

**Propuesta de diseño de un sistema alternativo individual de agua potable en el  
Municipio de Arauquita**

Elaborado por:

Maira Alejandra Ortiz Alfonso

Universidad EAN

Especialización en gerencia de proyectos

Seminario de Investigación de Posgrado

Bogotá

17/11/2023

## Tabla de contenido

Tabla de contenido.....	2
Lista de ilustraciones .....	5
Lista de tablas .....	6
Resumen.....	7
Abstract .....	7
1. Introducción .....	9
1.1. Planteamiento del Problema .....	9
<b>1.1.1. Antecedentes</b> .....	9
1.2. Descripción del problema.....	11
1.3. Pregunta de investigación. ....	12
1.4. Objetivos .....	12
1.4.1. Objetivo general.....	12
1.4.2. Objetivos específicos. ....	12
1.5. Justificación.....	13
2. Marco teórico.....	18
2.1. Agua potable .....	19
2.2. Importancia del tratamiento del agua. ....	19
2.3. Sistemas de Depuración del Agua .....	19
2.4. Sistema convencional de suministro de agua potable. ....	20
2.5. Sistemas alternos de abastecimiento de agua potable. ....	20
2.6. Niveles de servicio en suministro del agua. ....	20
2.7. Descripción de etapas del sistema de potabilización convencional por bombeo 21	21
2.8. Estado de arte.....	23
2.8.1. Global .....	23
2.8.2. Regional (América Latina) .....	25
2.8.3. Local (Colombia).....	26
2.9. Potabilización de agua por sistema de bombeo.....	29
3. Marco legal.....	30

4. Marco Institucional .....	31
5. Metodología.....	32
5.1. Enfoque, alcance y diseño de la investigación.....	32
5.2. Definición de variables .....	33
5.3. Población y muestra.....	36
5.4. Selección de métodos o instrumentos para recolección de información.....	37
5.5. Método de investigación .....	37
5.6. Procesamiento y análisis de datos.....	38
6. Análisis de resultados.....	39
6.1. Alternativas de tratamiento y mejoramiento de la calidad de agua para consumo humano en área rural dispersa. ....	45
6.2. Criterios de selección de tecnologías alternativas de agua potable .....	46
6.3. Descripción de tecnologías alternativas de tratamiento. ....	48
6.3.1. Clarificación en el hogar por asentamiento .....	48
6.3.2. Clarificación con sustancias químicas .....	48
6.3.3. Filtración .....	49
6.3.3.1. Filtración con filtros caseros de cerámica.....	49
6.3.3.2. Filtración con filtros de vela cerámica.....	50
6.3.3.3. Filtración con filtros lentos de arena .....	50
6.3.4. Filtración con carbón activo. ....	51
6.3.5. Desinfección .....	52
6.4. Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano para la propuesta de diseño del proyecto.....	53
6.5. Características fisicoquímicas y microbiológicas de agua en los puntos de abastecimiento .....	54
6.6. Alternativas de tratamiento.....	57
6.6.1. Caudal de diseño .....	57
6.6.2. Alternativa 1 de diseño. ....	58
6.6.2.1. Análisis de costos alternativa 1 .....	59
6.6.2.1.1. Determinación de costos de Operación: .....	59
6.6.2.1.2. Determinación de costos de Mantenimiento: .....	60
6.6.2.1.3. Determinación de costos de Construcción e Instalación alternativa 1....	61
6.6.3. Alternativa 2.....	61
6.6.3.1. Análisis de costos alternativa 2 .....	63
6.6.3.1.1. Determinación de costos de Operación: .....	63

6.6.3.1.2. Determinación de costos de Mantenimiento: .....	64
6.6.3.1.3. Determinación de costos de Construcción e Instalación alternativa 2....	65
6.7. Metodología de evaluación. ....	66
6.8. Evaluación de alternativas planteadas. ....	68
6.8.1. Selección de alternativa. ....	68
7. Discusión. ....	70
8. Conclusiones. ....	71
9. Referencias. ....	72
10. Anexos. ....	75

## Lista de ilustraciones

<i>Ilustración 1. Cobertura de acueducto de departamento de Arauca - 2018</i>	10
<i>Ilustración 2. Cobertura de acueducto de departamento de Arauca - 2021</i>	11
<i>Ilustración 3. Mapa geográfico con división veredal Arauquita</i>	14
<i>Ilustración 4. Esquema convencional para agua potable</i>	22
<i>Ilustración 5 Esquema sistema de bombeo de agua cruda</i>	29
<i>Ilustración 6 Curvas IDF Estación Arauquita</i>	35
<i>Ilustración 7 Consolidación población total por vereda de las muestras de laboratorio</i>	40
<i>Ilustración 8 Aspectos principales a considerar para la implementación de Tecnologías alternativas de potabilización</i>	45
<i>Ilustración 9 Esquema componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable convencional.</i>	47
<i>Ilustración 10 . Esquema componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable Alternativo</i>	47
<i>Ilustración 11 Filtros caseros de cerámica</i>	49
<i>Ilustración 12 Filtros lentos de arena.</i>	51
<i>Ilustración 13 Filtro Carbón activo</i>	52
<i>Ilustración 14 Estado equipos de bombeo beneficiarios</i>	54
<i>Ilustración 15 Esquema procesos unitarios Alternativa 1</i>	59
<i>Ilustración 16 Esquema procesos unitarios Alternativa 2</i>	62

### Lista de tablas

<i>Tabla 1. Normativa Nacional Aplicable</i>	30
<i>Tabla 2 Cuadro de variables</i>	34
<i>Tabla 3 Vereda áreas de desarrollo de proyecto</i>	37
<i>Tabla 4 Total muestras de laboratorio realizadas por vereda</i>	40
<i>Tabla 5 Parámetros establecidos para análisis de agua</i>	41
<i>Tabla 6 Resultados del análisis de las muestras de laboratorio</i>	43
<i>Tabla 7 . Parámetros analizados en las 85 muestras puntuales, valores máximos permisibles Resolución 2115 de 2007.</i>	54
<i>Tabla 8 Parámetros de control de diseño de alternativas para las 85 muestras realizadas por la Empresa CUMARE</i>	55
<i>Tabla 9 Tecnologías y procesos unitarios de tratamiento</i>	56
<i>Tabla 10 Estimación caudal de diseño.</i>	57
<i>Tabla 11 Procesos Unitarios Alternativa 1</i>	58
<i>Tabla 12 Costos de operación asociados a insumos químicos en la operación de la alternativa 1</i>	59
<i>Tabla 13 Costos de Operación y mantenimiento</i>	61
<i>Tabla 14 Procesos unitarios alternativa 2</i>	62
<i>Tabla 15 Costos de operación asociados a insumos químicos en la operación de la alternativa 2</i>	63
<i>Tabla 16 Costos de Operación y mantenimiento</i>	65
<i>Tabla 17 Resumen costos operativos, mantenimiento y construcción e instalación de alternativas</i>	65
<i>Tabla 18 Valores de peso porcentual para cada criterio evaluado sobre la calificación final.</i>	66
<i>Tabla 19 . Matriz de decisión de Alternativas</i>	68
<i>Tabla 20 Selección de Alternativas</i>	70

## Resumen

Este proyecto consiste en diseñar una propuesta para un sistema alternativo individual de agua potable para ochenta y cinco (85) familias del municipio de Arauquita, en búsqueda de dar solución a la problemática del municipio específicamente en la población dispersa del área rural que no cuentan con servicios de acueducto y alcantarillado. La presente investigación se realizó con un enfoque cuantitativo y alcance descriptivo, donde se consolidó las muestras de agua obtenidas por la empresa CUMARE y analizaron de acuerdo a los parámetros establecidos por la norma, posteriormente se propuso dos alternativas de diseño alineadas con el ministerio de salud y protección social, plan básico de ordenamiento territorial (PBOT) del municipio a través de un sistema alternativo de agua potable que incluye un sistema de bombeo fuente fotovoltaico y sistema de tratamiento modular con tanques de floculación y filtros fabricados en fibra de vidrio reforzada, compuesto por una cámara de floculación, tanque de sedimentación, tanque de contacto y una torre de aireación en material de poliéster reforzado en fibra de vidrio para el correcto funcionamiento del sistema.

*Palabras clave:* Sistemas alternativos de agua, calidad de vida, agua potable, tratamiento de agua.

## Abstract

This project consists of designing a proposal for an individual alternative drinking water system for eighty-five (85) families in the municipality of Arauquita, in search of a solution to the problems of the municipality, specifically in the dispersed population of

the rural area that does not have water and sewage services. This research was carried out with a quantitative approach and descriptive scope, where the water samples obtained by the company CUMARE were consolidated and analyzed according to the parameters established by the standard, then two design alternatives aligned with the Ministry of Health and Social Protection were proposed, The design of an alternative drinking water system that includes a photovoltaic source pumping system and a modular treatment system with flocculation tanks and filters made of reinforced fiberglass, composed of a flocculation chamber, sedimentation tank, contact tank and an aeration tower made of fiberglass reinforced polyester material for the proper functioning of the system.

**Key words:** Alternative water systems, quality of life, drinking water, water treatment.

## **1. Introducción**

### **1.1. Planteamiento del Problema**

#### **1.1.1. Antecedentes**

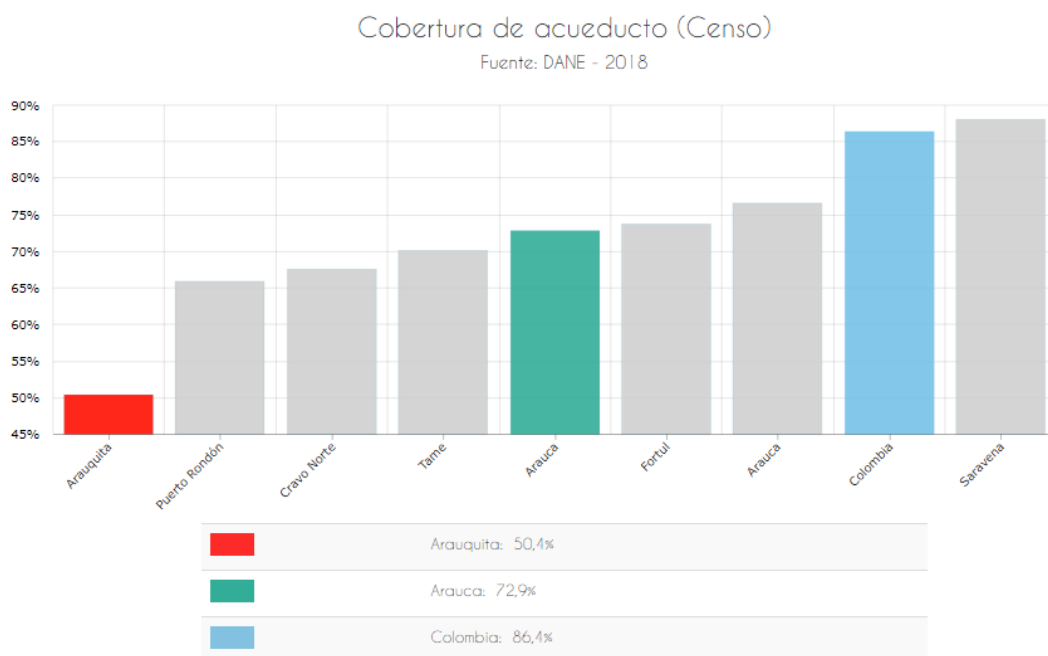
Según la (Organización mundial de la salud-OMS, 2023), el consumo de agua contaminada con microorganismos puede propagar enfermedades como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la polio. Se calcula que esta contaminación provoca cada año 505.000 muertes por enfermedades diarreicas

De acuerdo con el reporte del (Dane, 2018), en el Departamento de Arauca la población rural presenta problemas de salud por el agua que se encuentra contaminada al no tener acceso a acueductos que cubran las necesidades de la población en calidad, cantidad, ni continuidad; además, la mayoría de las viviendas rurales son dispersas, dificultando así la construcción de sistemas de acueductos por los altos costos y por lo tanto, las familias deben recurrir a la construcción de aljibes o puntillos para garantizar al menos el acceso del recurso hídrico sin contar con ningún tratamiento previo para su consumo.

Según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (2022) (Caro Caro & Tovar Hernández) del municipio, Arauquita está compuesto por 15 distritos y 154 veredas. De acuerdo con las proyecciones del censo de (Dane, 2018) la población del municipio está en 62.499 habitantes para el 2023, de los cuales 73% (45.642) se encuentran en la zona rural (centros poblados y dispersa).

Referente a la cobertura de acueducto, según los datos del (Dane, 2018) el departamento de Arauca es de 72,95 y el del municipio de Arauquita una cobertura de acueducto de 50,4% (urbana y rural), ambas por debajo de la cobertura nacional que es del 86,4%.

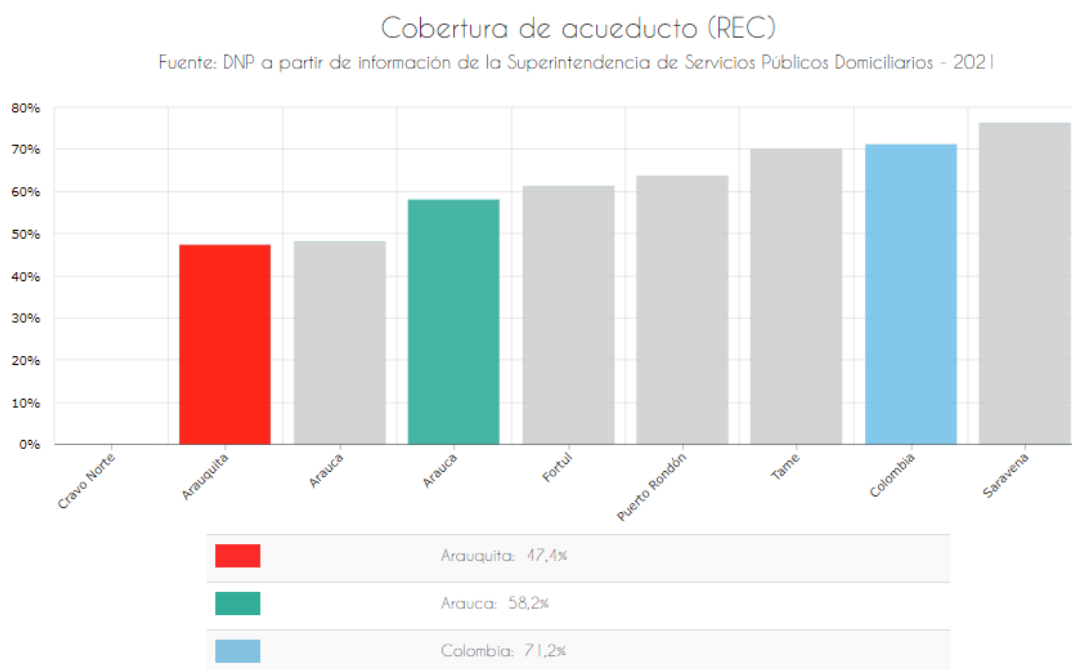
*Ilustración 1. Cobertura de acueducto de departamento de Arauca - 2018*



Fuente: DNP Terri Data, Sistema de estadísticas territoriales, Arauquita Arauca

Sin embargo, según DNP (Departamento Nacional de Planeación, 2021) , a partir de la información actualizada de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios en el 2021, la tasa de cobertura de acueducto en el Departamento de Arauca era de 58,2%, superior a la registrada en el 2018. No obstante, la tasa de cobertura del municipio de Arauquita si registra datos inferiores, con un 47,4%, esta reducción también se refleja a nivel nacional con un 71,2%.

## Ilustración 2. Cobertura de acueducto de departamento de Arauca - 2021



Fuente: DNP Terri Data, Sistema de estadísticas territoriales, Arauquita Arauca

### 1.2. Descripción del problema

La mayoría de las viviendas en el área rural extraen en agua de pozos, elaborados artesanalmente, utilizada para el consumo humano, la cocina, el aseo personal, entre otras actividades domésticas, no obstante, la calidad del agua que extraen no es potable, es decir no es apta para el consumo humano. Además, las herramientas utilizadas para la extracción de agua son herramientas poco convencionales, no apropiadas para estos usos, aparte de los daños medio ambientales que estas prácticas pueden ocasionar.

Por otra parte, de acuerdo con la (Organización mundial de la salud-OMS, 2023) dado los niveles de hierro y otros metales del agua extraída de manera tradicional

mediante puntillos y el saneamiento deficiente se han relacionado con la propagación de enfermedades como el cólera, otras enfermedades diarreicas, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la polio. Cuando los servicios de agua y saneamiento no están disponibles, o cuando estos servicios son inadecuados o están mal administrados, las personas enfrentan riesgos para la salud prevenibles.

### **1.3. Pregunta de investigación.**

¿Qué propuesta de diseño de un sistema alternativo individual de agua potable se puede implementar en el municipio de Arauquita de acuerdo con el análisis físico-químico del agua?

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo general.**

Analizar las características fisicoquímicas del agua de las veredas del Municipio de Arauquita a través los resultados de laboratorio obtenidos por la empresa Prestadora de servicios públicos del Departamento de Arauca (CUMARE) para proponer un sistema alternativo individual que mejore la calidad de agua para el consumo que debe estar alineadas con la normativa del sector.

#### **1.4.2. Objetivos específicos.**

1. Identificar el número de viviendas que no cuentan con el servicio de agua potable en el Municipio de Arauquita.
2. Analizar el estado del agua según la caracterización e identificar qué características exceden el límite permitido por la normatividad colombiana para agua de consumo.

3. Establecer alternativas de tratamiento con base a los resultados fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras que fueron tomadas en cada punto de abastecimiento de los beneficiarios seleccionados
4. Identificar la alternativa más favorable para la propuesta de diseño de un sistema de potabilización individual de agua potable, mediante la matriz de selección de alternativa.

## **1.5. Justificación**

### **1.5.1. Justificación social**

De acuerdo con la (Organización mundial de la salud-OMS, 2023), el agua es la base de la vida, pero el agua limpia, potable y segura es la columna vertebral de la civilización, además de ser un derecho, es uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6) (Carey, 2022) y conlleva la promesa de Calidad de la vida y las expectativas han mejorado dramáticamente en algunos de los países más pobres del mundo.

Araucita corresponde a la cuenca del río Orinoco y tiene numerosos cursos de agua, todos originados en la Cordillera Oriental y fluyendo hacia el este a través de las tierras planas, dando como resultado muchos ríos y canales secundarios a lo largo del camino. La ciudad se nutre de su patrimonio hídrico simbolizado en lagunas y humedales, así como en sus numerosos ríos, caños y quebradas. (Araucita M. , 2016)

Araucita posee un clima tropical de sabana. Se siente calor todos los meses, en tiempo secos como en húmedos. La temperatura media anual en Araucita es 33° y



Araucita se compone en un Centro Local Secundario, conformado por la Alcaldía Municipal y 7 Inspecciones de Policía, en lo político está el centro poblado urbano, 10 centros poblados rurales y 153 veredas. (Araucita C. M., 2017)

Por ende, esta investigación es importante para la comunidad del Municipio de Araucita en vista de que busca proponer una propuesta de diseño de un sistema alternativo que este alineado con las metodologías de coordinación y planificación para obtener resultados eficientes que mejoren la salud y bienestar de la comunidad

### **1.5.2. Justificación teórica**

En Colombia, en términos de acceso a agua cruda, según el Plan director de Agua y Saneamiento Básico (PDASB) durante el periodo 2011-2017, el porcentaje de la población con acceso al suministro de agua potable ha aumentado: 97,8 cada 100 personas tienen acceso a agua potable, en comparación entre el 2010 y 2015 solo 91,4 personas (por cada 100 personas) tenía acceso al agua. Esto permite mejorar las condiciones de los ciudadanos que tienen que caminar durante largos períodos de tiempo para acceder a recursos o a fuentes de agua contaminadas. El mismo aumento se observó en el número de personas con acceso a instalaciones mejoradas de saneamiento básico, pasando del 81,1% en 2015 al 88,2% en 2017. (Social, 2023).

Según el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (2022) del municipio (Caro Caro & Tovar Hernández), Araucita está compuesto por 15 distritos y 154 veredas. De acuerdo con las proyecciones del censo del DANE del 2018 la población del municipio está en 62.499 habitantes para el 2023, de los cuales 73% (45.642) se encuentran en la zona rural (centros poblados y dispersa).

Referente a la cobertura de acueducto, según los datos del (Dane, 2018) el departamento de Arauca es de 72,95 y el del municipio de Arauquita una cobertura de acueducto de 50,4% (urbana y rural), ambas por debajo de la cobertura nacional que es del 86,4%.

Sin embargo, según reportes de (Departamento Nacional de planeación, 2030), a partir de la información actualizada de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios en el 2021, la tasa de cobertura de acueducto en el Departamento de Arauca era de 58,2%, superior a la registrada en el 2018. No obstante, la tasa de cobertura del municipio de Arauquita si registra datos inferiores, con un 47,4%, esta reducción también se refleja a nivel nacional con un 71,2%.

En la zona rural dispersa del municipio de Arauquita, de las 7.797 viviendas existentes, tan sólo el 10% que equivale a 785 aproximadamente, cuentan sistemas de potabilización en sus viviendas; y el restante, es decir 7.012 viviendas, a pesar de tener puntillos o aljibes, consumen agua sin ningún tratamiento, generando un alto riesgo en la salud por enfermedades gastrointestinales

Esta investigación consiste en análisis e identificar las características físico-químicas del agua de la población específica del municipio de Arauquita para proponer un diseño de un sistema alternativo de agua potable para población dispersa que servirá de base para otros proyectos, ya que puede ser aplicado al resto de municipios del país en situación similar que requiere desarrollar sistemas de potabilización de agua que beneficie a diferentes grupos de la población.

### **1.5.3. Justificación metodológica**

Para desarrollar adecuadamente los elementos determinados que indican el

bosquejo del sistema de potabilización, como base principal es necesario analizar los resultados obtenidos mediante muestras de laboratorios realizados por la empresa Prestadora de servicios públicos del Departamento de Arauca (Cumare) a la comunidad del municipio de Arauquita para identificar la alternativa más favorable y proponer un diseño de un sistema de potabilización unifamiliar de acuerdo con la norma de diseño colombianas. Además, los métodos de investigación cualitativos como cuantitativos serán esenciales para establecer el proceder de las variables que se logran medir y de las que no, proporcionando una perspectiva integral y completa de dificultad para darle solución a la problemática que se viene presentando en las veredas del Municipio de Arauquita.

Según el Ministerio de Salud y Protección Social, las tecnologías alternativas de abastecimiento de agua potable y saneamiento básico brindan una solución para acceder a estos servicios, especialmente para poblaciones dispersas, que no han visto satisfechas sus necesidades básicas de agua potable para consumo y eliminación de desechos líquidos y sólidos. El acceso al agua potable y al saneamiento básico estuvo establecido como un derecho humanitario en el artículo 25 de la Declaración Universal de Derechos Humanos de las Naciones Unidas de diciembre de 1948 y corroborado en 2010. Lo primero demuestra la importancia esencial del acceso al agua para el progreso y la decencia de las personas. y un significativo concluyente social de la salud y una herramienta fundamental en la lucha contra la pobreza. (SOCIAL, 2014)

Por ende, este seminario de investigación busca realizar un análisis de las características físico-químicas del agua con el objetivo de proponer una alternativa de diseño de un sistema alternativo de agua potable para los habitantes del municipio de

Arauquita, donde se lleva a cabo una metodología de enfoque técnico - práctico, a través de las fichas de caracterización levantadas en campo por la empresa Prestadora de servicios públicos del Departamento de Arauca(Cumare) para caracterizarlas y evaluar las condiciones de calidad y elegir el mejor tratamiento posible, este proyecto se dividió en dos fases, la primera fase fue la estructuración y análisis de los resultados de laboratorio para identificar el comportamiento del agua, la segunda fase fue la interpretación de los resultados y propuesta de alternativa de diseño para el tratamiento del agua. .

## **2. Marco teórico**

El acceso al agua potable es un derecho fundamental que cumple con requisitos básicos de bienestar y confort. Según (Organización mundial de la salud-OMS, 2023), una persona requiere 100 litros de agua por día para cubrir sus necesidades de consumo e higiene, lo que se denomina requerimiento per cápita.

En el área rural, de acuerdo con el (Dane, 2018), el déficit cuantitativo era de 63.89%; con un total de 9.527 hogares, de los cuales, 6.087 carecían de una vivienda y 2.502 contaban con viviendas que no cumplen las condiciones mínimas de habitabilidad; y tan sólo 938 hogares tienen una vivienda digna.

Según la actualización del 2021 del plan básico de ordenamiento territorial (PBOT) del municipio de Arauquita (Caro Caro & Tovar Hernández) y el (Departamento Nacional de Planeación, 2021), en la zona rural dispersa del municipio de Arauquita, de las 9527 viviendas existentes, tan sólo el 10% que equivale a 953 aproximadamente, cuentan sistemas de potabilización en sus viviendas; y el restante,

es decir 8574 viviendas, a pesar de tener puntillos o aljibes, consumen agua sin ningún tratamiento, generando un alto riesgo en la salud por enfermedades gastrointestinales.

Dentro de la indagación de información secundaria disponible y comunicaciones con los habitantes del municipio de Arauquita se pudo identificar que las familias del área rural dispersa utilizan dos tanques de almacenamiento, uno elevado en PVC y otro superficial. En concreto o prefabricado para el almacenamiento del agua lluvia y/o almacenamiento del agua captada de a través del puntillo para su consumo diario.

### **2.1. Agua potable**

La purificación del agua es un proceso que incluye operaciones físicas y químicas, así como procesos que accede a llevar el agua sin tratamiento a un estado saludable para el consumo humano. (Betancur Flórez & Upegu)

### **2.2. Importancia del tratamiento del agua.**

Esta causa es significativa para proteger el medio ambiente, para la salud y para optimizar la calidad de vida de la localidad, especialmente de quienes viven en la pobreza. Es crucial para la ejecución de las acciones diarias y habituales de la población humana, desde la depuración hasta el manejo y uso inspeccionado del recurso hídrico.

### **2.3. Sistemas de Depuración del Agua**

Los sistemas de tratamiento de agua se encargan de llevar este recurso a estado potable para el consumo humano sin que simbolice un riesgo para la salud por medio de la aplicación de tratamientos para eliminar contaminantes. En estos sistemas encontramos sistemas tradicionales y métodos de limpieza alternativos. (Ministerio de vivienda c. y., 2010)

#### **2.4. Sistema convencional de suministro de agua potable.**

Son sistemas diseñados y construidos con base en criterios de ingeniería tradicional aprobados y adecuados a nivel municipal; con el objetivo de brindar a la comunidad servicios de agua potable que sean capaces de eliminar turbidez, sedimentos, microorganismos, dureza, olor, color y las propiedades requeridas, dependiendo del estado del agua cruda; Este sistema debe diseñarse en base al análisis de trazabilidad y las características del lugar que permita su aplicación. (S.A.S, 2018)

#### **2.5. Sistemas alternos de abastecimiento de agua potable.**

En tanto, un sistema alternativo es un sistema que permite realizar el proceso de purificación del agua para consumo humano mediante métodos no convencionales, de manera que el agua tratada pueda cumplir con los requisitos establecidos para el agua potable. Este suministro alternativo de agua se puede implementar en zonas rurales, donde el acceso al agua potable es difícil. Para ello, las aplicaciones pueden ir desde técnicas naturales hasta tecnologías alternativas no convencionales, que no requieren grandes costes económicos. (Ministerio de Ambiente, 2010)

#### **2.6. Niveles de servicio en suministro del agua.**

Los niveles de servicio indican cómo los usuarios reciben el servicio de agua potable en sus hogares, ya sea a nivel público o multifamiliar. A nivel de servicio multifamiliar, el agua es de pequeñas fuentes, el uso se realiza exclusivamente a través de reservorios públicos abastecidos con redes, donde las familias beneficiarias deben transportar el agua hasta sus residencias. El nivel de conexión domiciliaria o familiar resulta de conexiones individuales directas en viviendas de la red pública, que se

conectan con el interior de la vivienda, que puede ser el exterior o el interior de la vivienda. (Barrios, 2009)

## 2.7. Descripción de etapas del sistema de potabilización convencional por bombeo

Los procesos para la obtención de agua potable incluyen: alimentación, cribas, pretratamiento, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, distribución y deben cumplir con los requerimientos de la normatividad, para el caso de Colombia es la resolución 2215 de 2007 como se describe a continuación. (Ministerio de vivienda c. y., 2010)

- ✚ **Fuente:** Captación de agua (Toma de agua cruda).
- ✚ **Rejillas:** Su finalidad es retener materiales sólidos gruesos y basura que puedan afectar el funcionamiento de bombas, válvulas y aireadores para evitar dañar las máquinas.
- ✚ **Pretratamiento:** Su función es ayudar al desarenador a separar la arena del agua para evitar que la arena dañe las bombas de la planta de tratamiento de agua. En esta etapa también es habitual la pre-desinfección para destruir parte de la materia orgánica.
- ✚ **Coagulación:** La coagulación es la mezcla de los componentes que hacen que el agua sea potable. Durante esta etapa del proceso de purificación del agua, el pH se ajusta agregando ácidos y se agregan coagulantes al agua como el sulfato de aluminio. (Roxlo, s.f.)
- ✚ **Floculación:** Luego de la coagulación, se debe mezclar de manera lenta para que las partículas se unan y logren un mejor tamaño, así como también, eliminar

sedimentos densos. Existen diferentes tipos de filtros, como de arena o carbón activado, y éstos pueden ser abiertos y por gravedad o cerrados y a presión.

(Acciona Business as unusual, 2020)

- ✚ **Sedimentación:** Su función principal es eliminar sedimentos para darle claridad al agua.
- ✚ **Filtración:** Es el proceso final para la claridad del agua y debe cumplir la normativa del decreto 1575 del 2007 resolución 2115 de 2007 donde se identifica el comportamiento del agua.
- ✚ **Desinfección:** Consiste en agregarle el cloro para eliminar los microorganismos que puedan generarles enfermedades a las personas.
- ✚ **Estabilización:** El objetivo es reducir o eliminar las bacterias que causen enfermedades y los microorganismos que causen olores.
- ✚ **Distribución:** El agua es distribuida por la red de distribución para que llegue a cada vivienda.

*Ilustración 4. Esquema convencional para agua potable*



Fuente: Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, Colombia, Título C, Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico-RAS, C. y. T. Ministerio de Vivienda, Ed., Bogotá, 2010.

## **2.8. Estado de arte**

Esta sección divulga fuentes bibliográficas seleccionadas basadas en una búsqueda bibliográfica exhaustiva y una selección de investigaciones de excelencia.

### **2.8.1. Global**

A nivel mundial, la importancia del tratamiento del agua y el saneamiento ha aumentado en los últimos años debido a los Objetivos de Desarrollo Sostenible para 2030. El ODS 6 (Corporativa) propone "garantizar el acceso y el tratamiento sostenible del agua" y el saneamiento. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible tienen como meta lograr el acceso universal e igualitario al agua potable a un precio asequible, garantizar un acceso igualitario y adecuado a los servicios de saneamiento e higiene para todos y poner fin a la defecación al aire libre, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres. Eligieron niñas y grupos desfavorecidos para demostrarlo ((PNUD)). Las referencias bibliográficas fueron las siguientes:

"Mejorar el suministro de agua potable en las zonas rurales de Serbia" (United). La publicación afirma que las personas que viven en zonas rurales suelen ser las más vulnerables a los riesgos de enfermedades porque la calidad de los servicios que se les brinda es mejor que en las zonas rurales. país. en áreas rurales. Ciudad. Compare la calidad de los servicios proporcionados por el distrito. La publicación se centra en soluciones a pequeña escala, ya que los informes indican que estos sistemas suponen un mayor riesgo para la salud en Serbia porque no se tratan ni desinfectan adecuadamente y dejan de funcionar durante los períodos de sequía. La publicación intenta comprobar si el enfoque a pequeña escala funciona analizando el agua

suministrada. Los análisis de agua mostraron que solo el 68% de las muestras de agua de stocks individuales cumplían con los requisitos internacionales para análisis microbiano y solo el 29% tenía características físicas y químicas, el mayor riesgo evidente es que estas fuentes no cuentan con sistemas de desinfección, la mayoría ha entrado en contacto con animales y algunos son causados por personal no calificado. Sólo el 28% de los sistemas pequeños no requirieron mejoras. El estudio sensibiliza por primera vez a la población de las zonas rurales sobre la calidad de su agua potable, lo que ilustra una vez más la división entre las zonas urbanas y rurales.

“Agua y Saneamiento en el Informe de los Objetivos de Desarrollo del Milenio 2012” (Milenio, 2014). Es un programa implementado por la ONU. El informe destaca que, aunque no existe ninguna propuesta junto con la realización del agua potable universal, si el número de beneficiarios aumenta del 76% en 1990 al 89% en 2010, se observa también que desde 1990 el número de habitantes ha aumentado en 2.000 millones. En 2010, el número de beneficiarios fue de 6.100 millones. Los países con mayores avances fueron China e India, que aumentaron en 457 millones y 522 millones respectivamente. Sin embargo, el 11% de la población aún no tiene acceso al agua potable. El plan destaca que las zonas rurales siguen estando en la situación más desfavorable. Estas áreas no mostraron mucha mejora, cayendo de 1.100 millones de personas en 1990 a 1.100 millones en 1990. En 2010, el número de residentes rurales alcanzó los 653 millones. Esto muestra que la brecha entre las zonas urbanas y rurales sigue siendo muy grande, ya que el número de personas sin acceso al agua potable es cinco veces mayor en las zonas rurales que en las urbanas.

### **2.8.2. Regional (América Latina)**

Por supuesto, el tema del tratamiento del agua es de gran interés en América Latina, y a continuación se encuentran referencias relevantes que cubren ampliamente el tema. Implementación de programas rurales de agua y saneamiento: desafíos en América Latina y el Caribe (caribe, 2013). Esta nota técnica del Banco Interamericano de Desarrollo (Soulier Faure, Ducci, Altamira, & Perroni, 2013), afirma que 34 millones de personas en América Latina y el Caribe aún no tienen acceso a agua potable segura y que 106 millones de personas no tienen acceso a un saneamiento adecuado; Estos 18,5 millones de personas proceden principalmente de zonas rurales. Incluso considerando la definición mejorada de agua potable y saneamiento en 2015, ya que el marco de los Objetivos de Desarrollo Sostenible incluye el concepto de agua limpia (con acceso a fuentes mejoradas de agua potable doméstica si es necesario), libre de contaminación fecal y productos químicos prioritarios. desechos contaminantes) y sistemas de saneamiento seguros (las instalaciones mejoradas no se comparten con otros hogares y los excrementos se entierran de manera segura en el lugar o se transportan y eliminan fuera del hogar). Como resultado, los desafíos de APS están aumentando, según la nota técnica. La nota analiza el ámbito administrativo y muestra cómo se gestionan los recursos hídricos, el saneamiento y el saneamiento rural en algunos países, como Perú, donde este sector está alojado en una agencia que también es responsable del sector de vivienda. También se incluye, que Uruguay lidera la política en salud primaria rural, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Salud de Colombia, muestra el enfoque nacional en la prestación de servicios de atención primaria de salud en el área de desarrollo

habitacional y urbanización. Por otro lado, también está en el Ministerio responsable de la vivienda (Vivienda, Urbanismo y Ministerio de las Regiones), aunque más bajo el enfoque de desarrollo territorial. Ministerio de Vivienda, pero este a su vez está dirigido al Ministerio de Medio Ambiente.

### **2.8.3. Local (Colombia)**

A continuación, se enumeran las referencias que detallan la encuesta de Agua Potable de Colombia.

Programa de Abastecimiento y Saneamiento Rural y Suburbano (Prep Prog Agua y Saneamiento Zonas Rurales y Periurbanas, 2011), Este programa fue iniciado por el Banco Interamericano de Desarrollo. (Navia Díaz, Aguilera, & Bohórquez, 2022), El objetivo del programa es cerrar la brecha en el suministro de agua potable y saneamiento en zonas rurales y periurbanas. En las ciudades, se da prioridad a las comunidades que viven en zonas con mayores niveles de pobreza y necesidades básicas insatisfechas. El programa involucro a los municipios urbanos, quienes serán responsables de la implementación de los proyectos en las comunidades beneficiarias bajo su jurisdicción. El Estado subsidiará parcialmente las inversiones y necesidades para el fortalecimiento de la comunidad local, tratando de utilizar los recursos de las unidades territoriales y, si es posible, los recursos del público y otros donantes. El programa se implementará en estrecha cooperación con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural para abordar cuestiones de política de vivienda rural, y con otras áreas del MAVDT para abordar la gestión integrada de los recursos hídricos y la política de cambio climático. Para apoyar a las comunidades atrasadas y con bajas habilidades de

gestión, el programa brindará asistencia técnica en la preparación del proyecto y garantizará la participación pública en el ciclo del proyecto.

El plan constará de cuatro componentes: inversiones en infraestructura para establecer y/o ampliar proyectos de agua potable y saneamiento en zonas rurales y conexiones domiciliarias en zonas urbanas de extrema pobreza, incluido el ciclo requerido de actividades de educación y extensión comunitaria (\$44 millones). ; preparación de proyectos integrados para el desarrollo comunitario y el abastecimiento de agua y saneamiento rural, y vínculos entre hogares en áreas urbanas (teniendo en cuenta aspectos técnicos, económicos, ambientales y sociales) (\$6 millones);

Fortalecimiento de la formación institucional nacional de unidades a nivel municipal y distrital, revisión del marco de regulación, control y supervisión de los proveedores de servicios rurales y recomendaciones de correcciones (simplificación) (\$2 millones); desarrollo e implementación de planes de prestación de servicios sostenibles (USD 3 millones). Además, se cubrirán los costos de administración, promoción, seguimiento, monitoreo y evaluación del programa. Programa “Agua para todos” Este es un proyecto rural del Ministerio de Vivienda, que tiene como objetivo considerar un enfoque especial en materia de abastecimiento de agua y saneamiento básico en las zonas rurales para reducir la brecha existente con las ciudades rurales.

El programa otorgó 124.400 millones de dólares entre 2012 y 2014. El programa beneficio específicamente a aproximadamente 135.000 habitantes con necesidades insatisfechas, municipios en territorios integrados, comunidades indígenas y afrodescendientes. El efecto del programa fue superposición, reducción de fugas directas a cuerpos de agua en sistemas de abastecimiento de agua y gestión de aguas

residuales, suministro de agua potable, continuidad del suministro del sistema y soluciones sanitarias.

“Diseño de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) en la provincia de Cundinamarca y análisis de la calidad del agua cruda y tratada” (TOCHOY, 2015) Este es un trabajo de tesis realizado por estudiantes de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, que tiene como objetivo analizar la normativa vigente desarrollada con nuevas y optimizadas PTAP en la provincia de Cundinamarca y la calidad del agua tratada en las mismas, para lo cual recopilaron información sobre proyectos de PTAP que se encuentran en los archivos de las empresas cotizadas en Cundinamarca, realizaron un estudio detallado de la normativa RAS de agua potable e higiene y al comprobar otras políticas de gestión de agua potable y verificando el cumplimiento de los PTAP, encontraron que: Muchos PTAP no tomaban en cuenta análisis de elementos como el mercurio, y muchas veces no lo hacían. Por lo tanto, no es recomendado realizar un tratamiento de agua cuando no se cuenta con un el análisis del agua para ser utilizada como abastecimiento de agua potable, ya que el cuerpo de agua es sometido a muchos procesos de depuración que permiten regresar el agua lo más parecido a su estado natural de acuerdo con sus características, físicas, químicas y biológicas.

“Diseño hidráulico de la planta potabilizadora del pueblo de San Antonio de Anapoima” (Carrillo-Bernal & Pulido-Muñoz, 2016) Este es un trabajo de fin de grado, como sugiere el título, el diseño hidráulico de la planta potabilizadora del pueblo de San Antonio de Anapoima, por lo que realizando todos los pasos establecidos por RAS 2000, teniendo en cuenta la calidad del agua consumida por las personas, al tratarse

de un proyecto de ingeniería enfocado en el diseño de la planta de tratamiento de agua potable.

### 2.9. Potabilización de agua por sistema de bombeo

El sistema de bombeo de agua cruda para tratamiento y consumo humano es esencial para garantizar que el agua obtenida de fuentes naturales, como ríos, lagos o pozos, sea segura y potable antes de ser distribuida a la población, El sistema involucrado para el tratamiento de agua cruda proveniente del puntillo está compuesto de la siguiente manera: tubería de Pozo, electrobomba solar, panel Solar, tablero eléctrico y una bomba manual de respaldo, estos procesos se llevan a cabo como observa en la ilustración 5.

*Ilustración 5 Esquema sistema de bombeo de agua cruda*



Fuente: Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, Colombia, Título C, Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico-RAS, C. y. T. Ministerio de Vivienda, Ed., Bogotá, 2010.

### 3. Marco legal

A continuación, se relaciona la normatividad nacional aplicable para el análisis físico-químico y propuesta de diseño de un sistema alternativo individual para el mejoramiento de la calidad de agua para consumo humano en el área rural del municipio de Arauquita.

*Tabla 1. Normativa Nacional Aplicable*

<b>NORMATIVA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Ley 9 de 1979	Dicta las medidas sanitarias de la protección del Medio Ambiente
Decreto 1076 del 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible
Decreto 3930 de 2010	Establece parámetros sobre usos de aguas y residuos líquidos, da a conocer las normas sobre vertimientos para toda descarga de residuo líquido.
Resolución 0631 de 2015	Establece los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones
Resolución 179 de 2017: Reglamenta el Decreto 890 de 2017	Incluye las tipologías para las soluciones individuales de agua y saneamiento en viviendas dispersas.
NTC 1500: En cuanto al diseño hidráulico, la NTC 1500—Código Colombiano de Fontanería	Establece los requisitos mínimos para garantizar el funcionamiento correcto de los sistemas de abastecimiento de agua potable.
CONPES 3810	Define la Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural
Decreto 1575 del 2007 resolución 2115 de 2007	Identifica el comportamiento del agua en relación con el (pH, turbidez, color, hierro, aluminio, entre otros.).
Resolución 0330 de 2017, expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio,	Adopta el Reglamento Técnico para el Sector Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005 y 2320 de 2009
Título J - Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural – en su versión de julio de 2021	Manual de buenas prácticas de ingeniería con recomendaciones para la planeación, construcción y puesta en marcha de los proyectos rurales

Fuente: Elaboración propia.

#### 4. Marco Institucional

En el proceso de recopilación y análisis de información se investigó la información existente sobre el estado actual del suministro de agua potable y drenaje de aguas residuales en el municipio de Arauquita, aspectos físicos representativos del área de estudio, información meteorológica relevante, entre otras.

A continuación, se presentan las fuentes principales de búsqueda información mencionada anteriormente:

- Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio de Arauquita
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística -DANE
- Departamento Nacional de Planeación – DNP.

En atención al Documento Plan de Desarrollo Municipal Arauquita Sostenible “Creamos, creemos, crecemos” 2020-2023, Los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, en la cabecera municipal, son prestados directamente por la Secretaría de Servicios Públicos, cuyo esquema es inviable, institucionalmente, en materia de “aseguramiento”, según el diagnóstico realizado por la Empresa “CUMARE S.A. ESP”, gestora de los Programas Aguas para la Prosperidad y los Planes Departamentales de Agua (PAPPDA) Aun así, el Municipio no ha avanzado hacia la creación de una empresa autónoma que se encargue de la administración, operación y prestación de los servicios de agua potable y saneamiento básico.

La cabecera municipal de Arauquita y el corregimiento de La Esmeralda presentan la mayor cobertura registrando más del 95%, mientras que, en las zonas rurales nucleadas, estos valores sólo llegan al 85%. El centro poblado de Puerto Jordán registra el nivel más bajo de los centros poblados que cuentan con acueducto

con una cobertura con 77%. El caso más crítico se da en el centro poblado La Paz, donde no se cuenta con infraestructura ni redes para la prestación del servicio.

En términos de calidad de agua según el Plan de Desarrollo Municipal Arauquita Sostenible “Creamos, creemos, crecemos” 2020-2023, solo existen datos del área urbana, registrando que el Índice de Riesgo y Calidad del Agua (IRCA), el área urbana presentó un 8,12%, en el 2015, disminuyendo al 6,66% en 2018, lo cual indica un leve mejoramiento en la calidad del agua, sin embargo, se mantiene a 2,66 puntos de la categoría "sin riesgo".

En el área rural nucleada, el IRCA se encontró para el 2018 en un nivel de riesgo medio (21,83), presentando una disminución de más del 13% respecto al cuatrienio pasado, bajando el nivel de riesgo de "alto" (35,21), al valor actual.

## **5. Metodología**

### **5.1. Enfoque, alcance y diseño de la investigación**

Teniendo en cuenta el objetivo general de la investigación el cual se enfoca en analizar las muestras fisio-químicas realizadas a ochenta y cinco (85) viviendas del municipio de Arauquita obtenidas por parte de la Empresa “CUMARE S.A. ESP”, gestora de los Programas Aguas para la Prosperidad y los Planes Departamentales de Agua (PAPPDA) para proponer un diseño de sistema alternativo individual que mejore la calidad de agua para el consumo humano en el área rural, se utilizará una investigación con enfoque cualitativo, que parte de la caracterización de agua de la población encuesta por parte de la empresa CUMARE, donde se identificará el

comportamiento del agua para proponer una solución estándar que pueda impactar y beneficiar a la población a través de un sistema individual alternativo de agua potable.

Por otra parte, cumpliendo con el alcance de la investigación se ha trazado de carácter descriptivo dado que se analizarán las propiedades claves como lo son pH, turbidez, color, hierro y aluminio, considerando la caracterización de agua realizada por parte de la Empresa “CUMARE S.A. ESP”, y en base a los resultados de laboratorio, se propone la propuesta para el diseño de sistema alternativo de acuerdo con las necesidades de las personas.

El presente documento contiene el análisis del comportamiento del agua respecto a las condiciones de saneamiento básico específicamente agua potable, en la zona rural dispersa del municipio de Arauquita, así como la problemática presente, la justificación al proyecto propuesto y la alternativa planteada en comunidades rurales es indiscutiblemente la disminución de índices de pobreza, problemas de salud, deterioro de ecosistemas y contaminación de recursos naturales en esta zona.

## **5.2. Definición de variables**

Las variables necesarias para la elaboración de este documento son fuente de información secundarias (Análisis de muestras de agua) y terciarias (revisión de fuentes bibliográficas para revisión de sistemas alternativos de agua potable en zonas rurales según lineamiento del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y retroalimentación de la empresa de servicios públicos de Arauca).

Como variables independientes se identificaron

- a. **Caracterización de agua no tratada:** Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos al agua cruda.

Como variables dependientes se identificaron

- a. **Caudal de diseño de la solución agua potable:** Caudal de diseño de la solución agua potable el cual depende de la cantidad de beneficiarios por familia que requieren el servicio.

Considerando las variables dependientes e independientes de la investigación.

Como se muestra, se deben establecer indicadores de variables, instrumento y recolección de información. Como se puede observar en la Tabla 2 en lo que se refieren a este estudio, ya que nos permite conocer cómo se miden.

*Tabla 2 Cuadro de variables*

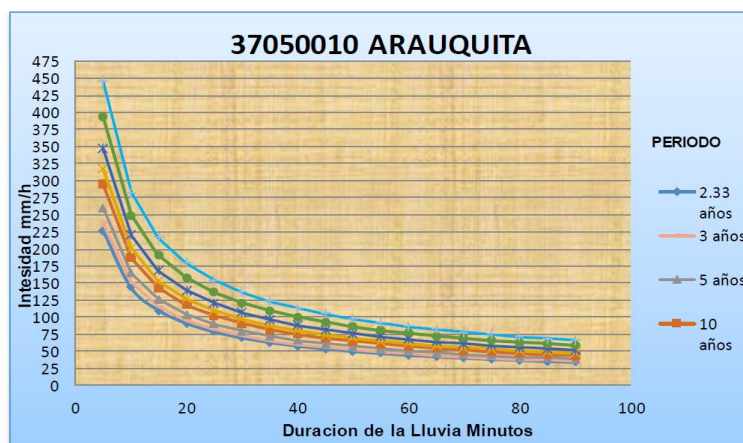
<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores (Variables)</b>	<b>Instrumento</b>	<b>Recolección de información</b>
(Independiente)	Caracterización de agua no tratada	Resultados de laboratorio de las muestras de agua	Ensayos fisicoquímicos y microbiológicos
(Dependiente)	Caudal de diseño de la solución agua potable	Información de la empresa de servicios públicos de Arauca.	$Q = \frac{D}{86400} * U$ Donde: Q= Caudal de entrada requerido D= Dotación neta máxima U= Número de usuarios

Fuente: Elaboración propia.

El plan básico de ordenamiento territorial (PBOT) del municipio de Arauquita, relaciona el análisis de los valores de precipitación y de su distribución tanto temporal como espacial se realiza a partir de los valores de precipitación totales medios mensuales y totales anuales de las estaciones disponibles. En términos de precipitación media el plan básico de ordenamiento territorial (PBOT), 2019 infiere un régimen monomodal reflejando un pico de precipitación durante el año en los meses de mayo y junio, se hallan periodos de baja pluviosidad entre enero y febrero, presentando su pico máximo en el mes de mayo con 295.61 mm seguido del pico de 281 mm en el mes de junio; los valores más bajos se presentan en los meses de febrero con 10 mm. En cuanto a la precipitación total anual “las mayores precipitaciones se presentan hacia el este de la cuenca reportada por las estaciones Santa Inés y Morichal con 2770 mm y 2176 mm respectivamente”, (Caro Caro & Tovar Hernández)

A continuación, se relacionan las curvas IDF generadas por la consultoría encargada de actualizar el PBOT del municipio de Arauquita en el año 2019.

*Ilustración 6 Curvas IDF Estación Arauquita*



Fuente: UT. PBOT ARAUQUITA 2019.

### **5.3. Población y muestra.**

Teniendo en cuenta la información obtenida de la empresa CUMARE para esta investigación trabajaremos una muestra de población no probabilística, que son los habitantes de las veredas del Municipio de Arauquita específicamente 13 veredas del área rural, que permite obtener información como resultados de laboratorio, datos de los posibles beneficiarios, facilidad de consolidar información del plan básico de ordenamiento territorial (PBOT) del municipio de Arauquita.

Según la actualización del PBOT del municipio de Arauquita del 2019, en la zona rural dispersa del municipio de Arauquita, de las 7.797 viviendas existentes, tan sólo el 10% que equivale a 785 aproximadamente, cuentan sistemas de potabilización en sus viviendas; y el restante, es decir 7.012 viviendas, a pesar de tener puntillos o aljibes, consumen agua sin ningún tratamiento, generando un alto riesgo en la salud por enfermedades gastrointestinales. (Caro Caro & Tovar Hernández).

De acuerdo con la gran demanda que presenta el municipio de Arauquita a través la empresa Prestadora de servicios públicos del Departamento de Arauca (CUMARE) se viene trabajando convocatorias enfocadas en proyectos de sistema alternativo individual que mejore la calidad de agua para el consumo humano para el Departamento de Arauca, por lo tanto, en búsqueda que generar un aporte y identificar las condiciones de Saneamiento básico que se presenta en esta población específica del municipio de Arauquita y con base en información suministrada por CUMARE se planea en este proyecto de investigación proponer un diseño de un sistema alternativo de agua potable a ochenta y cinco (85) viviendas de 13 veredas del área rural, como se

puede observar en la tabla 3 las veredas involucradas en el levantamiento de información en campo para el análisis fisio-químico del agua.

*Tabla 3 Vereda áreas de desarrollo de proyecto*

No.	VEREDA	No.	VEREDA
1	LA OSSA CAÑO LIMÓN	8	LA MAPORITA
2	PUERTO NUEVO	9	BARRANQUILLITA
3	LA PICA	10	CAÑO ARENAS
4	LA ARENOSA	11	LAS ACACIAS
5	LAS BANCAS	12	MATA OSCURA
6	LOS ANGELITOS	13	NUEVA JERUSALÉN
7	LOS ANGELITOS A		

Fuente: Elaboración propia

#### **5.4. Selección de métodos o instrumentos para recolección de información**

Para poder recolectar información es necesario tener en cuenta que existen varias variables en la investigación. En esta investigación se hará uso de los siguientes instrumentos:

Teniendo en cuenta la información suministrada por la empresa (CUMARE) en relación a las muestras realizadas en campo a la población objetiva de la presente investigación se hará una estructuración y analizará el estado del agua según la caracterización e identificar qué características específicamente el pH, turbidez, color, hierro y aluminio exceden el límite permitido por la normatividad colombiana para agua de consumo.

#### **5.5. Método de investigación**

Para alcanzar lo establecido en los objetivos generales y específicos se deberán realizar las siguientes acciones:

- a) Se consolidará la información suministrada por la empresa Cumare de las ochenta y cinco muestras de agua realizadas a la población objetiva de la propuesta y se estructurará una base de datos con la información la cual debe incluir nombre de los beneficiarios, vereda y número de cédula, de igual manera se analizará las muestras de agua cruda mediante el tipo de muestra las cuales están relacionadas en muestras físicas y químicas, por lo tanto, de acuerdo con decreto 1575 del 2007 resolución 2115 de 2007 (s.f, 2007) para el análisis físico el resultado de laboratorio nos permite detectar a través de los sentidos, las condiciones estáticas del agua (turbiedad, color, olor, sabor y temperatura) y el análisis químico nos permitirá analizar el pH (Acidez y alcalinidad), dureza y oxígeno disuelto.
- b) Teniendo en cuenta el análisis de fisio-químico se identificará las alternativas posibles para realizar una propuesta de diseño de un sistema de potabilización individual de agua potable de acuerdo con la necesidad de las familias de las 13 veredas del área rural del Municipio de Arauquita.

#### **5.6. Procesamiento y análisis de datos**

Para el procesamiento y análisis de datos se utilizará la herramienta de Microsoft Excel que nos permite consolidar en tablas de manera clara la información por cada beneficiario de los resultados de laboratorio suministrada por la empresa CUMARE. Así mismo, se identificarán cuáles son las alternativas para la propuesta de diseño de un sistema de potabilización individual, el cual, se llevará a cabo mediante los criterios de selección de tecnológica para alternativas de agua potable convencionales o alternativo, según las características establecidas en la Resolución 2115 de 2007, teniendo en

cuenta los principales aspectos, socioculturales, ambientales, económicos y tecnológicos.

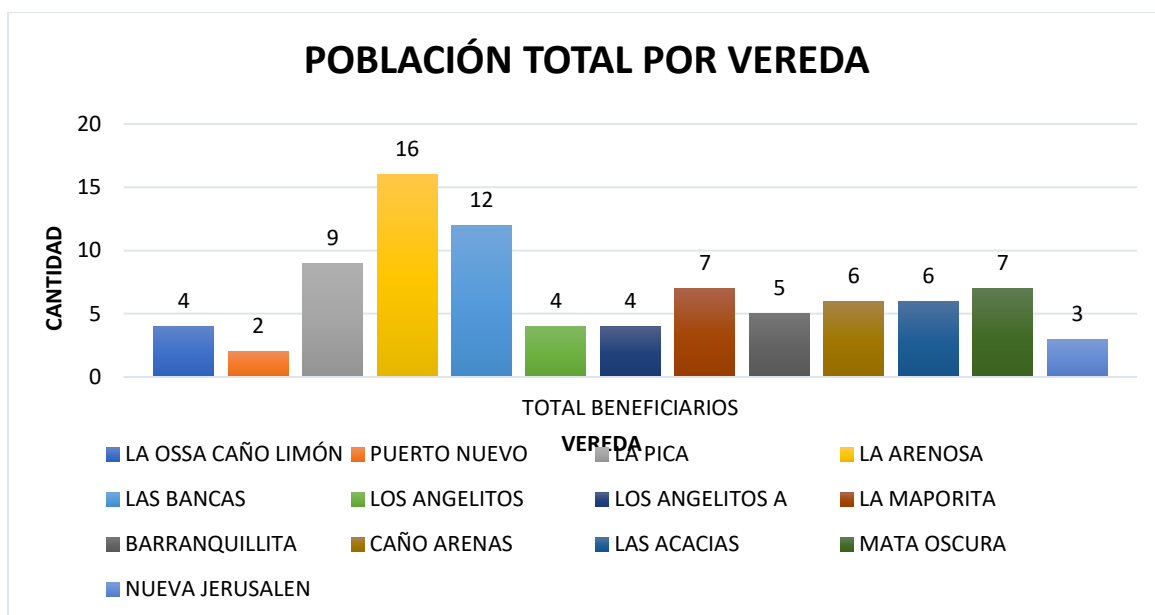
Por último, se plantearán dos alternativas para tratamiento del agua, que permita identificar la alternativa más favorable para la propuesta de diseño de un sistema de potabilización individual de agua potable de acuerdo a la necesidad de las familias y que este alineada con los valores de referencias del decreto 1575 del 2007 resolución 2115 de 2007 (s.f, 2007), el cual consiste en identificar el comportamiento del agua en relación al (pH, turbidez, color, hierro, aluminio, entre otros.).

## **6. Análisis de resultados**

En búsqueda de mejorar las condiciones de vida y saneamiento básico a la población del municipio de Arauquita, principalmente en 13 veredas de área rural, se implemento por parte de la empresa (CUMARE) ochenta y cinco (85) muestra de agua que permiten identificar el comportamiento del agua y brindar una solución a la gran demanda que presenta el municipio por la baja cobertura del servicio de acueducto y alcantarillado.

Por ende, de acuerdo con los resultados de laboratorio obtenido de las muestras realizadas por (CUMARE), se procede a hacer un análisis fisico-químico del comportamiento del agua, donde en relación con el análisis realizado se plantea dos alternativas para la propuesta de diseño de un sistema alternativo de agua potable que permita seleccionar la alternativa más favorable teniendo en cuenta los criterios de selección de tecnologías establecidos en la norma. La consolidación de los resultados del análisis se realiza a través de tablas en Excel y aplicación de ecuaciones que dan soporte a los resultados obtenidos como se puede observar en la ilustración 7 y tabla 4.

Ilustración 7 Consolidación población total por vereda de las muestras de laboratorio



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4 Total muestras de laboratorio realizadas por vereda

VEREDA	TOTAL, BENEFICIARIOS
LA OSSA CAÑO LIMÓN	4
PUERTO NUEVO	2
LA PICA	9
LA ARENOSA	16
LAS BANCAS	12
LOS ANGELITOS	4
LOS ANGELITOS A	4
LA MAPORITA	7
BARRANQUILLITA	5
CAÑO ARENAS	6
LAS ACACIAS	6
MATA OSCURA	7
NUEVA JERUSALÉN	3
<b>TOTAL, MUESTRAS</b>	<b>85</b>

Fuente: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos de los resultados de laboratorio se estructuró una base de datos, la cual, incluye nombre de los beneficiarios, vereda y número de cédula, de igual

manera se consolida los resultados las muestras de agua cruda mediante el tipo de muestra de acuerdo con el decreto 1575 del 2007 resolución 2115 de 2007 (s.f, 2007) que permite determinar las muestras que están fuera de los parámetros de la norma, como se observa en la tabla 5.

*Tabla 5 Parámetros establecidos para análisis de agua*

<b>VALORES DE REFERENCIAS (DEC. 1575DE 2007/RES. 2115 DE 2007)</b>	
ALCALINIDAD TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	MAX. ACEPTABLE ≤ 200 (mg/L)
CALCIO TOTAL (CA)	MAX. ACEPTABLE 60 (mg/L)
CLORUROS (CL <sup>-</sup> )	MAX. ACEPTABLE ≤ 250 (mg/L)
COLOR APARANTE	MAX. ACEPTABLE ≤ 15 (UPC)
CONDUCTIVIDAD**	MAX. ACEPTABLE ≤ 1000 (microsiemens (μS/cm))
HIERRO TOTAL (Fe)	MAX. ACEPTABLE ≤ 0,3 (mg/L)
MAGNESIO TOTAL (Mg)	MAX. ACEPTABLE ≤ 36 (mg/L)
MANGANESO (Mn)	MAX. ACEPTABLE ≤ 0,1 (mg/L)
NITRATOS (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	MAX. ACEPTABLE ≤ 10 (mg/L)
NITRITOS (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	MAX. ACEPTABLE ≤ 0,1 (mg/L)
OLOR	ACEPTABLE O NO ACEPTABLE
PH** (POTENCIAL DE HIDRÓGENO)	MINI. -MAX. ACEPTABLE 6,5-9,0
SOLIDOS TOTALES	MAX. ACEPTABLE (mg/L)
SABOR	ACEPTABLE O NO ACEPTABLE

SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	MAX. ACEPTABLE ≤ 250 (mg/L)
TURBIDEZ	MAX. ACEPTABLE 2 (UNT)
BARIO TOTAL (Ba)	MAX. ACEPTABLE ≤ 0,7 (mg/L)
POTASIO TOTAL (K)	MAX. ACEPTABLE ≤ (mg/L)
SODIO (Na)	MAX. ACEPTABLE ≤ (mg/L)
CARBONATOS	MAX. ACEPTABLE ≤ (mg/L)
BICARBONATOS	MAX. ACEPTABLE ≤ (mg/L)
COLIFORMES TOTALES NMP	MAX. ACEPTABLE (<1 de microorganismo/100cm <sup>3</sup> )
ESCHERICHIA COLI (E. COLI) NMP	MAX. ACEPTABLE (<1 de microorganismo/100cm <sup>3</sup> )

Fuente: Adaptado de decreto 1575 de 2007.

La turbidez es un parámetro cuya medida permite identificar la presencia de partículas en suspensión y la claridad del agua. La formación de partículas en suspensión en el agua se debe a la presencia de tierra, sedimentos, algas u/o minerales, como hierro, manganeso, arcilla, arena, limo, etc., y materia orgánica producto de la erosión natural y artificial clima estacional, eventos de tormentas y carga excesiva de nutrientes. Lo cual puede producir un valor NTU alto.

La temperatura es la magnitud que mide la energía térmica de un cuerpo con respecto a otro. Esta magnitud en el agua se encuentra ligada a la energía suministrada por el sol y es un parámetro que puede afectar la vida acuática y solubilidad de gases en el agua. Para las muestras analizadas, se puede apreciar valores de Temperatura propios del sector.

El pH es el parámetro que determina la cantidad de iones H<sup>+</sup> en el agua. Este factor es de suma importancia en el agua debido a que hay procesos químicos y fisiológicos que se llevan a cabo bajo ciertas condiciones de pH.

Adicional a ello el pH se ve alterado por la acidez, la cual es una propiedad importante en la calidad del agua. Se puede observar que el valor de pH de la muestra analizadas se encuentra dentro de los valores reportados en los artículos 2.2.3.3.9.3 y 2.2.3.3.9.4 del Decreto 1076 de 2015 para la muestra de agua superficial.

En el agua el color es producto de la presencia de materia orgánica disuelta y materia inorgánica como iones metálicos (Fe) disueltos. El color aparente incluye a las sustancias en solución o a la materia en suspensión. En la muestra analizada se puede apreciar que el valor se encuentra dentro de los valores permitidos para potabilización.

En la tabla 6 se observa los resultados de los análisis fisicoquímicos obtenidos de las muestras realizadas por la empresa CUMARE donde se identificaron las muestras que están fuera de los parámetros máximos permitidos, los cuales son interpretados conforme el Decreto 1076 de 2015.

*Tabla 6 Resultados del análisis de las muestras de laboratorio*

<b>Muestras que exceden el límite máximo permisibles (Resolución 2115 de 2007)</b>				
<b>Parámetros</b>	<b>Máximo PERMISIBLE</b>	<b>Muestras totales</b>	<b>Muestras fuera del rango</b>	<b>Muestras dentro del rango</b>
Hierro total	8.75 mg/l	85	64	21
Manganeso	2.5 mg/l	85	62	23
Nitritos	7.9 mg/l	85	12	73
pH	4.09 und pH	85	39	46
Coliformes Totales	574 NMP/100 ml	85	85	0
E. Coli	9.6 NMP/100 ml	85	32	53
Color	431.45 UPC	85	59	26

Turbidez	156.94 UNT	85	56	29
Bario	2.93 mg/l	85	3	82

Fuente: Adaptado de acuerdo con el decreto 1575 del 2007.

Así mismo, se puede concluir que los valores de turbidez y color no cumplen con la resolución 2115 de 2007 según el artículo 2 características físicas del agua para consumo humano se puede observar que es necesaria una dosis de coagulante para sedimentar la muestra y mejorar las características fisicoquímicas, ya que la misma no es transparente e incolora.

Los valores de Turbidez (NTU) y pH obtenidos para las muestras de los pozos profundos después del tratamiento mediante la prueba de jarras realizado por el laboratorio, son los resultados óptimos para potabilización de agua y se determina que pH cumplen con los criterios de calidad según la resolución 2115 de 2007 y Decreto 1076 de 2015.

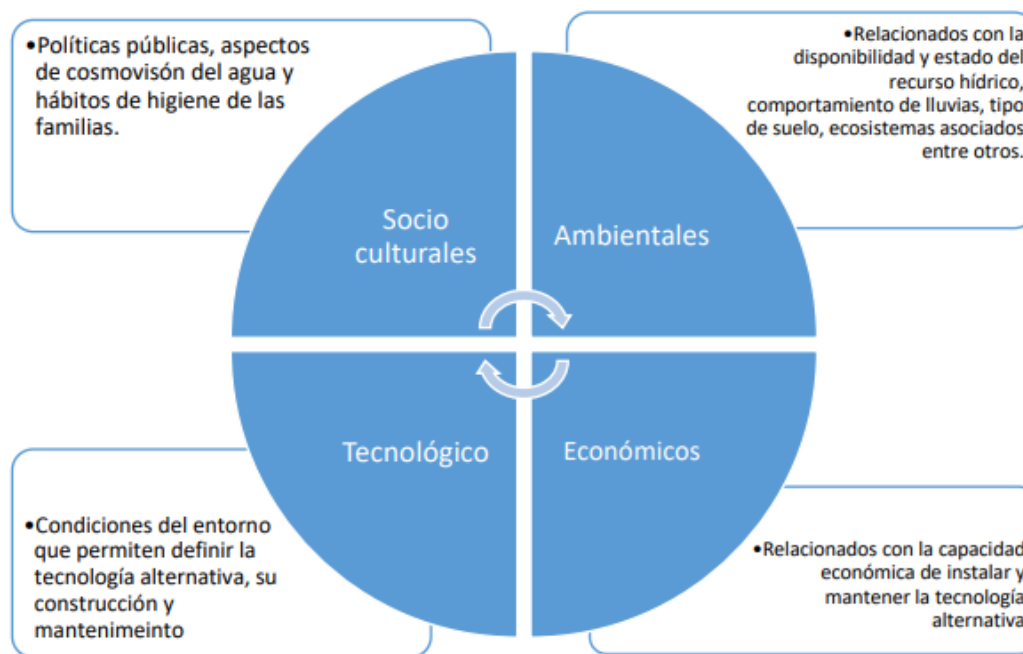
Para revisión de los resultados totales por cada una las muestras de laboratorio realizadas por la empresa Cumare, se consolido en Excel los resultados detallados en las muestras de agua cruda de cada posible beneficiario como se puede observar en el anexo 1. del presente documento, que permite identificar el comportamiento del agua de acuerdo con los parámetros establecidos en el decreto 1575 del 2007.

Conociendo la cantidad de usuarios que requieren el servicio de una planta de tratamiento agua potable en el municipio de Arauquita, de acuerdo con los resultados de laboratorio obtenidos se realizó un análisis de alternativas usando los lineamientos establecidos por el ministerio de salud y protección social de la siguiente manera:

### 6.1. Alternativas de tratamiento y mejoramiento de la calidad de agua para consumo humano en área rural dispersa.

El Ministerio de Salud y protección Social mencionó que los principales aspectos que se deben considerar al implementar tecnologías alternativas para mejorar la calidad del agua para consumo humano incluyen el sociocultural, ambiental, económico y tecnológico. Estos se consideran los determinantes más importantes de la salud porque la interacción entre estos aspectos determina las condiciones de vida que alteran o contribuyen al estado de salud de una comunidad como se puede observar en la ilustración 8 (AMBIENTAL, 2014).

*Ilustración 8 Aspectos principales a considerar para la implementación de Tecnologías alternativas de potabilización*



**Fuente:** Ministerio de salud y de protección social, Propuesta de identificación y difusión de tecnologías alternativas para agua potable y saneamiento, que permita soluciones colectivas o individuales a la población tanto del área rural como urbana, pág. 9, 2014.

## **6.2. Criterios de selección de tecnologías alternativas de agua potable**

Las tecnologías alternativas son soluciones para el acceso al agua potable y/o al saneamiento básico en los hogares en zonas rurales, especialmente en zonas escasamente pobladas, como zonas rurales dispersas y pequeñas comunidades centradas en las ciudades. Normalmente, el uso del agua en estos asentamientos está determinado por costumbres, tradiciones y visiones del mundo, sin proveedores de servicios que brinden un suministro a través de sistemas de agua o alcantarillado convencional. Existen diferencias significativas entre las comunidades indígenas, africanas y agrícolas. (Pedraza, 2021)

Para el caso de este proyecto de investigación teniendo en cuenta la dispersión de las familias y las condiciones topográficas de la zona donde se imposibilita la aplicación de una tecnología convencional por lo cual es necesario adoptar tecnologías alternativas. En el siguiente esquema (Ilustración 9) se presentan los componentes principales de un sistema de abastecimiento de agua potable convencional y su comparación con las tecnologías alternativas aplicables al diseño del proyecto teniendo en cuenta que las familias que hacen parte de la propuesta del proyecto cuentan con sistema de captación en pozo profundo con equipo de bombeo y su aducción se realiza generalmente con mangueras, por lo cual las alternativas a analizar se encuentran centradas en el tratamiento y almacenamiento de agua apta para consumo humano.

La selección de alternativas de tratamiento está basada en los resultados de los análisis físico-químicos de las muestras captadas de los pozos de abastecimiento de

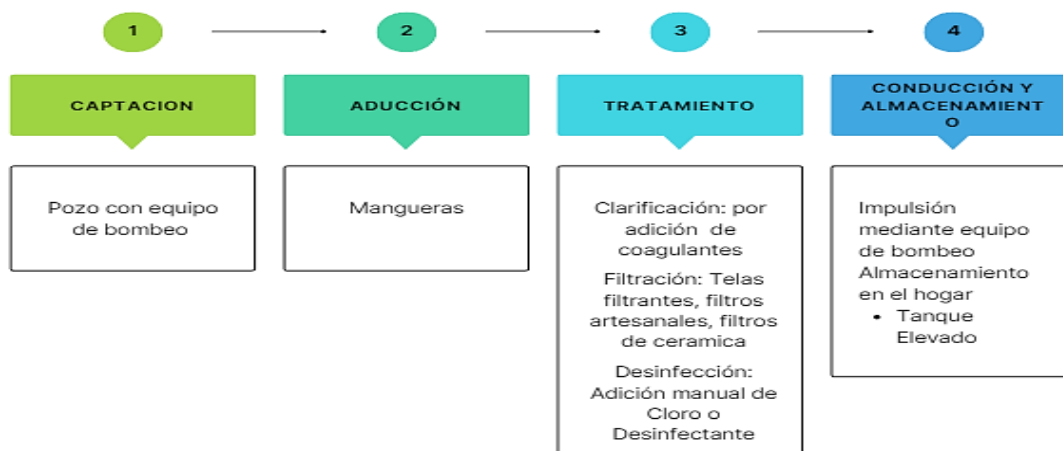
las familias seleccionadas en el proyecto de acuerdo con la base de datos obtenida por (CUMARE), de manera que la calidad resultante cumpla con las características establecidas en la Resolución 2115 de 2007, teniendo en cuenta los principales aspectos, socio-culturales, ambientales, económicos y tecnológicos.

*Ilustración 9 Esquema componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable convencional.*



Fuente: Adaptado del Ministerio de salud y de protección social, Propuesta de identificación y difusión de tecnologías alternativas para agua potable y saneamiento, que permita soluciones colectivas o individuales a la población tanto del área rural como urbana, pago 20, 2014.

*Ilustración 10 . Esquema componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable Alternativo*



Fuente: Adaptado del Ministerio de salud y de protección social, Propuesta de identificación y difusión de tecnologías alternativas para agua potable y saneamiento, que permita soluciones colectivas o individuales a la población tanto del área rural como urbana, pág. 20, 2014.

### **6.3. Descripción de tecnologías alternativas de tratamiento.**

La compilación de información tecnologías fue consultada en diversas fuentes de información como el Título J del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento – RAS, el cual recomienda para la zona rural de Colombia, alternativas tecnológicas y procedimientos de abastecimiento de agua y saneamiento, adicionalmente se estructura el presente análisis de alternativas bajo lo dispuesto en la Resolución 179 de 2017: Reglamenta el Decreto 890 de 2017, en los que se incluyen las tipologías para las soluciones individuales de agua y saneamiento en viviendas dispersas.

#### **6.3.1. Clarificación en el hogar por asentamiento**

A medida que el agua se almacena durante 5 a 6 días, las partículas suspendidas como el limo y otros sólidos se depositan bajo la influencia de la gravedad. El agua se pasa de un recipiente a otro diariamente para eliminar cualquier material sedimentado.

#### **6.3.2. Clarificación con sustancias químicas**

Dependiendo de la turbidez, se agrega alumbre o sulfato de aluminio al agua ayudando a sedimentar las partículas suspendidas en el fondo del recipiente.

Para un recipiente de 55 galones con agua turbia, de color amarillo oscuro o marrón claro, agregue tres cucharadas de alumbre en pulverizado o dos cucharadas de sulfato de aluminio y mezcle el agua durante tres minutos. 1 cucharada de alumbre o sulfato de aluminio en polvo equivale a unos 20 gramos.

Después de dejarlo reposar durante tres horas, encontrará que las partículas se depositan en el fondo del recipiente.

### 6.3.3. Filtración

#### 6.3.3.1. Filtración con filtros caseros de cerámica

Consiste en un elemento de filtración por gravedad con una pieza de cerámica con muy pequeños poros y canales. El cual es un medio efectivo para tratar el agua a nivel domiciliario principalmente en viviendas de las áreas rurales a través de la cerámica permiten que pasen las moléculas de agua, pero garantiza la eliminación de hasta el 98% de bacterias y parásitos. En la ilustración 11 se observar un filtro casero en cerámica que consiste en un pieza de cerámica y un grifo que se utiliza para servir el agua tratada. (SOCIAL, 2014).

*Ilustración 11 Filtros caseros de cerámica*



Fuente: Filtros de cerámica. (n.d.). Recuperado el 7 de noviembre de 2023 desde <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/manejo-seguro-en-el-hogar/filtros-de-cer%C3%A1mica>

### **6.3.3.2. Filtración con filtros de vela cerámica.**

Consiste en un elemento filtrante elaborado a partir de un recipiente que contiene una o dos velas de cerámica. El agua se filtra lentamente hacia un segundo recipiente situado en la parte inferior.

### **6.3.3.3. Filtración con filtros lentos de arena.**

El filtro utiliza capas de arena y grava como material filtrante, y en la primera capa crecen bacterias colaboradoras útiles para eliminar parásitos que pueden causar enfermedades, lo que da como resultado que se filtre el agua turbia.

Se fabrican en casa a partir de recipientes de plástico (baldes), cemento armado u hormigón. Para mantener el material filtrante siempre húmedo, la salida de la tubería de suministro de agua filtrada debe estar al menos 5 cm más alta que la parte superior de la arena.

El agua filtrada también se puede desinfectar mediante el uso de cloro.

Filtro casero CARPOM: Con PVC como recipiente; grava, arena, carbón y piedra pómez como materiales filtrantes como se observa en la ilustración 12.

Ilustración 12 Filtros lentos de arena.

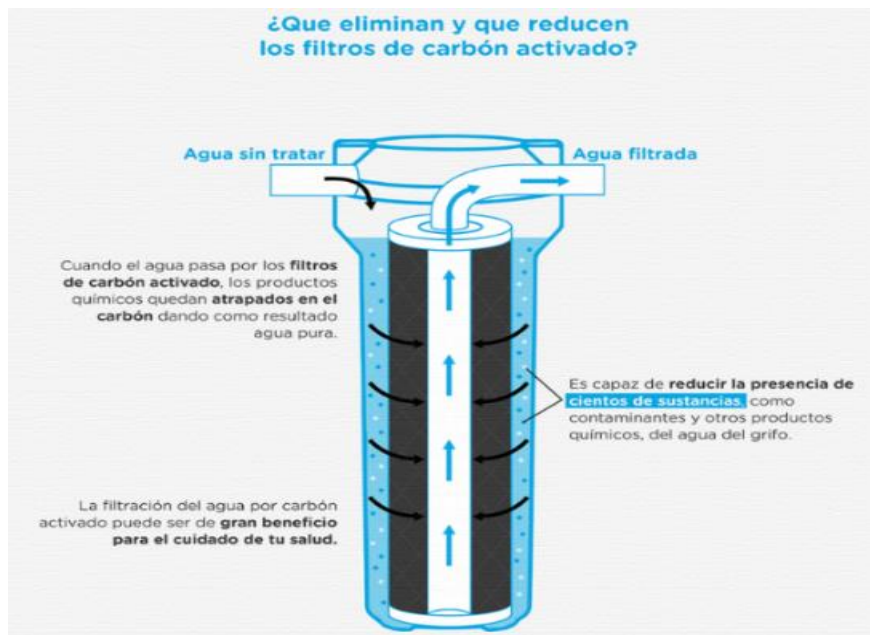


Fuente: Col, G. (2016, May 29). *Gustavo Col. iAqua*. <https://www.iagua.es/blogs/Gustavo-Florez>

#### 6.3.4. Filtración con carbón activo.

La filtración con carbón activado es uno de los muchos procesos comúnmente utilizados en el tratamiento de agua para eliminar contaminantes como la materia orgánica; el carbón activado es una sustancia de origen vegetal que tiene la capacidad de absorber químicos, gases, metales pesados, desechos y toxinas, así como eliminar características de los contaminantes causantes de olores y sabores. La filtración con carbón activado se ha convertido en una alternativa de filtración innovadora debido a sus excelentes propiedades fisicoquímicas de absorción. (Mexico, 2020)

Ilustración 13 Filtro Carbón activo



Fuente: Metodikat, T. I. (s/f). *¿Qué es la filtración del agua por carbón activado?* - Recuperado el 7 de noviembre de 2023, de <https://www.tratamientosdeagua.com/ventaenlinea/blog-water-technologies/Filtros-de-agua/Que-es-la-filtracion-del-agua-por-carbon-activado>.

### 6.3.5. Desinfección

Los agentes desinfectantes que se usan comúnmente en el tratamiento de agua potable son: cloro libre, cloro combinado (cloroaminas), dióxido de cloro, hipoclorito, ozono y luz ultravioleta.

El hipoclorito sigue siendo el mejor desinfectante, ya que es la mejor garantía de un agua microbiológicamente apta para el consumo humano y asequible. Este proceso se utiliza para desinfectar el agua, controlar olor y sabor, prevenir el crecimiento de algas y microorganismos, desinfección preventiva para encontrar el efecto residual del cloro en el agua, en el cual la dosis de desinfección del agua debe ser del 2%.

#### **6.4. Fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano para la propuesta de diseño del proyecto.**

Según la indagación de información realizada en campo por parte de la empresa (CUMARE), actualmente los ochenta y cinco (85) posibles beneficiarios cuentan con sistema de abastecimiento, donde 84 familias cuentan con puntillo o pozo profundo de captación de aguas subterráneas, y una (1) familia cuenta con aljibe. Ninguna familia cuenta con sistemas de potabilización.

Dentro de las características técnicas relevantes de los sistemas de abastecimiento instalados y operativos actualmente en las viviendas se encuentra:

Los diámetros de perforación empleados en los puntillos se encuentran entre ½", 1", 1 ½", 2", 2 ½" y 4". El diámetro de la tubería más representativo es Ø 1 ½" PVC PRESIÓN en sus sistemas de abastecimiento de agua (puntillos), Las profundidades de instalación de los pozos profundos de abastecimiento se encuentran entre 24m de profundidad. La profundidad promedio de los puntillos es de 14m. El único aljibe registrado tiene una profundidad de 8m y de ancho 1.2m de circunferencia. Los equipos de bombeo corresponden principalmente a electrobombas, las cuales se abastecen de energía eléctrica convencional. Estos equipos se encontraban operativos al momento del desarrollo de las visitas a los predios por parte de la empresa CUMARE.

En la ilustración 14, presenta el estado de algunos equipos de bombeo identificados en las visitas técnicas realizadas por CUMARE a los predios de las familias beneficiadas.

*Ilustración 14 Estado equipos de bombeo beneficiarios*



Fuente: Adaptado de las muestras realizadas por la Empresa Cumare S.A.

### 6.5. Características fisicoquímicas y microbiológicas de agua en los puntos de abastecimiento

La propuesta de diseño del proyecto se plantea en la implementación de ochenta y cinco (85) soluciones unifamiliares de potabilización de agua en vivienda rural dispersa en el municipio de Arauquita, y dado que las características fisicoquímicas y microbiológicas cambian en cada sistema de abastecimiento. Se realizó la toma de muestras por parte de la empresa CUMARE y en base a la información obtenida de los resultados del laboratorio se analizaron los parámetros exigidos para la caracterización del agua cruda según el artículo 107 de la resolución 0330 de 2017, así como también se toman como base los parámetros establecidos en la Resolución 2115 de 2007 teniendo en cuenta las condiciones de captación y características esperadas en aguas de tipo subterráneas, en la ilustración 7 se observan los parámetros analizados para las propuestas de una solución alternativa.

*Tabla 7 . Parámetros analizados en las 85 muestras puntuales, valores máximos permisibles Resolución 2115 de 2007.*

#	PARÁMETRO	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE	#	PARÁMETRO	VALOR MÁXIMO PERMISIBLE
1	ALCALINIDAD TOTAL (CaCO <sub>3</sub> )	≤ 200 (mg/L)	13	SÓLIDOS TOTALES	NR
2	CALCIO TOTAL (CA)	60 (mg/L)	14	SABOR	ACEPTABLE O NO ACEPTABLE

3	CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	≤ 250 (mg/L)	15	SULFATOS (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	≤ 250 (mg/L)
4	COLOR APARANTE	≤ 15 (UPC)	16	TURBIDEZ	2 (UNT)
5	CONDUCTIVIDAD**	≤ 1000 (microsiemens (μS/cm))	17	BARIO TOTAL (Ba)	≤ 0,7 (mg/L)
6	HIERRO TOTAL (Fe)	≤ 0,3 (mg/L)	18	POTASIO TOTAL (K)	≤ (mg/L)
7	MAGNESIO TOTAL (Mg)	≤ 36 (mg/L)	19	SODIO (Na)	≤ (mg/L)
8	MANGANESO (Mn)	≤ 0,1 (mg/L)	20	CARBONATOS	≤ (mg/L)
9	NITRATOS (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	≤ 10 (mg/L)	21	BICARBONATOS	≤ (mg/L)
10	NITRITOS (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	≤ 0,1 (mg/L)	22	COLIFORMES TOTALES NMP	(<1 de microorganismo/100cm <sup>3</sup> )
11	OLOR	ACEPTABLE O NO ACEPTABLE	23	ESCHERICHIA COLI (E. COLI) NMP	(<1 de microorganismo/100cm <sup>3</sup> )
12	PH** (POTENCIAL DE HIDRÓGENO)	6,5-9,0	TOTAL		23 PARÁMETROS

Fuente: Adaptado de la resolución 2115 de 2007, características fisicoquímicas del agua para el consumo humano.

Como resultado del análisis de las diferentes muestras, en la ilustración 8 se observa los parámetros por fuera del límite máximo permisible según la resolución 2115.

*Tabla 8 Parámetros de control de diseño de alternativas para las 85 muestras realizadas por la Empresa CUMARE*

PARÁMETROS DE CONTROL POR EXCEDER EL LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLES (RESOLUCIÓN 2115 DE 2007)					
PARÁMETROS	RESOLUCIÓN 2115 DE 2007	MÁXIMO	MEDIO	MÍNIMO	% MUESTRAS FUERA DE RANGO
HIERRO TOTAL	0.3 mg/l	8.75 mg/l	3.81 mg/l	0.10 mg/l	75%
MANGANESO	0.1 mg/l	2.5 mg/l	0.78 mg/l	0.06 mg/l	73%
NITRITOS	0.1 mg/l	7.9 mg/l	4.12 mg/l	0.09 mg/l	14%
PH	6.0 -9.0 Und	4.09 und pH	5.28 und pH	6.87 und pH	46%
COLIFORMES TOTALES	0 /Ausencia	574 NMP/100 ml	165 NMP/100 ml	21.1 NMP/100 ml	100%
E. COLI	0 /Ausencia	9.6 NMP/100 ml	3.03 NMP/100 ml	1 NMP/100 ml	38%
COLOR	15 UPC	431.45 UPC	156.94 UPC	0.59 UPC	69%
TURBIDEZ	2 UNT	156.94 UNT	75.22 UNT	0.1 UNT	66%
BARIO	<0.7 mg/l	2.93 mg/l	<0,10	<0.1	4%

Fuente: Adaptado de la resolución 2115 de 2007 de acuerdo con la consolidación de información de las características fisicoquímicas del agua para el consumo humano obtenida de la Empresa CUMARE.

Con base en los resultados obtenidos del análisis realizado, se procede analizar el tren de tratamiento necesario para garantizar los estándares de calidad de agua para consumo humano, según la normativa vigente con las más altas eficiencias operativas y basados en la sección 3 de la resolución 0330 del Ras en el artículo 109 se presenta la tabla 9 Tecnologías de tratamiento de Potabilización.

*Tabla 9 Tecnologías y procesos unitarios de tratamiento*

PROCESO UNITARIO DE POTABILIZACIÓN PARÁMETRO DE CONTROL	Aeración	Coagulación +floculación +sedimentación	Filtración Convencional	Ablandamiento	Oxidación Química	Microfiltración	Ultrafiltración	Nanofiltración	Ósmosis Inversa	Electrólisis Inversa	Intercambio Iónico	Filtración por adsorción	Filtración Optimizada
	Color		X	X		X	X	X	X	X			X
Olor y Sabor	X				X							X	
Turbiedad		X	X			X	X						
Sólidos Disueltos Totales		X	X			X	X		X	X	X		X
Hierro total	X	X	X	X	X						X		X
Manganeso	X	X	X	X	X						X		X
Nitritos									X	X	X		
pH													
Coliformes Totales			X			X	X						X
E. Coli			X			X	X						X
Bario				X					X	X	X		

Fuente: Rioja, M. (2019). *Tratamiento de Aguas Residuales Romero Rojas*.  
[https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento\\_de\\_Aguas\\_Residuales\\_Romero\\_Rojas](https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas)

Lo anterior con el objetivo de estructurar las alternativas de tratamiento e identificar la mejor alternativa a seleccionar para la propuesta de diseño.

## 6.6. Alternativas de tratamiento.

### 6.6.1. Caudal de diseño

Teniendo en cuenta lo dispuesto en el ARTÍCULO 32. ABASTOS DE AGUA resolución 0844 de 2018, el cual establece que cuando el abasto no incluya volúmenes de subsistencia, se obtendrán los caudales de diseño conforme a la resolución 0330 de 2017 del Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, como se puede observar en la tabla 10.

*Tabla 10 Estimación caudal de diseño.*

Caudal de Diseño		
Número de habitantes	Personas	5
Dotación	litros/hab-día	140
% de perdidas	%	25.0%
Tiempo de reserva	días	1
Volumen Requerido	lts/ día	933.33
Caudal de diseño [litros/seg]	litros/seg	0.0108
Volumen Tanque Reserva	lts	1000
Según NTC 1500, Res 0844 de 2018 y Res 0330 de 2017		

Fuente: Adaptado según NTC 1500, Res 0844 de 2018 y Res 0330 de 2017.

A continuación, se relaciona las alternativas tecnológicas propuestas en el presente documento, las cuales presentan las siguientes características:

- ✚ Las tecnologías planteadas se encuentran fácilmente en el mercado nacional.
- ✚ Las tecnologías planteadas consideran la menor adición de químicos o aditivos en el sistema de tratamiento.
- ✚ Los materiales son de fácil acceso.
- ✚ La operación de sistema debe ser clara y no debe requerir personal con altos niveles tecnológicos.
- ✚ El mantenimiento rutinario debe ser sencillo.

- ✚ El mantenimiento correctivo en lo posible debe considerar accesibilidad en la zona.
- ✚ Las alternativas planteadas deben cumplir con efluente apto para el consumo humano.
- ✚ El análisis de costos de operación, mantenimiento y reposición de elementos y equipos de las alternativas se analizan con base a Valor Presente Neto (VPN), el cual representa el valor de los flujos de efectivo proyectados, descontados al presente.

### 6.6.2. Alternativa 1 de diseño.

La alternativa 1 corresponde a un sistema prefabricado de disponibilidad Local, compuesto por los procesos descritos en la Tabla 11 y se observa en la ilustración 15.

*Tabla 11 Procesos Unitarios Alternativa 1*

PROCESO	CONTRIBUYE	EFICIENCIAS
1) Regulación de pH con Hidróxido De Calcio	Regulación de pH Remoción de Fe y Mn	Un proceso de Aireación- Filtración ayudado de un oxidante químico puede alcanzar porcentajes de remoción de hierro y manganeso de hasta un 99%. (Guillen-Rivas, Jaramillo-Cedeño, & Baquerizo-Crespo, 2021)
2) Aeración por torres medios de adherencia anillos Pall ring	Oxidación de hierro Oxidación de Manganeso	
	Ayuda a mejorar olor y sabor	
3) Unidad de filtración: Microfiltración + Adsorción Mediante, Grava + arena + antracita.	Ayuda a mejorar olor y sabor	
	Remoción de Fe y Mn Remoción de Nitratos	Según (Mc Farland, de Agua Monty C. Dozier, & de Suelos, Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso, s.f.) los tratamientos de Aeración- Filtración son eficientes para concentraciones combinadas de hierro y manganeso de hasta 25mg/l. Según el cloro tiene una eficiencia de 100 % en Desinfección y eliminación de coliformes dependiendo de la concentración de cloro.
4) Desinfección con Cloro	Desinfección, Coliformes totales y E. coli	

Fuente: Adaptado de Guillen, Jaramillo, Baquerizo, & Córdova, 2021, Arboleda, 2000, Betancur & Upegui Sosa, 2020.

Ilustración 15 Esquema procesos unitarios Alternativa 1



Fuente: Adaptado de acuerdo con la convocatoria realizadas por la empresa CUMARE, 2023.

### 6.6.2.1. Análisis de costos alternativa 1

#### 6.6.2.1.1. Determinación de costos de Operación:

Con el objetivo de estimar los costos de operación del sistema de la alternativa 1, se plantea inicialmente un periodo de operación de 25 años, los costos de operación se proyectan en el periodo de diseño establecido y se presentan en costo mensual de operación, los cuales se analizan con base a Valor Presente Neto (VPN), el cual representa el valor de los flujos de efectivo proyectados, descontados al presente como se evidencia en la tabla 12.

Tabla 12 Costos de operación asociados a insumos químicos en la operación de la alternativa 1

Costos Insumos Alternativa 1			
1	<b>Regulación de pH</b>		
1.1	Hidróxido de Calcio	23	gr/día
1.2	Costo Gramo de Cal Hidratada (Gramo)	\$ 2.02	Pesos
1.3	Incremento IPC anual promedio últimos 5 años	5.30%	%
1.4	Costo valor presente neto consumo Cal Hidratada mes	\$ 3,018	Pesos
1.5	Costo valor presente neto consumo Cal Hidratada 25 años (2049)	\$ 905,315	Pesos

2	Desinfección		
2.1	Hipoclorito de calcio al 70% residual 20 ppm	8	gr/día
2.2	Presentación tableta	200	gr
2.3	Número de Tabletas al año	15	Und
2.4	Costo Tableta (Valor COP/Unidad) (COP)	\$ 9,200	Pesos
2.5	Incremento IPC anual promedio últimos 5 años	5.30%	%
2.6	Costo Tableta (Valor COP/Unidad) Proyectado a 2049 (COP)	\$ 18,890	Pesos
2.7	Costo Dosificación Hipoclorito de Sodio promedio mes	\$ 23,455	Pesos
2.7	Costo Dosificación Hipoclorito de calcio Periodo de Diseños (2049)	\$ 7,036,495	Pesos
Costo insumos valor presente neto promedio mensual		\$ 26,473	Pesos

\*Los valores corresponden a valor presente neto en atención al IPC de los últimos 5 años  
Fuente: Elaboración propia basado en proyectos realizados por parte de la empresa Arce Consultores,2023.

#### 6.6.2.1.2. Determinación de costos de Mantenimiento:

Con el objetivo de estimar los costos de mantenimiento y reposición de equipos o elementos de esta alternativa, se plantea inicialmente un periodo de operación de 25 años, los costos de mantenimiento y reposición se proyectan en el periodo de diseño establecido y se analizan con base a Valor Presente Neto (VPN), el cual representa el valor de los flujos de efectivo proyectados, descontados al presente.

Para revisión de los resultados totales por cada una las muestras de laboratorio realizadas por la empresa Cumare, se consolido en Excel los resultados totales y detallados de los análisis de costos de construcción e instalación de la alternativa 1, como se puede observar en el anexo 2. del presente documento.

El análisis de alternativas específicamente en el componente económico tiene como base los costos operativos VPN mes y los costos de mantenimiento y reposición de

equipos y elementos del sistema mensual, analizados en la proyección de operación de los primeros cinco (5) años.

A continuación, se presentan los costos de operación y mantenimiento de la alternativa 1.

*Tabla 13 Costos de Operación y mantenimiento*

Costos asociados a la Operación del sistema de Potabilización	\$ 26,473 COP/MES
Costos asociados al Mantenimiento del sistema de Potabilización	\$ 32,905 COP/MES
<b>Costo total Operación y Mantenimiento</b>	<b>\$ 59,378 COP/MES</b>

Fuente: Elaboración propia basado en proyectos realizados por parte de la empresa Arce Consultores,2023.

### **6.6.2.1.3. Determinación de costos de Construcción e Instalación alternativa 1.**

La alternativa planteada considera costos a nivel conceptual, de la construcción de obras complementarias como cerramientos, placas, cimientos e instalación de equipos de tratamiento y equipos de operación complementarios para garantizar la operación de manera continua. Para revisión de los resultados totales por cada una las muestras de laboratorio realizadas por la empresa Cumare, se consolido en Excel los resultados totales y detallados de los análisis de costos de construcción e instalación de la alternativa 1, como se puede observar en el anexo 2. del presente documento.

### **6.6.3. Alternativa 2**

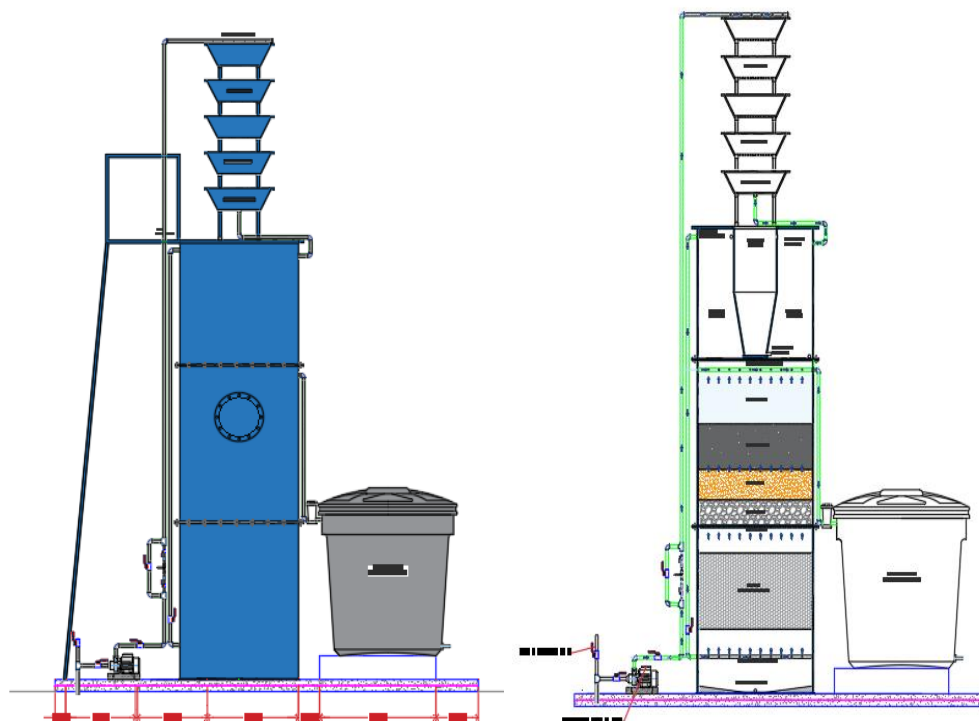
La alternativa 2 corresponde a un sistema prefabricado de disponibilidad Local, compuesto por los procesos descritos en la Tabla 14.

Tabla 14 Procesos unitarios alternativa 2

PROCESO	CONTRIBUYE	EFICIENCIAS
Regulación de pH	Regulación de pH Remoción de Fe y Mn	Según (Guillen-Rivas, Jaramillo-Cedeño, & Baquerizo-Crespo, 2021) un proceso de Aeración- Filtración ayudado de un oxidante químico puede alcanzar porcentajes de remoción de hierro y manganeso de hasta un <b>99%</b> , Según (Mc Farland, de Agua Monty C. Dozier, & de Suelos, Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso, 2023) los tratamientos de Aeración-Filtración son eficientes para concentraciones combinadas de hierro y manganeso de hasta 25mg/l. Según (Coronell, 2021) el cloro tiene una eficiencia de <b>100 %</b> en Desinfección y eliminación de coliformes dependiendo de la concentración de cloro.
Aeración por torres con Anillos pall ring	Oxidación de hierro Oxidación de Manganeso Ayuda a mejorar olor y sabor	
Floculación y Sedimentador	Ayuda a mejorar, color, olor y sabor Remoción de Fe y Mn Remoción de Nitratos	
Unidad de filtración: Microfiltración + Adsorción Mediante, Grava + arena + Antracita.	Ayuda a mejorar olor y sabor	
	Remoción de Fe y Mn Remoción de Nitratos	
	Desinfección, Coliformes totales y E. coli	
Desinfección con Cloro	Desinfección, Coliformes totales y E. coli	

Fuente: Adaptado de Guillen, Jaramillo, Baquerizo, & Córdova, 2021, Arboleda, 2000, Betancur & Upegui Sosa, 2020.

Ilustración 16 Esquema procesos unitarios Alternativa 2



Fuente: Obtenida de la base de datos de la empresa TECNOCOL SAS, 2022.

### 6.6.3.1. Análisis de costos alternativa 2

#### 6.6.3.1.1. Determinación de costos de Operación:

Con el objetivo de estimar los costos de operación del sistema de la alternativa 2, se plantea inicialmente un periodo de operación de 25 años, los costos de operación se proyectan en el periodo de diseño establecido y se presentan en costo mensual de operación, los cuales se analizan con base a Valor Presente Neto (VPN), el cual representa el valor de los flujos de efectivo proyectados, descontados al presente.

*Tabla 15 Costos de operación asociados a insumos químicos en la operación de la alternativa 2*

Costos Insumos Alternativa 2			
1	Regulación de pH		
1.1	Oxido de Calcio	8.0	mg/día
1.2	Costo Gramo de Cal Hidratada (Gramo)	\$ 2.02	Pesos
1.3	Incremento IPC anual promedio últimos 5 años	5.30%	%
1.4	Costo valor presente neto consumo Cal Hidratada mes	\$ 1,030	Pesos
1.5	Costo valor presente neto consumo Cal Hidratada 25 años (2049)	\$ 308,994	Pesos
2	Coagulación		
2.1	Dosificación de Sulfato de Aluminio Tipi I	8.0	gr/día
2.2	Costo Gramo de Sulfato de Aluminio tipo I (Gramo)	\$ 3.30	Pesos
2.3	Incremento IPC anual promedio últimos 5 años	5.30%	%
2.4	Costo valor presente neto consumo Cal Hidratada mes	\$ 1,683	Pesos
2.5	Costo valor presente neto consumo Cal Hidratada 25 años (2049)	\$ 504,792	Pesos
2	Desinfección		
2.1	Hipoclorito de calcio al 70% residual 20 ppm	8.0	gr/día
2.2	Presentación tableta	200	gr
2.3	Número de Tabletas al año	15	Und
2.4	Costo Tableta (Valor COP/Unidad) (COP)	\$ 9,200	Pesos
2.5	Incremento IPC anual promedio últimos 5 años	5.30%	%
2.6	Costo Tableta (Valor COP/Unidad) Proyectado a 2049 (COP)	\$ 18,890	Pesos
2.7	Costo Dosificación Hipoclorito de Sodio promedio mes	\$ 23,455	Pesos

2.7	Costo Dosificación Hipoclorito de calcio Periodo de Diseños (2049)	\$ 7,036,495	Pesos
Costo insumos valor presente neto promedio mensual		\$ 26,168	Pesos

\*Los valores corresponden a valor presente neto en atención al IPC de los últimos 5 años  
Fuente: Elaboración propia basado en proyectos realizados por parte de la empresa Arce Consultores, 2023.

#### **6.6.3.1.2. Determinación de costos de Mantenimiento:**

Con el objetivo de estimar los costos de mantenimiento y reposición de equipos o elementos de esta alternativa, se plantea inicialmente un periodo de operación de 25 años, los costos de mantenimiento y reposición se proyectan en el periodo de diseño establecido y se analizan con base a Valor Presente Neto (VPN), el cual representa el valor de los flujos de efectivo proyectados, descontados al presente.

Para revisión de los resultados totales por cada una las muestras de laboratorio realizadas por la empresa Cumare, se consolido en Excel los resultados totales y detallados de los análisis de costos de construcción e instalación de la alternativa 2, como se puede observar en el anexo 2. del presente documento.

El análisis de alternativas específicamente en el componente económico tiene como base los costos operativos VPN mes y los costos de mantenimiento y reposición de equipos y elementos del sistema mensual, analizados en la proyección de operación de los primeros cinco (5) años.

A continuación, se presentan los costos de operación y mantenimiento de la alternativa 2

*Tabla 16 Costos de Operación y mantenimiento*

Costos asociados a la Operación del sistema de Potabilización	\$ 26,062 COP/MES
Costos asociados al Mantenimiento del sistema de Potabilización	\$ 35,701 COP/MES
<b>Costo total Operación y Mantenimiento</b>	<b>\$ 61,763 COP/MES</b>

Fuente: Elaboración propia basado en proyectos realizados por parte de la empresa Arce Consultores, 2023.

### 6.6.3.1.3. Determinación de costos de Construcción e Instalación alternativa 2.

La alternativa planteada considera costos a nivel conceptual, de la construcción de obras complementarias como cerramientos, placas, cimientos e instalación de equipos de tratamiento y equipos de operación complementarios para garantizar la operación de manera continua. Para revisión de los resultados totales por cada una las muestras de laboratorio realizadas por la empresa Cumare, se consolido en Excel los resultados totales y detallados de los análisis de costos de construcción e instalación de la alternativa 2, como se puede observar en el anexo 2. del presente documento.

A continuación, se presenta el consolidado, se análisis de costos de las dos (2) alternativas plateadas.

*Tabla 17 Resumen costos operativos, mantenimiento y construcción e instalación de alternativas*

	Costo CAPEX	Costo Operación	Costo Mantenimiento mensual (VPN primeros 5 años)
Alternativa 1	\$ 38,966,402.00	\$ 26,473	\$ 32,905.10
Alternativa 2	\$ 34,312,728.00	\$ 26,062	\$ 35,700.79

Fuente: Elaboración propia basado en proyectos realizados por parte de la empresa Arce Consultores, 2023.

Como se puede observar la alternativa 2 es económicamente más viable que las demás alternativas evaluables en términos de instalación y operación, la alternativa 1 es la segunda opción en términos económicos y la más favorable en términos de mantenimiento.

### 6.7. Metodología de evaluación.

A continuación, en la tabla 18 se aplica la metodología de evaluación de las dos alternativas propuestas en el presente documento de acuerdo con los lineamientos establecidos por el ministerio de salud y protección social.

*Tabla 18 Valores de peso porcentual para cada criterio evaluado sobre la calificación final.*

MACRO CRITERIO	CRITERIO	COMENTARIOS DEL EVALUADOR	DESCRIPCIÓN	%
Económicos 40 %	Inversión Inicial	Es importante considerar aquella tecnología que sea eficaz y eficiente en la Potabilización del agua, es decir que genere las eficiencias esperadas al menor costo posible para obtener un ahorro de recursos que podrían ser destinados a otras acciones.	Total, de costo de capital requerido para la instalación de la PTAP, incluidos el equipamiento y la instalación	10
	Mantenimiento y reparación	Se desea que las alternativas cumplan con los criterios de calidad necesarios de modo que puedan prestar el servicio de manera segura con el menor riesgo de deterioro durante su vida útil de manera que se reduzca la necesidad de reparaciones	Costo de repuestos y mano de obra	15
	Operación	Se desea que la operación sea simple, flexible, confiable y lo más económica posible, además de que una persona con poca capacitación pueda hacer la función de mantenimiento.	Costos de Personal Y servicios	15

Tecnológicos 35 %	Tiempo de instalación	Se busca la alternativa de mayor facilidad en cuestión de distribución, instalación y puesta en marcha para la zona	Tiempo requerido para puesta de equipos en sitio y de instalación del equipo incluidas pruebas de puesta a punto	5
	Replicabilidad	Se desea que la vida útil de sistema sea lo más longeva posible conforme a lo estipulado normativamente para la vida útil de este tipo de tratamientos	Capacidad del Sistema de trabajar en una región específica relación vida útil esperada del sistema y las necesidades de recambio de partes	7
	Proveedores	Se busca que la alternativa seleccionada no presente inconvenientes en cuanto a la facilidad de adquisición y distribución a la zona del proyecto	Madurez de la tecnología y existencia de distribuidores en la Región	10
	Capacitación (Grado de Especialización)	Se desea que la alternativa seleccionada no presente inconvenientes en la instalación, uso y mantenimiento del sistema a razón de requerir personal especializado para estas tareas.	Grado de especialización de la mano de obra necesaria para la instalación, uso y mantenimiento del sistema	8
	Eficiencia de las tecnologías	Se busca la alternativa que pueda mejorar la calidad del agua conforme a los valores establecidos en la resolución 2115, en función de costos	Eficiencia de remoción de los parámetros a mejorar la calidad del agua vs costos	5
Social 16 %	Apropiación	Hace referencia a la familiaridad de la comunidad respecto a la alternativa seleccionada.	Familiaridad de la tecnología por parte de la población que la usara.	8
	Aprovechamiento	Se busca la opción que mejor de acople al entorno de uso y que preste las mayores facilidades de mantenimiento a la comunidad	Facilidad de uso y mantenimiento.	8
Ambiental 9 %	Uso del Terreno	Se desea que la alternativa seleccionada presente el menor impacto y requiera la menor área de operación posible. A fin de acoplarse mejor con el ambiente y generar los menores inconvenientes a la comunidad	Cantidad del terreno que no podrá ser usado instalación de la PTAP	5
	Contaminación del suelo	Se busca la alternativa más confiable dadas las condiciones de la zona de forma que presente el menor riesgo de generar contaminación al subsuelo y acuíferos subterráneos.	Filtraciones o posible contaminación al suelo instalación de la PTAP	4
Total				100

Fuente: Adaptado del Ministerio de salud y de protección social, Propuesta de identificación y difusión de tecnologías alternativas para agua potable y saneamiento, que permita soluciones colectivas o individuales a la población tanto del área rural como urbana, pág. 21, 2014.

## 6.8. Evaluación de alternativas planteadas.

En la tabla 20 se presenta el puntaje otorgado a cada criterio de evaluación de acuerdo con los valores de peso porcentual para cada criterio evaluado sobre la calificación final de cada alternativa de solución establecido en la tabla 19 para alternativa propuesta de diseño de una alternativa de agua potable.

### 6.8.1. Selección de alternativa.

En atención a los resultados fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras puntuales procesadas por la empresa CUMARE y a los resultados de las pruebas de, se consolido en Excel los resultados detallados en las muestras de agua cruda de cada posible beneficiario como se puede observar en el anexo 3 del presente documento, se presenta los resultados de la matriz de decisión de las dos alternativas de tratamiento planteadas.

Tabla 19 . Matriz de decisión de Alternativas

Matriz de decisión					
Macro criterio	Criterio	Descripción	%	Alternativa No 1	Alternativa 2
Económicos Capex	Inversión Inicial	Total, de costo de capital requerido para la instalación de la PTAP, incluidos el equipamiento y la instalación	10	8,81	10,00
	Mantenimiento y reparación	Costo de repuestos y mano de obra	15	15,00	13,8
	Operación	Costos de Personal Y servicios	15	14,83	15,00
Tecnológicos	Tiempo de instalación	Tiempo requerido para puesta de equipos en sitio y de instalación del equipo incluidas pruebas de puesta a punto	5	3,85	3,9

	Replicabilidad	Capacidad del Sistema de trabajar en una región específica relación vida útil esperada del sistema y las necesidades de recambio de partes	7	5,00	5,00
	Proveedores	Madurez de la tecnología y existencia de distribuidores en la Región	10	7,50	7,50
	Capacitación (Grado de Especialización)	Grado de especialización de la mano de obra necesaria para la instalación, uso y mantenimiento del sistema	8	8,00	8,00
	Eficiencia	Eficiencia de remoción de los parámetros a mejorar la calidad del agua vs costos	5	4,40	5,00
<b>Social</b>	Apropiación	Familiaridad de la tecnología por parte de la población que los usuarios	8	8	8,00
	Aprovechamiento	Facilidad de uso y mantenimiento.	8	8,00	8
<b>Ambiental</b>	Uso del Terreno	Cantidad del terreno que no podrá ser usado instalación de la PTAP	5	9,46	10,6
	Contaminación Ambiental	Filtraciones o posible contaminación al suelo instalación de la PTAP	4	4,00	4
Total			100,00	96,85	98,78

Fuente: Elaboración propia adaptado del Ministerio de salud y de protección social, Propuesta de identificación y difusión de tecnologías alternativas para agua potable y saneamiento, que permita soluciones colectivas o individuales a la población tanto del área rural como urbana, pág. 21, 2014.

A continuación, en la tabla 20 se presentan los resultados obtenidos de la ponderación de las alternativas de tratamiento de potabilización, que permite identificar

la alternativa 2 más favorable con el mayor puntaje en la evaluación de las dos alternativas propuestas.

*Tabla 20 Selección de Alternativas*

Resultados evaluación alternativas						
Resultados		Evaluación económica	Evaluación tecnológica	Evaluación social	Evaluación Ambiental	Puntaje Total
Alternativa						
1	Alternativa 1	38,63	28,75	16,00	13,46	96,85
2	Alternativa 2	38,83	29,4	16,00	14,6	98,78
<b>Alternativa de mayor puntaje Alternativa 2</b>						

Fuente: Elaboración propia adaptado del Ministerio de salud y de protección social, Propuesta de identificación y difusión de tecnologías alternativas para agua potable y saneamiento, que permita soluciones colectivas o individuales a la población tanto del área rural como urbana, pág. 21, 2014

## 7. Discusión.

De acuerdo con los resultados obtenidos, para atender la gran demanda que presenta el municipio de Arauquita se recomienda la alternativa 2, teniendo en cuenta el análisis costo beneficio, evaluando criterios, ambientales, sociales, tecnológicos y operativos.

Así mismo, en base lo dispuesto en el ARTÍCULO 32. ABASTOS DE AGUA resolución 0844 de 2018 y conforme a la resolución 0330 de 2017 del Ministerio de vivienda, ciudad y territorio se recomienda un caudal de diseño de 0.01 Litros/segundos con un tiempo de reserva de un día, el cual, beneficiaría a 5 personas por familia.

La propuesta de diseño para las 85 familias del municipio de Arauquita esta alineada con la normativa y el plan básico de ordenamiento territorial (PBOT) de Arauquita, que pretende disminuir el número de habitantes del municipio que utilizan sistemas tradicionales para el consumo del agua a través de un sistema alternativo de

agua potable que incluye un sistema de bombeo fuente fotovoltaico y sistema de tratamiento modular con tanques de floculación y filtros fabricados en fibra de vidrio reforzada, compuesto por una cámaras de floculación, tanque de sedimentación, tanque de contacto y una torre de aireación en material de poliéster reforzado en fibra de vidrio para el correcto funcionamiento del sistema. El tratamiento que da respuesta a los parámetros específicos de estos procesos fue descrito con anterioridad basados en los resultados de laboratorio obtenidos por parte de la empresa CUMARE.

## **8. Conclusiones.**

Teniendo en cuenta cada uno de los criterios para determinar la mejor alternativa de acuerdo con el ministerio de salud y protección social para la propuesta de un sistema alternativo individual de agua potable bajo el comportamiento del agua y utilizando herramientas como Microsoft Excel en la consolidación y análisis de los resultados de las muestras de laboratorio, bajo los parámetros permitidos en la resolución 2015 del 2007, haciendo un análisis de los costos de las dos alternativas propuestas y matriz de selección, las cuales se establecieron con base a la resolución 0844 de 2018.

Una vez evaluado los valores de instalación, operación y mantenimiento, dadas las características de estructura requerida se obtuvo un valor mayor al requerido por la alternativa 2, por lo cual la evaluación multicriterio nos arroja como mejor opción la alternativa 2 seleccionada, además teniendo en cuenta la facilidad constructiva de contar con un solo sistema, se considera la implementación de la alternativa 2 para todos los beneficiarios.

Para un trabajo futuro se debe tener los diseños detallados de la propuesta en base a la alternativa seleccionada, es importante mencionar que la investigación es de tipo cuantitativo, dado que se obtuvieron las características principales del agua por cada posible beneficiario en base a la información de la empresa CUMARE que nos permitió evaluar bajo criterios económicos, tecnológicos, sociales y ambientales, los cuales infieren que la alternativa 2 es la mejor alternativa de tratamiento para potabilización de agua en vivienda unifamiliar.

## 9. Referencias

- Acciona Business as unusual*. (2020). Obtenido de potabilizacion del agua:  
[https://www.acciona.com/es/tratamiento-de-agua/potabilizacion/?\\_adin=02021864894](https://www.acciona.com/es/tratamiento-de-agua/potabilizacion/?_adin=02021864894)
- AMBIENTAL, M. D. (31 de Julio de 2014). *PROPUESTA DE IDENTIFICACIÓN Y DIFUSIÓN DE TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS PARA AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO, QUE PERMITA SOLUCIONES COLECTIVAS O INDIVIDUALES A LA POBLACIÓN TANTO DEL ÁREA RURAL COMO URBANA* . Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/<https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/4sistemas-alternativos-agua-saneamiento-basico.pdf>
- Araucita, C. M. (01 de Junio de 2017). *Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/[http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28871/EMRE\\_AraucitaArauca\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.gestiondelriesgo.gov.co/bitstream/handle/20.500.11762/28871/EMRE_AraucitaArauca_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Araucita, M. (19 de 12 de 2016). *Gobernación Araucita*. Recuperado el 20 de octubre de 2023, de <https://arauca.gov.co/municipio-de-arauquita/>
- Araucita, u. d. (s.f.). *Instituto Geográfico Agustín Codazzi*. Recuperado el 20 de octubre de 2023, de <https://www.igac.gov.co/es/noticias/arauquita-uno-de-los-municipios-de-arauca-en-los-que-renacera-la-paz>
- Barraza, C. (16 de febrero de 2022). *El Troncal de Araucita, un pueblo con olor a paz y chocolate*. Obtenido de Radio Nacional Colombia:  
<https://www.radionacional.co/actualidad/campo-colombiano/arauquita-arauca-olor-a-paz-en-el-troncal>
- Barrios, T. L. (2009). *Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios*. Obtenido de Organizacion Panamericana para la Salud.

- Betancur Flórez, Á. M., & Upegu, S. A. (s.f.). Comparación de técnicas alternativas de potabilización de agua, y su posible aplicación en el área rural del territorio nacional colombiano. *Revista científica de la Facultad de Ingeniería*, 17.
- Carey, J. D. (6 de Noviembre de 2022). *posibilitar el acceso al agua limpia y potable en todo el mundo*. Obtenido de ONU: <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#>
- caribe, B. d. (9 de agosto de 2013). *Los desafíos del agua potable y el saneamiento*. Obtenido de <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2013/08/los-desafios-del-agua-potable-y-el-saneamiento/>
- Caro Caro, C. I., & Tovar Hernández, N. A. (s.f.). *ANÁLISIS DE DIAGNÓSTICO DEL PLAN BÁSICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (PBOT) DEL MUNICIPIO DE ARAUQUITA*. Recuperado el 11 de Noviembre de 2023, de Edu.co: [https://www.unillanos.edu.co/pod-arauca/docus/componente1/7municipios/Arauquita/4.1%20ANALISIS%20DE%20DIAGNOSTICOS%20PBOT%20ARAUQUITA%20\(2\).pdf](https://www.unillanos.edu.co/pod-arauca/docus/componente1/7municipios/Arauquita/4.1%20ANALISIS%20DE%20DIAGNOSTICOS%20PBOT%20ARAUQUITA%20(2).pdf)
- Carrillo-Bernal, M. F., & Pulido-Muñoz, H. S. (2016). *Diseño hidráulico de una planta de potabilización de agua en la Vereda de San Antonio de Anapoima*. Obtenido de <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/91257c6a-8b9c-4922-af0f-ef46ddbc1ab2>
- Colombia, N. u. (s.f.). *Colombia.un.org*. Obtenido de <https://colombia.un.org/es/sdgs>
- Com.mx. (s.f.). Recuperado el 20 de octubre de 2023, de <https://www.cuandovisitar.com.mx/venezuela/arauquita-3922761/>
- Coronell, A. (2021). *Teoria y Practica de la Purificacion del H2O Tomo 1 Arboleda Valencia*. Obtenido de [https://www.academia.edu/49010823/Teoria\\_y\\_Practica\\_de\\_la\\_Purificacion\\_del\\_H2O\\_Tomo\\_1\\_Arboleda\\_Valencia](https://www.academia.edu/49010823/Teoria_y_Practica_de_la_Purificacion_del_H2O_Tomo_1_Arboleda_Valencia)
- Corporativa, I. (s.f.). *ODS 6: Agua limpia y saneamiento*. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de Iberdrola: <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/comprometidos-objetivos-desarrollo-sostenible/ods-6-agua-limpia-y-saneamiento>
- CUMARE, S. (s.f.). *Convocatoria Sistemas Alternativos Individuales Rurales*. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de Gov.co: <https://www.cumare.gov.co/convocatoria-sistemas-alternativos-individuales-rurales/>
- Dane. (2018). *Entrega de resultados Censo nacional de población y vivienda (verisión PDF)*. Bogotá: Dane.
- Departamento Nacional de Planeación, D. (Octubre de 2021). *Sistema de estadísticas Territoriales*. Obtenido de Terridata DNP: <https://terridata.dnp.gov.co/index-app.html#/>
- Departamento Nacional de planeación. (2030). *AGUA LIMPIA Y SANEAMIENTO*. Obtenido de Objetivos de desarrollo sostenible: <https://ods.dnp.gov.co/es/objetivos/agua-limpia-y-saneamiento>
- Guillen-Rivas, J. R., Jaramillo-Cedeño, A. R., & Baquerizo-Crespo, R. J. (16 de Julio de 2021). *Estudio de los procesos de remoción de hierro y manganeso en aguas*. Obtenido de <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwj7mpSq3bCCAxVWTDABHUVsA6sQFnoECA4QAQ&url=https%3A%2F%2F>




- Fdialnet.unirioja.es%2Fdescarga%2Farticulo%2F8094613.pdf&usg=AOvVaw2VAP\_xhTg0NFoqTH7FtpnT&opi=89978449
- Mc Farland, M. L., de Agua Monty C. Dozier, P. A., & de Suelos, P. A. (11 de Julio de 2023). *Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso*. Obtenido de Tamu.edu: <https://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/I5451sironandman.pdf>
- Mc Farland, M. L., de Agua Monty C. Dozier, P. A., & de Suelos, P. A. (s.f.). *Problemas del agua potable: El hierro y el manganeso*. Recuperado el 11 de 06 de 2023, de Tamu.edu: <https://texaswater.tamu.edu/resources/factsheets/I5451sironandman.pdf>
- Mexico, W. T. (29 de Septiembre de 2020). *Filtros de agua*. Obtenido de ¿Qué es la filtración del agua por carbón activado?: <https://www.tratamientosdeagua.com/ventaenlinea/blog-water-technologies/Filtros-de-agua/Que-es-la-filtracion-del-agua-por-carbon-activado>
- Milenio, O. d. (noviembre de 2014). *Informe 2012*. Obtenido de UNDP: <https://www.undp.org/es/publications/informe-2012-objetivos-de-desarrollo-del-milenio>
- Ministerio de Ambiente, V. y. (2010). *TÍTULO J Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/<https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/946/Potabilizacion%20agua.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ministerio de vivienda, c. y. (2010). *Titulo C*. Obtenido de Reglamento tecnico del sector de agua potable y saneamiento basico-RAS, C. y. T. Ministerio de Vivienda,.
- Ministerio de vivienda, c. y. (2010). *Titulo C, Reglamento tecnico del sector de agua potable y saneamiento basico-RAS, C. y. T*. Obtenido de Ministerio de Vivienda: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/<https://dspace.tdea.edu.co/bitstream/handle/tdea/946/Potabilizacion%20agua.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Navia Díaz, M. d., Aguilera, J. C., & Bohórquez, J. F. (Mayo de 2022). *Avances y retos del sector de agua potable y saneamiento en Colombia: una mirada desde el Sistema AquaRating*. Obtenido de BID: <https://publications.iadb.org/es/avances-y-retos-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-en-colombia-una-mirada-desde-el-sistema>
- Organización mundial de la salud-OMS. (13 de septiembre de 2023). *Agua para consumo humano*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20para%20consumo%20humano,000%20muertes%20por%20enfermedades%20diarreicas>
- Pedraza, A. Y. (Octubre de 2021). *Soluciones alternativas para el acceso a agua y saneamiento en Colombia*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/[http://www.fadmon.unal.edu.co/fileadmin/user\\_upload/investigacion/2021/noticias/soluciones\\_alternativas\\_publicacion\\_26\\_10\\_2021.pdf](http://www.fadmon.unal.edu.co/fileadmin/user_upload/investigacion/2021/noticias/soluciones_alternativas_publicacion_26_10_2021.pdf)
- Prep Prog Agua y Saneamiento Zonas Rurales y Periurbanas*. (22 de julio de 2011). Obtenido de <https://www.iadb.org/es/whats-our-impact/CO-T1262>
- (PNUD), P. d. (s.f.). *ONUSIDA*. Recuperado el 2 de Noviembre de 2023, de Unaid.org: <https://www.unaids.org/es/aboutunaid/unaidscosponsors/undp>

- Roxlo, C. (s.f.). *Obras Sanitarias del Estado*. Recuperado el 14 de Noviembre de 2023, de <http://www.ose.com.uy/agua/etapas-del-proceso-de-potabilizacion>
- S.A.S, A. (15 de enero de 2018). Obtenido de <https://acuatecnica.com/caracteristicas-lasplantas-tratamiento-agua-potable-convencionales/>.
- s.f. (22 de junio de 2007). *MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL*. Obtenido de RESOLUCIÓN NÚMERO 2115: [chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/Res\\_2115\\_de\\_2007.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://scj.gov.co/sites/default/files/marco-legal/Res_2115_de_2007.pdf)
- SOCIAL, M. D. (31 de 08 de 2014). *PROPUESTA DE IDENTIFICACIÓN Y DIFUSIÓN DE TECNOLOGÍAS ALTERNATIVAS PARA AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO, QUE PERMITA SOLUCIONES COLECTIVAS O INDIVIDUALES A LA POBLACIÓN TANTO DEL ÁREA RURAL COMO URBANA* . Obtenido de DIRECCIÓN DE PROMOCIÓN Y PREVENCIÓN: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/4sistemas-alternativos-agua-saneamiento-basico.pdf>
- Social, M. d. (enero de 2023). *Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano*. Obtenido de INCA 2021: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/informe-nacional-de-calidad-del-agua-para-consumo-humano-inca-2021.pdf>
- Soulier Faure, M., Ducci, J., Altamira, M., & Perroni, A. (junio de 2013). *Agua potable, saneamiento y los Objetivos de Desarrollo del Milenio en América Latina y el Caribe*. Obtenido de BID: <https://publications.iadb.org/es/publicacion/15403/agua-potable-saneamiento-y-los-objetivos-de-desarrollo-del-milenio-en-america>
- TOCHOY, L. M. (2015). *ANÁLISIS DE LOS DISEÑOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAPOTABLE (PTAP) Y CALIDAD DEL AGUA CRUDA Y TRATADA EN EL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA* . Obtenido de <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/4719>
- United, N. (s.f.). *Instantánea del ODS 6 en Serbia*. Recuperado el 2 de noviembre de 2023, de agua potable: <https://www.sdg6data.org/es/country-or-area/Serbia>

## 10. Anexos

Enlace a la carpeta de anexos del presente documento.

<https://universidadeaneducos.sharepoint.com/:f:/r/sites/SeminariodelInvestigacin289/Documentos%20compartidos/General/Anexos?csf=1&web=1&e=8ez9p7>

-  Anexo 1. Listado Consolidado resultados de laboratorio.
-  Anexo 2. Análisis de Costos Alternativas
-  Anexo 3 Matriz de selección de la alternativa