable y saneamiento básico para todos”, esto con el fin de, cumplir el objetivo de que para el 2030 todas las personas cuenten acceso equitativo y sostenible al agua potable (ONU, 2023).

Cabe resaltar que, en Colombia, aproximadamente 3.2 millones de personas no cuentan con acceso al agua potable, lo cual hace referencia al 7 % de la población a nivel nacional, problemática que aumenta en el sector rural.

Asimismo, el agua limpia, potable y segura es un factor importante respecto a garantizar una vida sana y de calidad, siendo el pilar de la civilización, de acuerdo con el estudio realizado por el Instituto Nacional de Salud (INS, 2014), el agua en condiciones inadecuadas de potabilidad genera enfermedades graves para las personas como: EDA, Hepatitis A, Fiebre tifoidea y paratifoidea, siendo estas transmitidas por el agua (INS, 2015).

Por tal motivo, este proyecto es importante, ya que en la vereda El Floral hay una población de más de 100 habitantes, teniendo en cuenta la población flotante, que consumen agua no apta para consumo humano, es decir, no cumplen al 100 % la calidad que exige la Resolución 2115 de 2007 para que sea potable. Si proclamamos que el acceso al agua limpia, potable y segura fundamenta un derecho humano básico, es responsabilidad de todos facilitar el apoyo, la orientación y la infraestructura para poder lograr el objetivo de desarrollo sostenible N.º 6 (ODS). De acuerdo a lo anterior, esta investigación propende porque la calidad de vida de los habitantes mejore en razón a la potabilización del agua, ya que al momento de la creación de esta planta de tratamiento de agua potable se obtiene como resultado mejor calidad de vida para la población de la vereda El Floral siendo una proyección social que podría llevar a cabo la Universidad Antonio Nariño indirectamente a través de la ejecución de este trabajo de grado; por esta razón es que se justifica este proyecto de investigación.

Metodología

Partiendo de la premisa que esta investigación es de carácter cualitativo, toda vez, no se basa en modelos matemáticos o estadísticos, sino más bien, en lo experimental y descriptivo de cada una de las actividades que se realizaron para poder evaluar correctamente las alternativas y poder sugerir la alternativa más adecuada para el tratamiento del agua en la vereda el Floral, con base en el costo beneficio de la solución.

La investigación se ejecutó en las siguientes fases, con las cuales se pretendió lograr un cumplimiento del 100% de los objetivos del proyecto. Cada una de las actividades realizadas obedece a un estricto plan de ejecución, como se muestra a continuación:

Fase 1: Planeación.

La fase de planeación de este proyecto consiste en identificar la posición georeferencial y la hidrografía del municipio y de la Vereda El Floral.

- Identificar la georreferenciación y la hidrografía de la zona en estudio para así establecer las cuencas a las cuales pertenecen las fuentes hídricas (quebradas) de su alrededor.

Fase 2: Exploratoria.

La fase exploratoria consiste en la recopilación de información por medio de visitas de campo de la zona de estudio; además de eso, se debe realizar visitas a entidades territoriales con el fin de adquirir información técnica y antecedentes del sitio.

- Reconocer las condiciones actuales del acuífero y su sistema de captación.
- Identificar las condiciones del terreno y su topografía.
- Identificar y caracterizar la fisiografía y geología rural del municipio de Melgar.
- Recolectar información sobre la climatología y meteorología de la zona en estudio.

Fase 3: Análisis de la calidad del agua.

Para la fase de análisis de la calidad del agua se realizó un muestreo In situ en puntos específicos como en el acuífero (nacimiento de agua) y en la salida de la llave de uno de los consumidores. Para posteriormente ser analizado en el laboratorio y así poder identificar los parámetros físico-químicos y microbiológicos que determinan la calidad del agua y su posible consumo, todo esto regidos bajo la normativa vigente en Colombia (Resolución 2115 de 2007 - IRCA).

- Definir una correcta cadena de custodia para el muestreo.
- Recolectar adecuadamente las dos (2) muestras en los puntos ya establecidos anteriormente (acuífero y salida de la llave de un consumidor) de la vereda, el Floral.
- Analizar debidamente las muestras recolectadas y obtener los respectivos resultados de los físico-químicos y microbiológicos de la calidad del agua de la vereda El Floral.

Fase 4: Evaluativa.

Esta fase consiste en la verificación del cumplimiento de la norma vigente en Colombia, es decir, la Resolución 2115 de 2007 en relación con los parámetros que deben ser medidos. Por otro lado, se evalúan los índices de riesgo de la calidad del agua, para el análisis de que los suscriptores consumen agua sin ningún riesgo sanitario, es decir, apta para el consumo humano.

- Realizar la comprobación del cumplimiento de la resolución 2115 de 2007 y el IRCA.

Fase 5: Identificar la alternativa más viable para el tratamiento del agua de la Vereda El Floral.

- Identificar los criterios que se tendrán en cuenta a partir de los resultados obtenidos en el análisis del agua en el laboratorio.
- Seleccionar los criterios analizados con el fin de poder clasificar y elegir la alternativa más adecuada, según las expuestas anteriormente.
- Se implementará el proceso analítico jerárquico (AHP) y el método de la matriz multicriterio Pugh, como herramienta para la toma de decisiones y así seleccionar la mejor opción para el tratamiento del agua; por tal motivo se realizará la construcción de la matriz, la ponderación y la obtención de los resultados.

Fase 6: Diseño esquemático de la planta de tratamiento de agua potable, seleccionada a partir de la matriz de Pugh.

Una vez, se tuvieron los resultados a partir del análisis de la matriz multicriterio, se realizó un diseño esquemático del tipo de planta de tratamiento de agua potable más adecuada para la población de la vereda El Floral, abarcando el proceso de potabilización del agua que sea necesario para un consumo saludable. Todo bajo los parámetros del decreto 1575 y en la resolución 2115 del 2007. **Ver Figura 8**

Figura 8
Diagrama Metodológico



Fuente: Elaboración Propia, 2023

Análisis y Resultados

Identificación Georeferencial e Hidrográfica del Municipio y de la vereda El Floral.

El municipio de Melgar ubicado al Sur-Oriente del Tolima, perteneciente a la cuenca del río Sumapaz y la cuenca del río Cunday, cuenta con una altitud de 323 m s. n. m, y una posición georeferencial como se muestra en la Tabla 4. Adicionalmente, el municipio se encuentra organizado de tal forma que su zona rural la comprenden 24 veredas Ver Tabla 5(CMGRD, 2021).

Tabla 4
Posición Georeferencial de Melgar.

Latitudinalmente	Longitudinalmente
Extremo Sur 4° 12' 14" LN	Extremo Oriente 74° 38 ' 34"
Extremo Norte 4° 48 52' LN	Extremo Occidente 75° 4' 47"

Fuente: Elaborado a partir del Plan de Contingencia Municipal Simplificado en Incendios Forestales, por CMGRD,2021 (CMGRD, 2021).

Tabla 5
veredas de la zona rural del municipio de Melgar Tolima.

VEREDAS					
1	La Reforma	9	Guacamayas	17	Buenavista
2	Tokio	10	Bombote	18	El Floral
3	Malachi	11	Ceboruco	19	Inali
4	El Salero	12	La Cajita	20	Veraguas
5	La Primavera	13	Alto de la Palma	21	La Siberia
6	La Apicala	14	Calcuta	22	San Cristóbal
7	San José	15	Cualamana	23	El Águila
8	Las Palmas	16	La Arabia	24	Águila Alta

Fuente: Elaborado a partir del Plan de Contingencia Municipal Simplificado en Incendios Forestales, por CMGRD,2021 (CMGRD, 2021).

En cuanto a la hidrografía del municipio y de la vereda, la totalidad del drenaje pertenece a la cuenca del río Magdalena, el cual lo hace a través de las sub cuencas del río Sumapaz y Cunday; sin embargo, en la vereda se identificaron diferentes quebradas como se observa en la figura 9 de las cuales se surte la comunidad mediante un pequeño acueducto veredal siendo perteneciente a la microcuenca de la

Figura 16
Nacimiento de Agua de la vereda “El Floral”

A



B



C



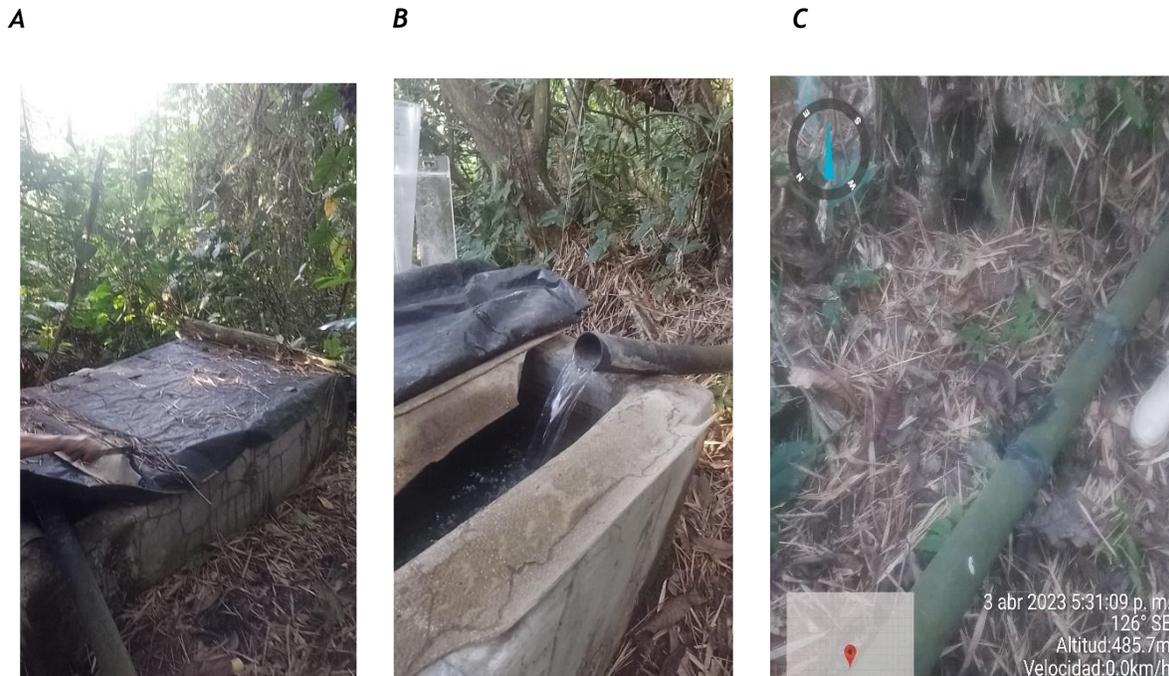
Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Figura A: Nacimiento de la vereda El Floral en vista general. **Figura B:** Vista específica de donde brota el agua. **Figura C:** Vista de la vegetación alrededor del nacimiento.

Por otra parte, también se observaron y determinaron datos técnicos y estado actual de la línea de conducción, el tanque de almacenamiento y distribución presentados en la **Figura 17** y en la **Tabla 8**.

Figura 17

condiciones y Estado Actual de la Línea de Conducción y el tanque de Almacenamiento y Distribución



Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Figura A: Vista panorámica del tanque de almacenamiento y distribución. **Figura B:** Vista de la desembocadura de la línea de conducción. **Figura C:** Estado de la línea de conducción.

El tanque de almacenamiento y distribución de la Vereda El Floral, fue construido hace más o menos unos 20 años, sin embargo, hace poco fue pañetado por los habitantes de la vereda, los cuales cada 6 meses le hacen mantenimiento, ya sea de lavado o resane de fugas; así mismo la línea de conducción que como se puede observar en la figura anterior está bastante deteriorada; su material es de polietileno y cuenta con unas dimensiones presentadas en la **Tabla 8**.

Tabla 6
dimensiones del Tanque de Almacenamiento/Distribución y de la Línea de Conducción

DIMENSIONES							
	Longitud (m)	Ancho (m)	Alto (m)	Diámetro (In)	Material	Área Total (m2)	Volumen Total (m3)
Tanque de Almacenamiento y Distribución	2.50	1.50	1.20	N/A	Concreto/reforzado	3.75	4.5
Línea de Conducción	7.0	N/A	N/A	3"	Polietileno	N/A	N/A

Fuente: Elaboración Propia, 2023

Datos básicos y capacidad de diseño

Un sistema de potabilización depende, en gran parte, del caudal necesario para poder suplir la necesidad de la población de la vereda El Floral. Por tal motivo, y teniendo en cuenta la información brindada por la Junta de Acción Veredal (JAV) en cuanto a los habitantes de la vereda (**Tabla 9**), se realizó el cálculo de la población proyectada a 25 años y su caudal de diseño.

Dicha población proyectada, fue calculada por tres métodos diferentes: aritmético, geométrico y exponencial, para así poder analizar los resultados y seleccionar el método más apropiado.

Tabla 7
Censo Poblacional Junta de Acción Veredal

Año	Población
2015	12
2018	15
2020	18
2023	20
2048	37

Fuente: Elaboración Propia a partir de *Base de datos de la Junta de Acción Veredal de la Vereda El Floral*, por, 2023.

Tomando como base la información brindada por la JAV y analizando los resultados de la población proyectada para los próximos 25 años, se obtiene una población de 37 habitantes para el 2048, un consumo diario de 150 L/Hab*día, siendo de complejidad alta según la Resolución 0330 de 2017 y con unas pérdidas del 25 %. Se obtuvo un caudal medio diario (Qmd) de 0.085 L/s, pero según la resolución 0330 de 2017, para una mayor capacidad y si se cuenta con un tanque de almacenamiento, se determina a partir del caudal máximo diario (QMD) el cual es de 0.119 L/s, teniendo en cuenta el coeficiente de

consumo máximo diario. Esto con el fin de que la planta diseñada pueda tener la capacidad de surtir la población de la vereda El Floral durante los próximos 25 años. En la **Tabla 10** se presentan los datos básicos resumidos para el diseño del sistema de potabilización anterior a detalle.

Tabla 8
datos Básicos para el Diseño del Sistema de Potabilización

Datos Básicos	
Dotación Neta (L/Hab*día)	150
% Pérdidas (%)	25
Número de usuarios (Hab)	37
Coef. Consumo máximo diario (K_1)	1,4
Dotación Bruta (Db)	200
Caudal (Qmd) (L/s)	0,085
Caudal (Qmd) (m^3/s)	0,000085
Caudal (QMD) (L/s)	0,119
Caudal (Qmd) (m^3/s)	0,000119

Fuente: Elaboración Propia, 2023

En el **Anexo A** se presentan los cálculos a detalle, que explican los datos anteriormente mencionados.

Si bien se realizó la visita al acuífero y al tanque de almacenamiento y distribución de la vereda, se solicitó que la visita fuera guiada por un miembro o persona que se surte de dicha agua, adicionalmente se aprovechó para realizar la medida del caudal actual; dicha medida fue tomada de acuerdo al método de aforo volumétrico; que según Lucio Burbano & Huego Erazo *“El método volumétrico es excelente en trabajos experimentales de laboratorio, también para corrientes pequeñas especialmente en zonas de ladera, en donde los caudales son de poca magnitud y el relieve ayuda para producir la descarga”* (Burbano & Herazo, 2000).

Este método consiste en utilizar un recipiente con volumen conocido, para así recolectar el agua que sale de la tubería de conducción y al mismo tiempo contabilizar el tiempo en el cual se tarda en llenar el recipiente en su aforo total, esta prueba se realizó 3 veces en la tubería que lleva el agua de la bocatoma del acuífero al tanque de almacenamiento como se observa en la **Figura 18**, en la **Tabla 11** se relacionan los resultados obtenidos.

Figura 18
Fotografía método de Aforo Volumétrico



Fuente: Elaboración Propia, 2023. **Figura A:** Recipiente para la medida del caudal. **Figura B:** Llenado del recipiente y toma del tiempo que tarda en llenarse. **Figura C:** Toma de la medida total del agua.

Tabla 9
Recolección de Datos método de Aforo Volumétrico

Método Volumétrico - Datos Recolectados en Campo		
Prueba	Vol. Aforado del recipiente (L)	Tiempo de aforo (s) Pruebas
1	10	15,30
2	10	15,29
3	10	15,30
TOTAL, PROMEDIO		15,30

Fuente: Elaboración Propia, 2023

Teniendo en cuenta los datos de la tabla anterior y de acuerdo a la ecuación 2, se realizó el cálculo del caudal del que se abastece la vereda El Floral, además de eso se realizó la comparación del caudal de diseño vs. el caudal actual (**Tabla 12**), por medio del cual se logró establecer que la vereda cuenta con una demanda de agua suficiente para abastecer las necesidades de la comunidad y abastecer la PTAP.

Tabla 10
Comparación del Caudal de Diseño Vs. Caudal Actual

Caudal de Diseño (L/s) Vs. Caudal Actual (L/s)	
0,119	0,653

Fuente: Elaboración Propia, 2023

Condiciones del Terreno y su Topografía.

En el sector Sur-occidental del municipio de Melgar, donde se encuentra ubicada la vereda El Floral, se caracteriza por tener escasez de agua, principalmente en las partes más bajas de la vereda, las cuencas hidrográficas están considerablemente afectadas por la tala de árboles y quema de bosque. Adicional a esto, parte de su territorio muestra terrenos montañosos con pendientes fuertes y ondulados con pendientes entre 7 -12 % moderadamente inclinadas (Oliveros et al., 2015).

Sin embargo, por medio de datos tomados en campo se pudo establecer que la ubicación propuesta pertenece a un terreno moderadamente ondulado, lo cual es ideal para evitar grandes cantidades de movimiento de tierras, para la generación de pendientes predominantes. Además, se tomaron las coordenadas de la zona en estudio y de sus estructuras actuales, así como, también las respectivas alturas sobre el nivel del mar, esto mediante un GPS y un altímetro, (Tabla 13 y Figura 19). A partir de ello se creó un perfil topográfico con el fin de evidenciar e interpretar las elevaciones desde la bocatoma del acuífero hasta el punto de proyección de la PTAP, y de la PTAP a la comunidad (Anexo B).

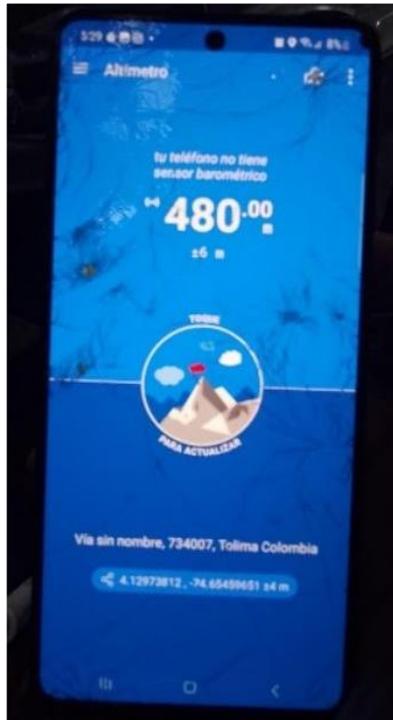
Tabla 11
coordenadas Acuífero y Tanque de Almacenamiento.

Elevaciones		Coordenadas	
Acuífero	Tanque	Acuífero	Tanque
480 m.s.n.m	478 m.s.n.m	4° 12' 97,38" N	4° 07' 47,42" N
		74° 65' 45,96" W	74° 39' 23,01 W

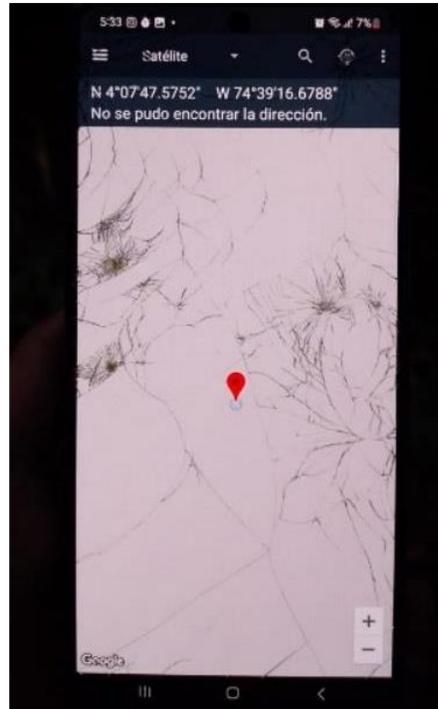
Fuente: Elaboración Propia, 2023

Figura 19
elevaciones y Coordenadas

A



B



Fuente: Elaboración Propia, 2023. **Figura A:** Elevación m.s.n.m del acuífero. **Figura B:** Coordenadas, acuífero.

Según el **Anexo B**, es importante mencionar que estos perfiles de elevación permiten ilustrar que la ubicación de la PTAP tiene la capacidad de suministrarle agua a la mayoría de la población de la vereda EL Floral, debido a que la misma está a una elevación mayor; por tal motivo logra que el agua sea distribuida sin necesidad bombeo. Se determinó que para el tramo Manantial / PTAP la inclinación promedio es 9.5% de, y la inclinación para el tramo PTAP/Comunidad la inclinación máxima es de 11.8% y la inclinación promedio de 8.9%.

Fisiografía y Geología Rural del municipio de Melgar.

En el municipio de Melgar, se han presentado varios accidentes tectónicos los cuales han aportado para el moldeamiento de varias áreas de sedimentación en el departamento del Tolima, por tal motivo el municipio se encuentra ubicado dentro de las áreas denominadas por INGEOMINAS como Valle superior del río Magdalena y Sinclinal de Carmen de Apicalá (Plan De Desarrollo Municipal “Somos La Gente Que Quiere La Gente” Diagnóstico Municipal Estadísticas Básicas Reseña Histórica, 2004).

Esta zona rural cuenta con alrededor de catorce mil metros de sedimentos desde el Cretáceo inferior hasta el Cuaternario; sin embargo, la geología reconocida en la zona rural del municipio se presenta en la **Tabla 14** y **Figura 19-D**.

Tabla 12
unidades Geológicas

EDAD	FORMACIONES	LITOLOGÍA
Cretáceo	Grupo Olini Lidita Inferior Nivel de Lutitas Lidita Superior Grupo Guadalupe	Chert, liditas y limolitas y lodolitas Limolitas calcáreas
	Formación Arenisca Dura Formación Tabla	Cuarzoarenitas Arenitas de cuarzo
Terciario	Grupo Gualanday Superior Medio Inferior	Conglomerados y Lodolitas
Cuaternario	Depósitos Coluviales Depósitos Aluviales	Sedimentos coluviales Sedimentos aluviales

Fuente: Elaboración Propia a partir de *Estudio Hidrogeológico del área Cafam-Melgar, Tolima*, por Ingeominas, 1989 (Martínez & Cerón, 1989).

Figura 19-D

Depósitos de terrazas Aluviales



Fuente: Consorcio Tolima Ambiental. Actualización POMCA. 2017

Figura 19-F

Conglomerados



Fuente: Consorcio Tolima Ambiental. Actualización POMCA. 2017

Figura 19-G

Depósitos Coluviales



Fuente: Consorcio Tolima Ambiental. Actualización POMCA. 2017

Figura 19-H

Depósitos aluviales recientes asociados a la dinámica de los ríos.



Fuente: Consorcio Tolima Ambiental. Actualización POMCA. 2017

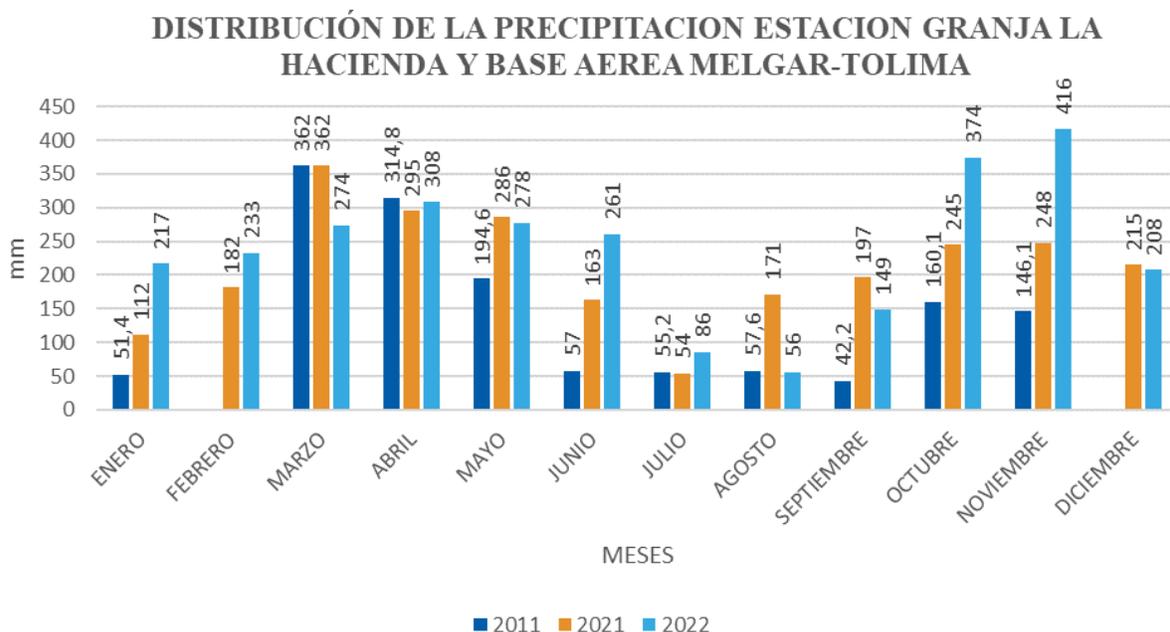
El municipio de Melgar cuenta con 335,25 km² de los cuales 2.44 km² pertenecen a la vereda El Floral, constituyendo el 90% aproximadamente de piso térmico cálido, y el 10% restante a piso térmico templado, además de eso la mayor parte del territorio cuenta con una fisiografía plana o ligeramente ondulada. (CMGRD, 2021a).

Recolección de datos climatológicos y meteorológicos.

Debido a la geología encontrada en el municipio y los pisos térmicos que se relacionan en él, Melgar cuenta con temporadas secas que son extensas y temporadas de lluvia que son considerablemente cortas, su clima se torna seco durante el año y la temperatura varía entre los 28 °C y 34 °C. (CMGRD, 2021a).

Según datos del IDEAM, Melgar cuenta con 4 estaciones hidrometeorológicas: Base Aérea Melgar (21195080), Diamante (2119010), Granja la Hacienda (21190410) y Salero (21190300); pero actualmente solamente la estación Granja la Hacienda está registrando datos de precipitación mensual, los cuales son presentados en la **Tabla 15 en el Anexo C.**

Figura 20
Información Climatológica Melgar-Tolima



Fuente: Elaboración Propia a partir de *Consulta de datos Hidrometeorológicos*, por Ideam, 2023. (IDEAM, 2023).

A partir de los datos registrados en la **Tabla 15** presentada en el **Anexo C**, se realizó el anterior histograma para su análisis, (**Figura 20**) en el cual se puede evidenciar el nivel de precipitación anual del municipio de Melgar; en el 2011 se tomaron datos de la estación Base Aérea que en el momento se encuentra suspendida y en el 2021 - 2022 se tomaron datos de la estación Granja la Hacienda la cual en la actualidad está activa. Analizando los registros, observamos que la época de sequía o verano se sitúa entre julio y septiembre para los tres periodos anuales, mientras que la época de lluvia cuenta con dos picos máximos; el primero comprende los meses de octubre y noviembre y el segundo comprende los meses entre marzo y mayo según datos del IDEAM. Además de eso, también se concluyó que la precipitación siempre ha sido literalmente constante, sin importar los diez años del 2011 al 2021.

Cadena de Custodia para el muestreo.

Se realiza la caracterización del agua que consume la población de la vereda El Floral, Melgar, por medio de toma de muestras correspondientes a los puntos anteriormente mencionados (Nacadero - Grifo de un consumidor)(**Figura 21**) ; sin embargo, se realizó el adecuado protocolo para dicha actividad, lo cual consistió en clasificar los envases adecuadamente para cada análisis; es decir para los análisis fisicoquímicos se utilizaron envases de: vidrio, vidrio ámbar y plástico estos deben ser de seguridad con tapa rosca para un cierre hermético; los envases de plástico deben ser de material de policarbonato, polietileno o teflón y si es posible que sean oscuros para evitar reacciones fotosensibles en la muestra. Para los análisis microbiológicos se utilizaron envases de vidrio estéril y plástico, estos de boca ancha y tapa rosca metálica o plástica que garantice un cierre hermético para evitar fugas de agua, al momento

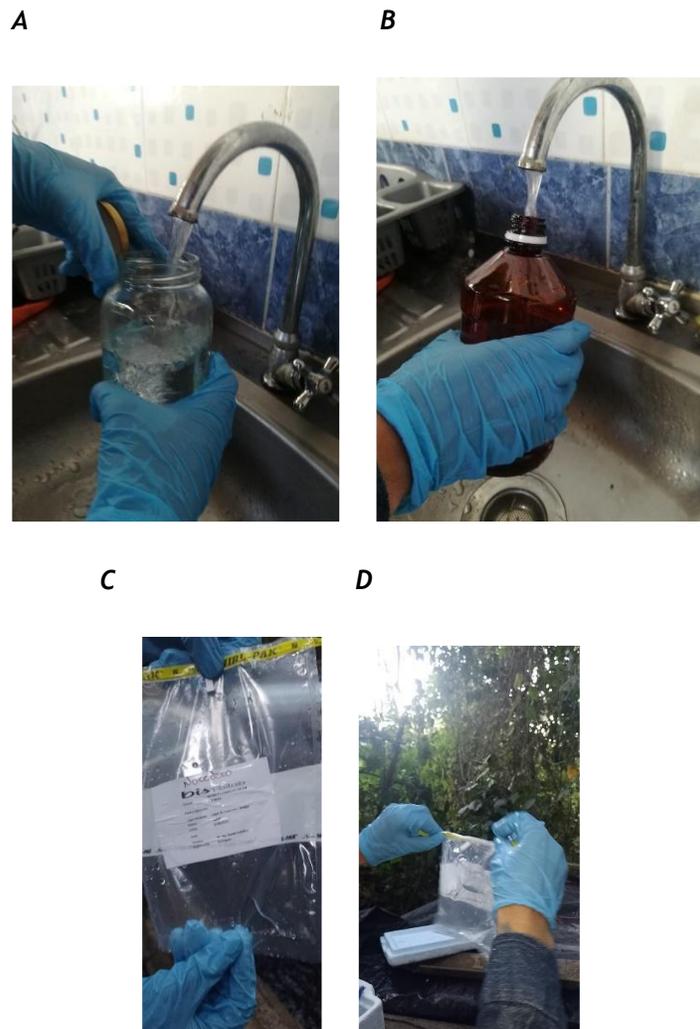
de la toma de la muestra se debe dejar un mínimo espacio para garantizar la supervivencia de los microorganismos (Figura 22).

Para los análisis fisicoquímicos se le debe hacer previamente una limpieza a los envases con agua y jabón con el fin de remover residuos y polvo; así como también se debe garantizar una limpieza con ácido sulfúrico. De igual manera, para los envases de análisis microbiológicos se deben esterilizar con anterioridad empleando la técnica en seco con un horno a 180 °C durante una (1) hora. (Figura 22).

La toma de muestras se realizó el día 03 de abril de 2023 en el grifo de un consumidor a las 15:40 horas y en el nacedero a las 17:00 horas, cumpliendo los protocolos de la cadena de custodia; es decir, manteniendo las muestras refrigeradas a 4 °C y las necesarias con adición de preservantes (ácido sulfhídrico y ácido nítrico) garantizando la conservación de las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, esto desde la toma de las muestras hasta llegar al laboratorio para realizar los respectivos análisis, (Figura 23).

Figura 21

Toma de muestra Nacedero y Grifo



Fuente: Elaboración Propia, 2023. **Figura A:** Toma de muestras para parámetros de: Nitrógeno Amoniacal, Nitrógeno Orgánico. **Figura B:** Toma de muestras para parámetros de: DQO, Dureza y Hierro. **Figura C-D:** Toma de muestras para parámetros de: DBO, Nitritos, Nitratos y Tensoactivos.

Figura 22
Clasificación de envases y rotulado



Fuente: Elaboración Propia, 2023

Figura 23
Conservación de muestras

A



B



C



Fuente: Elaboración Propia, 2023.

Figura A: Fotografía del preservante (Ácido Sulfúrico/Ácido Nítrico) para las muestras necesarias (DQO-NA-NO). **Figura B:** Gel refrigerante para conservar las muestras (Coliformes Totales, Termotolerantes, DBO, Nitritos, Nitratos y Tensoactivos) **Figura C:** Nevera de icopor para la conservación de las muestras.

En el **Anexo D** se presenta información en detalle de la cadena de custodia (tipo de envase, volumen y preservantes), el control de muestras y el plan de muestreo (equipos, elementos y papelería) de las muestras tomadas en campo.

Resultados de los parámetros analizados del agua de la vereda EL Floral y verificación del cumplimiento de la Resolución 2115 de 2007.

Una vez realizada la toma de las muestras en campo, se procedió a transportarlas al laboratorio para llevar a cabo los respectivos ensayos y análisis de las características fisicoquímicas (color aparente, conductividad, DBO5, DQO, dureza total, hierro total, nitratos, nitritos, pH, sólidos suspendidos totales, temperatura, alcalinidad total y turbiedad) y microbiológicas (Escherichia Coli y coliformes totales) con el fin de comparar los resultados con los valores máximos permisibles establecidos por la Resolución 2115 de 2007. **(Tabla 15 y 16)**

En el **Anexo E** se presentan los resultados obtenidos de los análisis para cada una de las muestras de agua (nacedero y grifo), así como también algunos detalles como: técnica de análisis, método y unidades de medida efectuados por el laboratorio Biopolab.

Tabla 13
resultados de los Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos del Agua del Nacedero

Agua de Nacedero	Unidad de Medida	Resultado	Resolución 2115 de 2007 - Agua Potable	Conformidad
Parámetros Microbiológicos				
Escherichia Coli	UFC/100 mL ó cm ³	78	0	NO CUMPLE
Coliformes Totales(A)	UFC/100 mL ó cm ³	52	0	NO CUMPLE
Parámetros Fisicoquímicos				
Conductividad (A)	µS/cm	81,9	1000	CUMPLE
DBO5 (A)	mg O ₂ /L	<16	No Especifica	NO APLICA
DQO (A)	mg O ₂ /L	<10,0	No Especifica	NO APLICA
Dureza Total (A)	mg CaCO ₃ /L	54,1	300	CUMPLE
Hierro Total (O)/ Iron	mg Fe /L	0,53	0,3	NO CUMPLE
Nitritos (A)	mg N-NO ₂ /L	<0,0043	0,1	CUMPLE
Nitratos (A)	mg N-NO ₃ /L	<0,400	10	CUMPLE
pH (A)	Unidad de pH	5,7	6,5 - 9,0	NO CUMPLE
Color (A)	UPC	<8,68	15	CUMPLE
Sólidos Suspendidos Totales (A)	mg/L	<10,0	No Especifica	NO APLICA
Temperatura (A)	°C	28,5	No Especifica	NO APLICA
Alcalinidad Total (A)	mg CaCO ₃ /L	30,4	200	CUMPLE
Turbiedad (A)	NTU	6,2	2	NO CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia, 2023

Tabla 14
resultados de los Análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos del Agua del Grifo

Agua Grifo Consumidor	Unidad de Medida	Resultado	Resolución 2115 de 2007 - Agua Potable	Conformidad
Parámetros Microbiológicos				
Escherichia Coli	UFC/100 mL ó cm3	65	0	NO CUMPLE
Coliformes Totales(A)	UFC/100 mL ó cm3	35	0	NO CUMPLE
Parámetros Fisicoquímicos				
Conductividad (A)	µS/cm	101	1000	CUMPLE
DBO5 (A)	mg O2/L	<15	No Especifica	NO APLICA
DQO (A)	mg O2/L	<10,0	No Especifica	NO APLICA
Dureza Total (A)	mg CaCO3 /L	49,6	300	CUMPLE
Hierro Total (O)/ Iron	mg Fe /L	0,65	0,3	NO CUMPLE
Nitritos (A)	mg N-N02/L	<0,0140	0,1	CUMPLE
Nitratos (A)	mg N-N03/L	<1,38	10	CUMPLE
pH (A)	Unidad de pH	5,5	6,5 - 9,0	NO CUMPLE
Color (A)	UPC	20	15	NO CUMPLE
Sólidos Suspendidos Totales (A)	mg/L	<10,0	No Especifica	NO APLICA
Temperatura (A)	°C	30,1	No Especifica	NO APLICA
Alcalinidad Total (A)	mg CaCO3 /L	<25,5	200	CUMPLE
Turbiedad (A)	NTU	3,2	2	NO CUMPLE

Fuente: Elaboración Propia, 2023

Cálculo y verificación del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para consumo humano (IRCA).

Con el fin de garantizar una excelente calidad del agua a los habitantes de la vereda que se abastecen del manantial, se determinó el IRCA con el fin de llevar un control a la calidad del agua, teniendo presente el promedio de los resultados analizados en el laboratorio de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del “agua tratada” y el puntaje de riesgo para cada uno.

A partir de lo presentado en el **Anexo F**, cálculo del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA), se determinó que el valor de porcentaje de la muestra de agua del grifo “agua tratada” es de 91.4 %.

Ya con el puntaje porcentual del IRCA, se llevó a cabo la determinación del nivel de riesgo cuando se consume agua no apta para consumo (agua en condiciones inadecuadas) a partir de la tabla presentada en el **Anexo G**.

De acuerdo a la **Tabla 17** presentada en el **Anexo F**, las muestras de agua que fueron analizadas presentan un nivel de riesgo Inviabile Sanitariamente, situándose en una clasificación IRCA entre el 80.1 - 100, catalogando como agua no apta para consumo humano.

En el **Anexo F** se resumen los cálculos realizados para determinar el IRCA.

Identificación de la alternativa más viable para el tratamiento del agua de la vereda El Floral.

Para resolver la problemática de la vereda El Floral en cuanto al agua que consume la población, existen muchas metodologías, en especial las matrices. En este caso se emplea la matriz multicriterio Pugh y el método de análisis jerárquico AHP para determinar pesos de importancia, el cual permite evaluar criterios para el tratamiento del agua de la vereda El Floral. Esta matriz multicriterio y el método AHP se emplean para determinar alternativas, teniendo en cuenta algunos criterios seleccionados (**Anexo H**) calificables mediante una puntuación.

La escala de puntuación fue establecida a partir de la metodología Saaty, el cual es un método cuantitativo para la toma de decisiones multicriterio, que permite generar escalas de prioridades basándose en juicios de expertos, manifestados a través de comparaciones por pares mediante una escala de preferencia (Nantes, 2019) de la siguiente manera, cinco números consecutivos organizados de menor a mayor siendo estos uno (1), dos (2), tres (3), cuatro (4), cinco (5), representando la variable “sin importancia”, “poco importante”, “moderadamente importante”, “importante” y “muy importante” respectivamente. Cabe resaltar que la opción de diseño escogida corresponderá a la alternativa con mayor puntaje y esta estará sujeta a la calificación que hayan recibido los criterios por parte de los expertos en la encuesta, los cuales fueron: un Ingeniero Ambiental, director de proyectos ambientales en la empresa “*Bio-lógica, asesorías y servicios ambientales SAS*”, un Ingeniero Ambiental especialista en gestión social contratista del acueducto de Bogotá, una Ingeniera Civil contratista del acueducto de Bogotá y un Ingeniero Ambiental Doctor en ciencia aplicada. (**Anexo I**)

Según lo expuesto en el artículo 13 del capítulo 1 de la resolución 0330 de 2017 (RAS), se deberán proponer alternativas de proyectos de acuerdo al conocimiento del planificador, las cuales permitan dar solución a los problemas, necesidades, objetivos y metas identificados desde el punto de vista técnico (RAS, 2017) (A.Rincon, OF.Herrera, & MF.Ortiz, 2014). Cabe resaltar que de acuerdo al artículo 14, así mismo indica los criterios mínimos con los cuales deben ser evaluadas las alternativas propuestas, estos son: económico, técnico, social, ambiental y financiero, de la misma manera es importante que para la selección de la alternativa más favorable esta deberá evaluarse mediante el empleo de selección de matrices multicriterio, minimizando así la subjetividad de la valoración (RAS, 2017).

Por consiguiente, y de acuerdo a la caracterización del agua; cabe resaltar que al momento de tomar las muestras de agua se realizó una consulta verbal con algunos de los habitantes de la vereda para saber cómo era la calidad del agua indicando que en épocas extremas de invierno el agua se torna amarilla y llega con bastantes partículas ; por tal motivo se tuvo en cuenta las operaciones de coagulación, floculación, sedimentación, las condiciones socio demográficas, las necesidades de la población y el costo/beneficio, las alternativas propuestas partiendo de la resolución 0330 de 2017 para el diseño de la potabilización del agua de la vereda El Floral son las siguientes:

Figura 4
alternativas planteadas

ALTERNATIVA 1 (A1)		
Descripción	Operaciones	Explicación
<p>Según los análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos realizados al agua, la PTAP pretende tener como operaciones unitarias: (tren de tratamiento) aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. También contar con dosificación de químicos a gravedad, ya que en el punto no hay disponibilidad de energía eléctrica, su construcción sería en poliéster reforzado en fibra de vidrio (PRFV).</p>	Aireación (Bandejas)	Esta operación unitaria permite remover gases contaminantes como: ácido sulfhídrico, metano, dióxido de carbono y metales como hierro y manganeso del agua. El aire contenido en la atmósfera se coloca en contacto con el agua a través de Pall Ring, lo cual permite el proceso de oxidación y la solubilización del oxígeno en el agua.
	Coagulación (Vertedero Triangular 45°)	Esta operación unitaria permite tanto la regulación del caudal como la medición del mismo; además, de hacer la mezcla rápida del coagulante.
	Floculación (Flujo horizontal)	Esta operación unitaria permite la disipación de energía de manera controlada por medio de sus compartimentos, es decir, pasar de flujo turbulento proveniente de la mezcla rápida a flujo laminar para así poder realizar la mezcla lenta y la descarga al sedimentador. Adecuado para caudales pequeños.
	Sedimentación (alta tasa)	Esta operación unitaria permite la caída de sólidos suspendidos en el agua por medio de la gravedad con el coadyuvante. Son unidades con placas inclinadas respecto a la horizontal, dividiendo el caudal y dando lugar a un régimen laminar.
	Filtración (rápida)	Esta unidad permite la eliminación rápida de partículas suspendidas relativamente grandes. Esto por medio de lechos filtrantes como arena, grava y antracita.

	Desinfección (tanque de contacto)	Esta unidad permite inactivar cualquier patógeno, mediante la desinfección en una estructura hidráulica.
--	-----------------------------------	--

ALTERNATIVA 2 (A2)

Descripción	Operaciones	Explicación
Según los análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos realizados al agua, la PTAP pretende tener como operaciones unitarias (tren de tratamiento): filtración directa a presión y desinfección. También contar con dosificación de químicos automáticos y una bomba para la presión de los filtros, por lo que es necesario llevar un punto de energía eléctrica o como alternativa implementar paneles solares, su construcción sería en acero al carbón.	Filtración Directa a presión	Esta unidad permite la eliminación rápida de partículas suspendidas relativamente grandes. Forzando el líquido a pasar por medio de lechos filtrantes como arena, grava y antracita a través de una columna de presión hidrostática obtenida por una fuerza de bombeo.
	Desinfección (en línea)	Esta unidad permite inactivar cualquier patógeno, mediante la desinfección por inyección en la tubería o un tanque.

ALTERNATIVA 3 (A3)

Descripción	Operaciones	Explicación
Según los análisis Fisicoquímicos y Microbiológicos realizados al agua, la PTAP pretende tener como operaciones unitarias: coagulación, filtración. También contar con dosificación de químicos automáticos, por lo que es necesario llevar un punto de energía eléctrica o como alternativa implementar	Coagulación (canaleta parshall)	Esta operación unitaria permite tanto la regulación del caudal como la medición del mismo; además, de hacer la mezcla rápida del coagulante.
	Filtración (lenta en arena)	Esta unidad permite la eliminación rápida de partículas suspendidas relativamente grandes. Esto por medio de lechos de arena.

paneles solares, su construcción sería en acero al carbón.	
--	--

Fuente: Elaboración Propia, 2023

Implementación del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) y la Matriz Multicriterio Pugh.

De acuerdo a los resultados obtenidos por medio de la encuesta a expertos; proceso indispensable para la implementación del método AHP, se realiza la tabla que se observa en el **Anexo J, Figura 25**, donde se evidencia la calificación que le dieron los expertos a cada criterio y su respectiva tabulación, esto con el fin de determinar los pesos de importancia de cada uno de ellos. Como resultado de dicha tabulación evidenciamos que el criterio con más peso de importancia es el Técnico, seguido del criterio Económico/Financiero y precedido por los criterios ambiental y sociocultural con un peso de importancia menor.

Debido a lo anterior, procedemos a definir la escala de Thomas Saaty con la cual se van a calificar los criterios anteriormente mencionados (**Figura 26 en el Anexo K**) y posteriormente realizamos la matriz de comparación de criterio y la matriz normalizada (**Tabla 21**) presentada en el **Anexo L** (Aristizábal et al., 2022).

Analizando los datos obtenidos en la Matriz Normalizada, se evidencia que el criterio más importante a la hora de implementar una alternativa para el tratamiento del agua es el Técnico; es decir, que el beneficio se sobrepone ante los demás criterios, siendo indispensable suplir la necesidad de agua sanitariamente viable para el consumo de la comunidad; pero esto, sin dejar atrás el segundo criterio más importante que sería el Económico/Financiero, el cual tiene en cuenta los costos de inversión inicial, costos de operación y mantenimiento y la capacidad de pago de la población beneficiada.

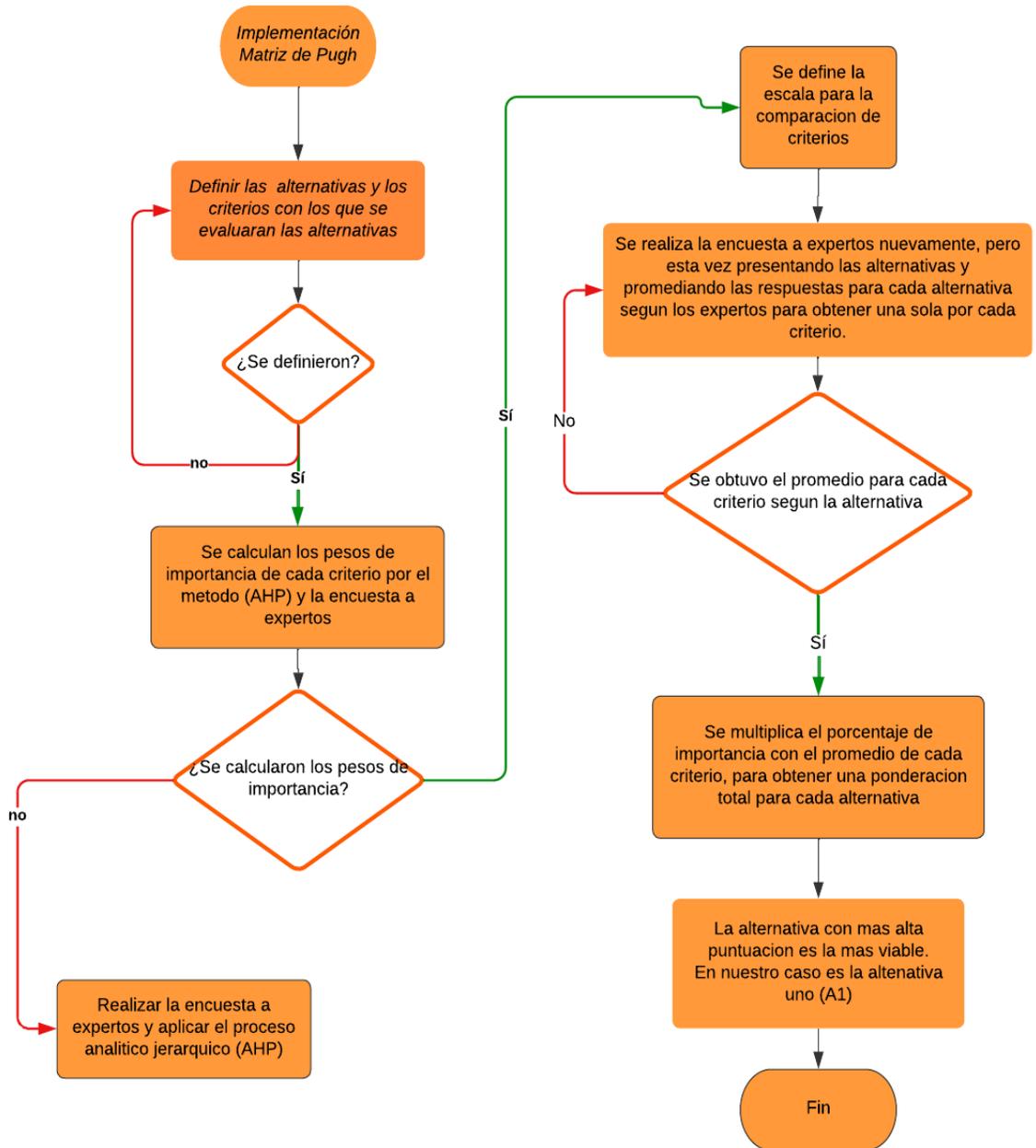
A partir de los resultados expuestos en el proceso analítico jerárquico (AHP), se aplicó la Matriz de Pugh, con el fin de seleccionar la alternativa más viable de las anteriormente expuestas; por tal motivo, en la matriz multicriterio se utilizaron los pesos de importancia de la ponderación de la matriz normalizada, estos en unidades porcentuales, posteriormente se realizó de nuevo una encuesta a los expertos, pero esta vez dándoles a conocer las diferentes alternativas para su respectiva calificación según los criterios, siendo uno “inviable”, dos “poco viable”, tres “moderadamente viable”, cuatro “viable” y cinco “muy viable”, las respuestas obtenidas en la encuesta se promediaron para obtener una sola calificación y esta poder multiplicarla por el peso de importancia de cada criterio, con el fin de obtener una ponderación total por cada alternativa y así poder definir la alternativa con más alta puntuación, siendo esta la alternativa más viable para el tratamiento del agua de la vereda El Floral según Costo/Beneficio (Figura).

El resultado de la matriz de Pugh arrojó que la alternativa, uno (A1), está por encima de las dos otras alternativas con una puntuación total de 8.83, siendo esta seleccionada como la alternativa más viable para desarrollar el tratamiento del agua de la vereda El Floral. (**Tabla 21 en el Anexo M**).

Figura 25
Diagrama de flujo para la implementación de la matriz de Pugh

Implementación Matriz de Pugh

DYLAN MONROY | May 6, 2023



Fuente: Elaboración Propia, 2023

Diseño esquemático de la planta de tratamiento de agua potable seleccionada a partir de la matriz de Pugh.

Finalmente, y de acuerdo a los resultados obtenidos en la matriz multicriterio de Pugh, se seleccionó la alternativa uno (A1) como la más viable para el tratamiento de agua potable, por tal motivo se propone una planta de tratamiento de agua potable convencional construida en material de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) lista para instalar en sitio, reduciendo costos en obras, movimientos en masa, tiempo de construcción, costos de operación y lo más importante sencilla en mantenimiento y operación, beneficiando a la comunidad en la disponibilidad de pago y en un consumo sano de agua.

Esta PTAP diseñada para el tratamiento del agua de la vereda El Floral municipio de Melgar –Tolima se compone de los siguientes procesos unitarios: Bandejas de aireación, Aforo y Mezcla rápida (vertedero triangular), Flocculador de flujo horizontal, Sedimentador de alta tasa, Filtro rápido de arena, grava y antracita, Tanque de contacto (desinfección), productos químicos (coagulante, aumentador de pH y desinfectante) se calculó la dosis de cloro y kit de gotas para la medición del pH y cloro del agua.

En el **Anexo N** se presentan las memorias de cálculo de cada unidad que conforman la planta de tratamiento de agua potable (PTAP), no obstante, cabe aclarar que estas unidades se escogieron teniendo en cuenta los lineamientos de la Resolución 0330 de 2017.

Por otra parte, en el **Anexo O** se adjuntan los diseños de las unidades por medio de planos con su respectiva escala; cabe resaltar que el diseño realizado es esquemático; es decir, se realizó de manera simple únicamente con sus rasgos esenciales.

Conclusiones

De acuerdo a la búsqueda de la literatura científica en el contexto de Sistemas de tratamiento de agua potable, podemos evidenciar que hay diversas maneras de purificar el agua, no solo con las utilizadas hace décadas, sino también con tecnologías renovables de bajo costo; las cuales son implementadas en su mayor parte en las zonas rurales y peri urbanas. No obstante, nos damos cuenta cómo al pasar del tiempo aumenta la producción científica, y así mismo, la necesidad de potabilizar el agua para el consumo humano.

Por medio del diagnóstico técnico que se realizó en la zona de la vereda El Floral, se identificó que el terreno está en condiciones aptas para la implementación de una PTAP, teniendo en cuenta que esta operaría en función de la gravedad; pues el terreno allí encontrado se cataloga como ondulado con pendientes entre el 7% y 12%. Además de eso, se logró evidenciar la falta de agua en dicha zona, siendo el manantial la única fuente de abastecimiento. En las visitas de campo también se logró observar que la captación del agua la hacen por medio de una manguera de polietileno de 3" y que el tanque donde llega el agua se encuentra deteriorado, pues lleva aproximadamente 20 años desde su construcción.

Al evaluar la calidad del agua, teniendo en cuenta las características físicas, químicas y microbiológicas de las muestras tomadas de la vereda El Floral, se concluye: que el agua no está cumpliendo con lo exigido en la Resolución 2115 de 2007 y el IRCA; de acuerdo a los resultados de laboratorio se evidencia la presencia de contaminantes como E.coli y Coliformes Totales, además de eso, la presencia de parámetros como turbidez, pH, hierro y color los cuales son superiores a los valores máximos aceptados por la norma, cabe resaltar que el resultado IRCA arrojó un alto puntaje, por lo cual el agua de la vereda El Floral es Inviabile sanitariamente. A partir de estos resultados se concluye que es necesario un proceso de potabilización del agua que abastece la población de la vereda El Floral.

Según los resultados obtenidos en los análisis del agua, se pudo identificar los procesos necesarios para poder potabilizar el recurso hídrico, esto siguiendo los lineamientos de la resolución 0330 de 2017, la cual nos indica la tecnología respectiva para remover cada contaminante en específico. En consecuencia, a lo anterior se propusieron tres (3) alternativas para potabilizar el agua según las necesidades de la comunidad y lo establecido en la resolución 2115 de 2007.

De acuerdo con la formulación del Proceso Analítico jerárquico (AHP) y gracias a la encuesta realizada a expertos, se lograron evaluar los criterios Técnico, Económico/Financiero, Ambiental y Socio/Cultural, los cuales permitieron construir la matriz multicriterio Pugh y alcanzar mayor congruencia en la ponderación; con el fin seleccionar la mejor alternativa para el tratamiento del agua potable de la vereda El Floral. Dicha alternativa se seleccionó teniendo en cuenta el criterio técnico, el cual tuvo mayor ponderación de acuerdo a los expertos; finalmente, concluyendo, la alternativa que mejor se acopla es la uno (1), debido a que implementa los procesos necesarios para potabilizar el agua y brindar un beneficio a la población en cuanto a calidad y costo.

El diseño seleccionado para la Planta de tratamiento de agua potable para la vereda El Floral es de tipo convencional hecho en material de plástico reforzado con fibra de vidrio (PRFV) pre ensamblado listo para instalar en sitio, cuenta con un caudal a tratar de 0.12 L/s teniendo en cuenta su mínima población flotante, y está compuesta por los procesos unitarios de Aireación, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, a lo cual hace referencia a unas bandejas de aireación, un vertedero triangular de 45°, un floculador de flujo horizontal, un sedimentador de alta tasa, un filtro rápido de grava, arena y antracita y un tanque de contacto para su desinfección. Cabe resaltar que el diseño de la planta de tratamiento de agua potable seleccionada es esquemático, es decir, que se realizaron los diseños de cada unidad de la PTAP de manera simple únicamente con sus rasgos esenciales y solamente para el proceso de tratamiento.

Recomendaciones

Con base en los análisis de resultados obtenidos, se recomienda para futuras investigaciones realizar la dosificación de químicos adecuada para el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua potable, es por esto necesario realizar los diseños de dosificación, teniendo en cuenta que podemos encontrar diferentes productos químicos en el mercado ya sea en tamaño o concentración.

Se recomienda realizar un muestreo en temporada de lluvias fuertes, con el objetivo de verificar la dosis óptima de químicos y la implementación de una tecnología de floculación más compleja para mejorar el proceso de sedimentación.

Así mismo, realizar un análisis de precios unitarios (APU), con el fin de tener una idea más clara respecto a los costos de materiales, construcción, puesta en marcha y mantenimiento con el objetivo de mantener el costo/beneficio.

REFERENCIAS

- Aristizábal, E., Morales-García, P., Vásquez-Guarín, M., Ruíz-Vásquez, D., Palacio-Córdoba, J., Ángel-Cárdenas, F. P., Caballero-Acosta, H., & Ordóñez-Carmona, O. (2022). Methodologies for landslides hazard assessment in basic hazard studies: case study municipality of Andes, Antioquia, Colombia. *Boletín de Geología*, 44(3), 199-217. <https://doi.org/10.18273/REVBOL.V44N3-2022009>
- Briñez A, K. J., Guarnizo G, J. C., & Arias V, S. A. (2012). Calidad del agua para consumo humano en el departamento del Tolima. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 30 (2), 175-182. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-386X2012000200006&script=sci_abstract&tlng=pt
- Caro-Camargo, C. A., Castellet, E. B. I., Soler, D. G., & Hernández, J. D. (2023). Protocol to Monitor Water Governance Based on Indicators for Rural Basins. *Ingeniería e Investigación*, 43(1). <https://doi.org/10.15446/ING.INVESTIG.90309>
- Cabrera Bermúdez, X., Fleites Ramírez, M., & Contreras Moya, A. M. (2009). ESTUDIO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA TEXTIL "DESEMBARCO DEL GRANMA" A ESCALA DE LABORATORIO. *Tecnología Química*, XXIX(3), 64-73.
- Castro-Jiménez, C. C., Grueso-Domínguez, M. C., Correa-Ochoa, M. A., Saldarriaga-Molina, J. C., & García, E. F. (2022). A Coagulation Process Combined with a Multi-Stage Filtration System for Drinking Water Treatment: An Alternative for Small Communities. *Water (Switzerland)*, 14(20). <https://doi.org/10.3390/W14203256>
- CMGRD. (2021a). *PLAN DE CONTINGENCIA MUNICIPAL SIMPLIFICADO EN INCENDIOS FORESTALES*. https://www.cortolima.gov.co/images/Gestion_riesgo_PMGRD/2022/PCMSIF_MELGAR.pdf
- CMGRD. (2021b). *Plan De Contingencia Municipal*. https://www.cortolima.gov.co/images/Gestion_riesgo_PMGRD/2022/PCMSIF_MELGAR.pdf
- CMGRD. (2021c). *Plan de Contingencia Municipal Simplificado en Incendios Forestales*. https://www.cortolima.gov.co/images/Gestion_riesgo_PMGRD/2022/PCMSIF_MELGAR.pdf
- García-Ávila, F., Tenesaca-Pintado, D., Novoa-Zamora, F., Alfaro-Paredes, E. A., Avilés-Añazco, A., Guanuchi-Quito, A., Tonon-Ordoñez, M. D., & Zhindón-Arévalo, C. (2023). Vertical tubular flocculator: Alternative technology for the improvement of drinking water treatment processes in rural areas. *Journal of Environmental Management*, 331. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2023.117342>
- Garrido, H. (2016, June). *Agua*. https://digital.csic.es/bitstream/10261/52875/1/catalogo_expo_Agua.pdf
- Gutiérrez, S. (2013). Medical Education Cooperation with Cuba Estados Unidos. *Public Health MEDICC Review*, 15(1), 7-10. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=437542091003>
- Huerfano-Moreno, G. J., Rojas-Peña, J. I., Zapata-Muñoz, Y. L., Trujillo-González, J. M., Torres-Mora, M. A., García-Navarro, F. J., & Jiménez-Ballesta, R. (2023). Comparative Assessment of the Quality and Potential Uses of Groundwater in a Typical Rural Settlement in Colombia. *Water (Switzerland)*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/W15040667>
- IDEAM. (2023). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos*. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- INS. (2015, October). *Enfermedades Vehiculizadas por Agua-EVA e Índice de Riesgo de la Calidad-IRCA Colombia 2014*. <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2015%20Enfermedades%20Vehiculizadas%20por%20Agua%202014.pdf>
- Khan, M. H., Akash, N. M., Akter, S., Rukh, M., Nzediegwu, C., & Islam, M. S. (2023). A comprehensive review of coconut-based porous materials for wastewater treatment and CO₂ capture. *Journal of Environmental Management*, 338. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2023.117825>
- Litter, M. I., Alarcón-Herrera, M. T., Arenas, M. J., Armienta, M. A., Avilés, M., Cáceres, R. E., Cipriani, H. N., Cornejo, L., Dias, L. E., Cirelli, A. F., Farfán, E. M., Garrido, S., Lorenzo, L., Morgada, M. E., Olmos-Márquez, M. A., & Pérez-Carrera, A. (2012). Small-scale and household methods to remove arsenic from water for drinking purposes

in Latin America. *Science of the Total Environment*, 429, 107-122.
<https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2011.05.004>

Manrique, A., alcalde, G., Dario, I., Sanchez, L., De, S., Francisco, G., Bermudez Espinosa, A., De Planeacion, S., Coordinacion, Y., Gestion, D. E., De, D. R., Alberto, A., Bayona, A., Toro, C. M., De Salud, S., Ariza, E., Coordinador, S., Roja, C., Felix, C. T., ... Lannini, A. (n.d.). *EYLEN VERUZKA RODRIGUEZ PENAGOS PRESIDENTE JUNTA DEFENSA CIVIL COMANDANTE ESTACION POLICIA NACIONAL*.

Martinez, C., & Ceron, R. (1989, June 19). *Estudio Hidrogeológico del Área Cafam-Melgar (Tolima)*. Ingeominas.
https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/35/092/35092397.pdf

MPS, & MAVDT. (2007, June 22). *Resolucion 2115 de 2007*. https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/Res_2115_de_2007.pdf

Resolución 0330 de 2017, 1 (2017) (testimony of MVCT).
<https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/resolucion-0330-2017.pdf>

ONU. (20 de 05 de 2023). un.org. Obtenido de <https://www.un.org/es/chronicle/article/objetivo-6-hacer-frente-al-reto-posibilitar-el-acceso-al-agua-limpia-y-potable-en-todo-el-mundo#:~:text=Objetivo%206%E2%80%94Hacer%20frente%20al,todo%20el%20mundo%207C%20Naciones%20Unidas>

Oliveros, G., Morales, J., Holguin, M., Bayona, J., & Veloza, D. (2015). *Documento Técnico de Soporte Atributo del Suelo*. https://melgartolima.micolombiadigital.gov.co/sites/melgartolima/content/files/000332/16593_atributo-suelo-2015.pdf

Ortiz Rodriguez, B., Orlando, O., Villamizar-Gallardo, ;, Amanda, R., García, ;, Guillermo, R., Orlando Ortiz Rodriguez, O., Raquel, ;, Villamizar-Gallardo, A., Rafael, ;, & García, G. (2016). Life cycle assessment of four potable water treatment plants in northeastern Colombia. *Ambiente & Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, 11(2), 268-278. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>.

PLAN DE DESARROLLO MUNICIPAL “SOMOS LA GENTE QUE QUIERE LA GENTE” DIAGNÓSTICO MUNICIPAL ESTADÍSTICAS BÁSICAS RESEÑA HISTÓRICA. (2004).

Ríos-Tobón, S., Ruth, ;, Agudelo-Cadavid, M., & Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano Pathogens and microbiological indicators of the quality of water for human consumption Patógenos e Indicadores microbiológicos da qualidade da água pro consumo humano. *Rev. Fac. Nac. Salud Pública*, 35(2), 236-247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>

Rodríguez, Manuel J, Rodríguez, Germán, Serodes, Jean, & Sadiq, Rehan. (2007). Subproductos de la desinfección del agua potable: Formación, aspectos sanitarios y reglamentación. *Interciencia*, 32(11), 749-756.

Scopus - Analyze search results | Signed in. (n.d.). Retrieved March 18, 2023, from <https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=f6c7788e5fcd2f0228335669fd33153c&sot=a&sdt=a&sl=43&s=ALL%28Plantas+de+tratamiento+de+agua+potable%29&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze+results>.

Swistock, B. (2020). *Bacterias Coliformes*. <https://extension.psu.edu/bacterias-coliformes>

T-740-11 Corte Constitucional de Colombia. (n.d.). Retrieved September 19, 2022, from <https://www.corteconstitucional.gov.co/relatoria/2011/T-740-11.htm>.

A.Rincon, OF.Herrera, & MF.Ortiz. (20 de 11 de 2014). *Esquema para el dimensionamiento de unidades de sedimentacion de alta tasa de flujo ascendente*. Obtenido de file:///C:/Users/ALL%20IN%20ONE/Downloads/588-Texto%20del%20art%C3%ADculo-1099-1-10-20190718.pdf

Acciona. (2022). *Acciona*. Obtenido de https://www.accionacom.es/tratamiento-de-agua/potabilizacion/?_adin=02021864894

Acuatecnica. (15 de 01 de 2018). *Acuatecnica*. Obtenido de <https://acuatecnica.com/caracteristicas-las-plantas-tratamiento-agua-potable-convencionales/>

- Ágora, E. (22 de 01 de 2021). *Los 10 países con mayores reservas de agua dulce en el mundo*. Obtenido de <https://www.elagoradiario.com/agorapedia/10-paises-mayores-reservas-agua-dulce/>
- Amoroch, M. F. (2010). Bucaramanga .
- Arboleda, J. V. (2000). *Teoria y Practica de la Purificacion del Agua*. Bogota, Colombia.
- Aveiga, A., Noles, P., De la Cruz, A., Peñarrieta, F., & Alcantara, F. (2019). Variations of the water quality of the Carrizal River in Manabi. *Enfoque*, 5.
- Basico, D. d. (01 de 11 de 2000). *RAS 2000*. Obtenido de RAS 2000: file:///C:/Users/ALL%20IN%20ONE/Downloads/view_file.cfm.pdf
- BCN. (2016). *Calidad del Agua*. Chile. Obtenido de <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/23747/2/Calidad%20del%20Agua%20Final.pdf>
- Borras, X. (02 de 12 de 2010). *interempresas*. Obtenido de <https://www.interempresas.net/Agua/Articulos/45745-Sustancias-para-el-tratamiento-de-aguas-para-el-consumo-humano.html>
- Bruni, M. (2012). *sswm*. Obtenido de <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/sedimentaci%C3%B3n->
- Burbano, L., & Herazo, H. (2000). *Medicion De Corrientes De Agua Con Fines De Ingenieria de Regadios*. Obtenido de *Medicion De Corrientes De Agua Con Fines De Ingenieria de Regadios*: file:///C:/Users/ALL%20IN%20ONE/Downloads/Dialnet-MedicionDeCorrientesDeAguaConFinesDeIngenieriaDeRe-6191543.pdf
- Cardenaz, A., & Medina, J. (2017). Diseño y construccion de una planta de tratamiento de agua potable a escala para el laboratorio de hidraulica de la universidad Santo Tomas. *Universidad Santo Tomas* , 80.
- Cirelli, A. F. (2012). El agua: un recurso esencial. *Quimica viva*, 25.
- Colombia, F. &. (2018). *Fibras y Normas de Colombia* . Obtenido de <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/plantas-de-tratamiento-de-agua-potable-ptap-funcionamiento-y-tipos/#comments>
- CORTOLIMA. (08 de 04 de 2023). *Clasificacion y Codificacion hidrografica del Tolima*. Obtenido de <https://sia.cortolima.gov.co/arcgis/apps/sites/#/inicio/apps/c231327f572c4864b211076af24f89da/explore>
- Cruz, J. (2019). Estudio para el montaje de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) tipo compacta, en la vereda Cualamaná, municipio de Melgar Tolima. *Estudio para el montaje de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) tipo compacta, en la vereda Cualamaná, municipio de Melgar Tolima*, 66.
- Cruz, J. I. (2019). Estudio para el montaje de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) tipo compacta, en la vereda Cualamaná, municipio de Melgar Tolima. 66.
- Facsa. (23 de 01 de 2017). *Facsa*. Obtenido de <https://www.facsa.com/la-dureza-del-agua/>
- FAJARDO, H. E. (2015). *DISEÑO DE UN SISTEMA COMPACTO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN LA GRANJA LA FORTALEZA UBICADA EN EL*. Bogota.
- Fajardo, H. E. (2015). Diseño de un sistema compacto de potabilizacion de agua para consumo humano en la granja la fortaleza ubicada en el municipio de melgar - tolima. *UNIVERSIDAD LIBRE*, 210.
- FLÓREZ, J. M. (2010). CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO. *Revistas Unal*. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/25636/39133#:~:text=La%20clarificaci%C3%B3n%20del%20agua%20tiene,pueden%20remover%20con%20mayor%20facilidad.>
- Gálvez, J. J. (2011). *AGUAS SUBTERRÁNEAS-ACUÍFEROS*. Lima: Zaniel I. Novoa Goicochea.
- Hilleboe. (2001). Manual de tratamiento de aguas. *Limusa S.A*, 21-27.
- IDEAM. (2005). *PSO DETERMINACIÓN DE ALCALINIDAD POR POTENCIOMETRIA*. Bogota.

- IDEAM. (2007). *DETERMINACION DE pH EN AGUA POR ELECTROMETRIA*. Bogota D.C. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/pH+en+agua+por+Electrometr%C3%ADa.pdf/ec53b64e-91eb-44c1-befe-41fcfcdf1>
- IDEAM. (2007). *TURBIEDAD POR NEFELOMETRÍA EN EL EQUIPO TURBIQUANT 3000 T*. Bogota D.C. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Turbiedad+por+Nefelometr%C3%ADa..pdf/fc92342e-8bba-4098-9310-56461c6a6dbc#:text=La%20turbiedad%20es%20una%20expresi%C3%B3n,trasmitida%20a%20trav%C3%A9s%20de%20la>
- Ideam. (2016).
- IDEAM. (2020). Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/glosario>
- INS. (2011). *INS*. Obtenido de <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>
- INS. (2011). *Manual de Instrucciones para la Toma, Prevencion y Transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para Analisis de Laboratorio*. Bogota D.C. Obtenido de <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>
- INS. (2015). *Vigilancia de las Enfermedades Vehiculizadas por Agua*.
- INS. (05 de 10 de 2015). *Enfermedades Vehiculizadas por Agua-EVA e Índice de Riesgo de la Calidad-IRCA Colombia 2014*. Obtenido de <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2015%20Enfermedades%20Vehiculizadas%20por%20Agua%202014.pdf>
- Medina, G. T. (2020). Determinación de la calidad de agua subterránea para consumo humano.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (24 de 08 de 2021). *Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio*.
- MinSalud. (2015). *Abece del agua y saneamiento basico*. Bogota. Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/abc-agua.pdf>
- Minvivienda. (2017). *RAS 2017*. Bogota. Obtenido de https://comunidad.udistrital.edu.co/javalerof/files/2015/09/titulo_d_version_prueba.pdf
- MinVivienda. (2021). *Plan Nacional de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento Basico Rural*. Bogota D.C. Obtenido de <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/2021-03/9.-plan-nacional-sasbr-vf.pdf>
- Mundial, B. (02 de 09 de 2020). *Colombia: rica en agua, pero con sed de inversiones*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2020/09/02/colombia-water-security>
- Nantes, E. A. (20 de Octubre de 2019). *EL MÉTODO ANALYTIC HIERARCHY PROCESS PARA LA TOMA DE DECISIONES. REPASO DE LA METODOLOGIA Y APLICACIONES*. Obtenido de <file:///C:/Users/ALL%20IN%20ONE/Downloads/fvillarreal,+6.+T4601.pdf>
- Obando, J., Mora, E., Lievano, L., Hernandez, M., & Cardenas, D. (2019). La calidad del agua y su impacto social. *ESPACIOS*, Vol.40 Pág.13.
- ONU. (2018). *Agua limpia y Saneamiento*. 2.
- Prohisa. (s.f.). *Prohisa*. Obtenido de <https://prohisaingenieria.com/planta-de-tratamiento-de-agua-potable-tipo-compacta/>
- RAS. (2000). *Titulo C*. Bogota. Obtenido de <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/titulo-c-dic-4-2013.pdf>
- Rojas, J. A. (1999). Potabilizacion del Agua. En J. A. Rojas, *Potabilizacion del Agua* (pág. 306). Mexico D.F: AlfaOmega Grupo Editor S.A.
- Ruiz & Martinez. (15 de 03 de 2015). *Repositorio Univeridad Catolica*. Obtenido de Repositorio Univeridad Catolica: <https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/087c4e44-3855-42d8-98ac-a7aecef33d6d/conten>

- Rodriguez, R. P. (07 de 10 de 2010). *Civilgeeks*. Obtenido de <https://civilgeeks.com/2010/10/07/dotacion-sistema-de-agua-potable/>
- Saavedra, E. O. (2019). *Diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable para tres centros poblados del distrito de Ignacio Escudero*. Piura.
- Santacruz, M. L. (2013). RÉGIMEN DE CAUDAL ECOLÓGICO, HERRAMIENTA DE GESTIÓN PARA CONSERVAR LA BIOTA ACUÁTICA. *Scielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702013000200005
- Valdivielso, A. (2016). *iagua*.
- Vargas, A. C. (2019). ANÁLISIS TÉCNICO Y AMBIENTAL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO COMPACTA DE AGUA POTABLE EN VILLARRICA-TOLIMA. *Boletín Semillas Ambientales*, 13, 12.
- Cepal. (23 de 11 de 2022). *biblioguias.cepal.org*. Obtenido de <https://biblioguias.cepal.org/c.php?g=934230&p=6736670>
- Cromtek. (19 de 05 de 2023). *cromtek.cl*. Obtenido de <https://www.cromtek.cl/2022/01/03/que-son-los-solidos-suspendidos-y-como-se-miden/>
- Escuela de postgrado industrial. (20 de 10 de 2022). *postgradoindustrial.com*. Obtenido de <https://postgradoindustrial.com/tratamiento-aguas-tipos-formacion/>
- IDEAM. (2007). *DETERMINACION DE pH EN AGUA POR ELECTROMETRIA*. Bogota D.C. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/pH+en+agua+por+Electrometr%C3%ADa.pdf/ec53b64e-91eb-44c1-befe-41fcfdfff1>
- INS. (2011). *Manual de Instrucciones para la Toma, Prevencion y Transporte de Muestras de Agua de Consumo Humano para Analisis de Laboratorio*. Bogota D.C. Obtenido de <https://www.ins.gov.co/sivicap/Documentacin%20SIVICAP/2011%20Manual%20toma%20de%20muestras%20agua.pdf>
- Mazille, F., & Spuhler, D. (18 de 05 de 2023). *swwm.info*. Obtenido de <https://swwm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/coagulaci%C3%B3n%2C-floculaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n>
- Organizacion Mundial de la Salud. (07 de 07 de 2018). *who.int*. Obtenido de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>
- UCM. (18 de 05 de 2023). *ucm.es*. Obtenido de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/952-2015-02-14-pH%20f.pdf>
plantas-tratamiento-agua-potable-convencionales/
- INGEOXPERT. (24 de 08 de 2018). *INGEOXPERT*. Obtenido de *INGEOXPERT*:
<https://ingeoexpert.com/2018/08/24/acuifero-aguas-subterranas/>
- Synertech. (17 de 05 de 2023). *nyfdecolombia.com*. Obtenido de
<https://www.nyfdecolombia.com/plantas/tratamiento-de-agua-potable>
- Vargas, L. d. (2010). *Mezcla Rapida*.
- Zarza, L. F. (2021). *iagua*.