



**SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA Y DISEÑO DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN  
DEL ACUEDUCTO VEREDAL SAN JOSÉ DE LA AHUMADA – ACUESANA  
(SANTA ROSA DE OSOS, ANTIOQUIA)**

Sergio Alejandro Piedrahita Montoya

Informe de Práctica Social para optar al título de Ingeniero Sanitario

Asesor

Darío Naranjo Fernández

Ph.D. Ingeniería Hidráulica y Saneamiento

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería, Escuela Ambiental

Ingeniería Sanitaria

Medellín

2023

---

|                            |   |
|----------------------------|---|
| <b>Cita</b>                | (Piedrahita-Montoya, 2023)  |
| <b>Referencia</b>          | Piedrahita-Montoya, S.A. (2023). <i>Selección de Tecnología y Diseño del Sistema de Potabilización del Acueducto Veredal San José de La Ahumada – ACUESANA (Santa Rosa de Osos, Antioquia)</i> [Práctica Social]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia. |
| <b>Estilo APA 7 (2020)</b> |   |

---



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes

**Decano/Director:** Julio César Saldarriaga Molina

**Jefe departamento:** Lina María Berrouët Cadavid

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mi amada madre, quién a lo largo de mi vida ha sido mi mayor apoyo, mi fuente de inspiración y mi ejemplo a seguir. Tu amor incondicional, paciencia, y acompañamiento han hecho posible que hoy cumpla uno de mis mayores sueños. Este logro es tan tuyo como mío, tu sacrificio y dedicación han sido invaluable, me has dado la confianza necesaria para seguir adelante aún en momentos de tempestad donde he querido rendirme y abandonar mis proyectos. Tus palabras de aliento han sido mi motivación constante y me han recordado que, sin importar las adversidades, puedo lograr cualquier cosa que me proponga si lo hago con esfuerzo y amor.

Gracias madre por todo lo que has hecho por mí, por celebrar mis triunfos y secar mis lágrimas en los momentos de derrota. Espero que este logro te llene de orgullo, porque cada página escrita, cada descubrimiento y cada aprendizaje son un tributo al amor que me has dado, un sentimiento que va más allá de lo terrenal.

Con todo mi amor y agradecimiento,

Sergio Alejandro Piedrahita Montoya

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero expresar mi profunda gratitud, admiración y aprecio por el docente Darío Naranjo Fernández quién asesoró e hizo posible la realización de este proyecto poniendo a disposición su experiencia, paciencia y calidad humana. Haber tenido la oportunidad de desarrollar este proyecto con su acompañamiento y supervisión han despertado en mí una gran pasión por el rol social que debo desempeñar como profesional y me han enseñado que el verdadero valor del ingeniero se demuestra diariamente, con acciones y resultados que impacten positivamente la vida de las personas. Gracias querido maestro, las risas no faltaron.

Agradezco a los docentes David Aguiar Gil y John Dairo Zapata Ochoa por brindarme la confianza de hacer parte de este bonito proyecto, y ser gestores frente a la comunidad formulando rutas para materializar lo que en este informe se propone. Al ingeniero Santiago Vélez Velásquez por brindar asesoría oportuna para la elección de los componentes hidráulicos del sistema de tratamiento y al delineante de arquitectura Diego Alejandro Alzate Bedoya por contribuir a la ejecución de los planos del sistema de potabilización.

Así mismo, quiero dar un agradecimiento especial a mis compañeros de universidad, quiénes en algún momento también han sido maestros, fundamentales en cada paso que he dado en este proyecto de vida. A mi familia, que me ha dado su apoyo incondicional, a los buenos docentes con quienes he podido compartir y al alma mater, mi segundo hogar en donde me he formado como profesional y descubierto como ser humano.

*El tiempo se fue, la canción terminó,  
pensaba que tal vez diría algo más.*

- *Pink Floyd*

## TABLA DE CONTENIDO

|  |    |
|--|----|
| RESUMEN  | 9  |
| ABSTRACT   | 10 |
| 1. INTRODUCCIÓN  | 11 |
| 2. OBJETIVOS   | 13 |
| 2.1. Objetivo general  | 13 |
| 2.2. Objetivos específicos   | 13 |
| 3. MARCO TEÓRICO   | 14 |
| 3.1 Plantas de filtración rápida   | 16 |
| <i>Plantas de filtración rápida completa</i>   | 16 |
| <i>Filtración directa</i>  | 17 |
| 3.2. Plantas de filtración lenta   | 18 |
| 4. METODOLOGÍA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE POTABILIZACIÓN   | 21 |
| 5. DISEÑO DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN  | 31 |
| 6. RESULTADOS  | 34 |
| 6.1. Proyección de población   | 34 |
| 6.2. Dotación y caudales   | 35 |
| 6.3. Dimensionamiento del sistema  | 36 |
| 7. PLAN DE ACCIÓN PARA FORTALECIMIENTO DE PRÁCTICAS SANITARIAS   | 39 |
| 8. ANÁLISIS  | 41 |
| 9. CONCLUSIONES  | 42 |
| 10. REFERENCIAS  | 43 |
| 11. ANEXO 1: SELECCIÓN DE NIVELES DE SOSTENIBILIDAD TECNOLÓGICA MÍNIMOS PARA LA UTILIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO | 45 |

|  |    |
|--|----|
| 12. ANEXO 2: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | 47 |
| 13. ANEXO 3: ANEXOS FOTOGRÁFICOS                 | 52 |

---

## LISTA DE TABLAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabla 1.</b> Límites de calidad de agua aceptables para el tratamiento mediante filtración rápida completa   | 17 |
| <b>Tabla 2.</b> Límites de calidad de agua aceptables para el tratamiento por filtración directa  | 17 |
| <b>Tabla 3.</b> Límites de calidad de agua para tratamiento con filtración lenta  | 19 |
| <b>Tabla 4.</b> Criterios evaluados en la selección de tecnología de potabilización   | 23 |
| <b>Tabla 5.</b> Registro histórico de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la fuente de abastecimiento  | 28 |
| <b>Tabla 6.</b> Parámetros de las muestras tomadas en campo durante la visita del 28 de enero de 2023   | 30 |
| <b>Tabla 7.</b> Características fisicoquímicas y microbiológicas de la fuente de abastecimiento para determinar los procesos que componen el sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME) | 31 |
| <b>Tabla 8.</b> Características de diseño del sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME)  | 32 |
| <b>Tabla 9.</b> Registro histórico de los censos de la población rural de Santa Rosa de Osos  | 35 |
| <b>Tabla 10.</b> Niveles de complejidad de acuerdo al RAS 2000  | 35 |
| <b>Tabla 11.</b> Dotaciones establecidas por la Resolución 2320 de 2009   | 35 |
| <b>Tabla 12.</b> Caudales de diseño obtenidos   | 36 |
| <b>Tabla 13.</b> Especificaciones de diseño obtenidas para el sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME)  | 37 |
| <b>Tabla 14.</b> Tubería y accesorios requeridos para la construcción del sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME)  | 38 |
| <b>Tabla 15.</b> Material filtrante requerido para el sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME)  | 38 |
| <b>Tabla 16.</b> Válvulas que componen el sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME)  | 48 |
| <b>Tabla 17.</b> Configuración de las válvulas para la realización de diferentes procedimientos   | 49 |
| <b>Tabla 18.</b> Frecuencia y labores de mantenimiento del sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME)   | 50 |

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Cobertura nacional de acueductos en 2021  | 12 |
| <b>Figura 2.</b> Principales procesos para potabilización de fuentes de abastecimiento superficiales y alternativas de tratamiento resultantes | 15 |
| <b>Figura 3.</b> Metodología para selección de alternativa de tratamiento según CINARA   | 20 |
| <b>Figura 4:</b> Metodología adoptada para selección de la tecnología de tratamiento   | 21 |
| <b>Figura 5.</b> Procesos que integran la Filtración en Múltiples Etapas   | 31 |
| <b>Figura 6.</b> Modelado del sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME)   | 47 |

## **RESUMEN**

La vereda San José de la Ahumada ubicada al este del municipio de Santa Rosa de Osos en la cuenca del río Guadalupe, dispone de un sistema de abastecimiento de agua que se compone únicamente de las unidades de captación, desarenado y distribución para dotar de agua los predios de este sector los cuales están dedicados principalmente a la ganadería y producción lechera, estos en su mayoría sobrepasan las 10 hectáreas de extensión. La operación y gestión de este sistema se encuentra a cargo de la Asociación de Usuarios del Acueducto Veredal (ACUESANA); es uno de los 14 acueductos veredales que brindan servicio en el municipio y está compuesto por 64 socios, muchos de ellos residentes de la vereda. Actualmente, el acueducto veredal se enfrenta a una serie de requerimientos por parte de la Autoridad Ambiental que deben ser atendidos con premura; uno de ellos es la implementación de un sistema de tratamiento el cual pueda abastecer a los usuarios de agua que cumpla con los parámetros de seguridad para consumo humano establecidos por la normativa colombiana. Para esto, es necesario establecer una metodología que permita identificar las características ambientales, sociales, tecnológicas y económicas de la comunidad y posteriormente seleccionar adecuadamente una tecnología de tratamiento que sea además sostenible. De manera complementaria se deben fortalecer las prácticas sanitarias y de gestión con el objetivo de legitimar el uso y aprovechamiento del agua de acuerdo con los requerimientos instaurados en el Decreto 1076 de 2015 ante la Autoridad Ambiental correspondiente. El resultado de este proyecto será el diseño de un sistema de potabilización viable en términos de implementación y operación para la comunidad de San José de la Ahumada el cual incluye planos de detalle y el manual de operación y mantenimiento de la planta.

## **ABSTRACT**

The San Jose de la Ahumada pathway, located to the east of the municipality of Santa Rosa de Osos in the Guadalupe River basin, has a water supply system that consists solely of collection, sand removal, and distribution units to provide water to the properties in this area, which are mainly dedicated to livestock and dairy production, most of which exceed 10 hectares in size. The operation and management of this system is the responsibility of the Veredal Aqueduct Users Association (ACUESANA), which is one of the 14 village aqueducts that provide service in the municipality and is composed of 64 partners, many of whom are residents of the pathway. Currently, the village aqueduct is facing a series of requirements from the environmental authority that must be addressed with urgency; one of them is the implementation of a treatment system that can supply users with water that meets the safety parameters for human consumption established by Colombian regulations. For this, it is necessary to establish a methodology that allows the identification of the environmental, social, technological, and economic characteristics of the community and then select an appropriate treatment technology that is also sustainable over time. In addition, sanitation and management practices must be strengthened with the aim of legitimizing the use and exploitation of water in accordance with the requirements established in Decree 1076 of 2015 before the corresponding Environmental Authority. The result of this project will be the design of a viable drinking water system in terms of implementation and operation for the San Jose de la Ahumada community, which includes detailed plans and the operation and maintenance manual for the plant.

---

## 1. INTRODUCCIÓN

El acceso a agua potable es esencial cuando se trata de salud pública y desarrollo social, ya que además de ser necesaria para la hidratación, la preparación de alimentos y la higiene personal, el agua potable es fundamental en la prevención de enfermedades de origen hídrico como la fiebre tifoidea, el cólera, la diarrea entre otras. Sin embargo, a pesar de los significativos avances en cobertura de agua potable a nivel mundial, aún hay una gran cantidad de personas que no tienen acceso a este recurso.

Según el informe entregado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) para 2021 alrededor del 29% de la población mundial no contaba con acceso a agua potable, lo que equivale aproximadamente a 2.2 billones de personas que sobreviven diariamente en sus hogares, escuelas, centros de salud y otros sitios importantes en la cotidianidad sin acceso a este recurso vital.

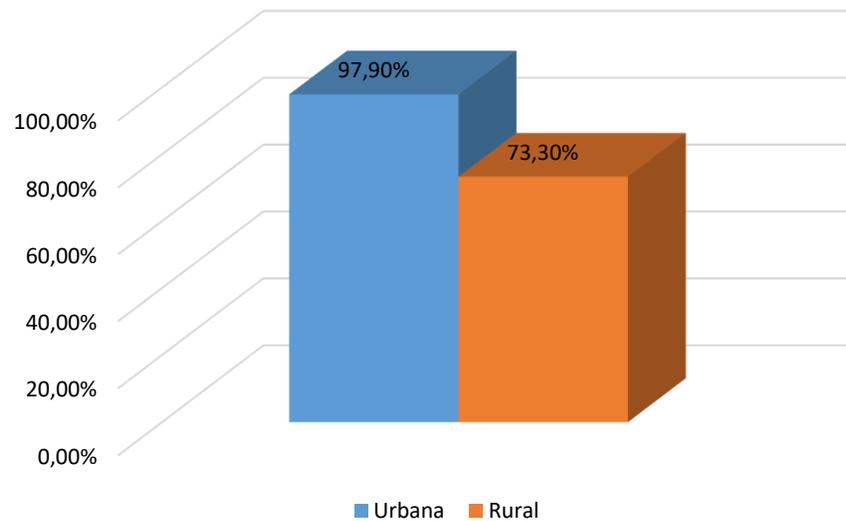
El 25 de noviembre de 2015 la Cumbre del Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas aprobó los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como principal estrategia para “poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad”, de estos objetivos el ODS 6 está orientado a “garantizar el acceso universal al agua potable para consumo humano y al saneamiento básico” como meta para el año 2030, pero para cumplir con este objetivo es necesario promover la construcción de infraestructura adecuada a los contextos territoriales, y fortalecer tanto las prácticas sanitarias como la institucionalidad y asistencia técnica para hacer efectivo el apoyo a quienes presten estos servicios en el territorio nacional (MVCT, 2020).

En Colombia hoy en día sigue habiendo una desproporción significativa en cuanto a cobertura de servicios públicos, especialmente entre zonas urbanas y rurales. La figura 1 muestra las cifras del último reporte entregado por el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio en el año 2021 (MVCT, 2021), estos datos dan certeza de la brecha que hay entre la población urbana y rural en cobertura del servicio de acueducto y permiten evidenciar además que aún queda mucho camino por recorrer como nación para cumplir con los ODS establecidos.

En parte la gran desventaja entre zonas rurales y urbanas se debe al modelo descentralizado adoptado por el país desde la década de los 80 ya que es un gran reto para los alcaldes asegurar que todos los habitantes cuenten con acceso a servicios públicos especialmente quienes residen en zonas más dispersas (Moreno, 2020). No obstante, esto debe afrontarse principalmente desde la articulación a nivel nacional, regional y local, implementando normatividad acorde a las particularidades de las zonas rurales, fortaleciendo los programas de financiación y facilitando la asistencia técnica permanente especialmente en las comunidades dispersas. Es importante entender que la cobertura de agua potable en el sector rural no equivale al acceso a agua propiamente ya que muchas comunidades rurales tanto centralizadas como dispersas disponen de suministro de agua cruda (agua no tratada) y es precisamente en estas zonas en las que es importante que comience a haber cambios que mejoren en aspectos técnicos e institucionales las condiciones de prestación del servicio.

## Figura 1

*Cobertura nacional de acueductos en 2021.*



*Fuente.* Elaborado a partir MVCT (2021).

Desde la ingeniería, la responsabilidad está en identificar adecuadamente las circunstancias y necesidades particulares de cada comunidad para posteriormente proponer y diseñar sistemas o tecnologías de tratamiento que no solo suplan estas necesidades, sino que además sean correctamente formuladas para cada comunidad específica y evitar así caer en la implementación de plantas de tratamiento genéricas que en muchos casos son insostenibles por sus altos costos de operación y mantenimiento. Por consiguiente, es importante ofrecer a las comunidades soluciones alternativas seleccionadas bajo un marco metodológico que contemple tanto factores sociales como técnicos para el acceso a agua potable y saneamiento.

Considerando las necesidades anteriormente expuestas, el objetivo de este proyecto es seleccionar y diseñar un sistema de potabilización para la comunidad rural de la vereda San José de la Ahumada en el municipio de Santa Rosa de Osos para lo cual fue necesario tomar muestras en campo de las unidades de distribución de agua cruda existentes y analizar sus características fisicoquímicas, adicionalmente se evaluaron las posibles tecnologías de tratamiento de acuerdo a su sostenibilidad teniendo en cuenta aspectos ambientales, sociales, tecnológicos y económicos. Así pues, lo que se quiere lograr es que esta comunidad cuente con los recursos necesarios en la formulación del proyecto de construcción de la Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) la cual está contemplada dentro de los requerimientos actuales para la renovación de la concesión de aguas por parte de la Autoridad Ambiental Territorial.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Seleccionar y diseñar un sistema de potabilización para el acueducto veredal San José de la Ahumada (ACUESANA) del municipio de Santa Rosa de Osos y proponer mecanismos de acción que fortalezcan las prácticas sanitarias evaluadas por la Autoridad Ambiental para renovar la concesión de aguas.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Realizar una medición preliminar de los parámetros del agua cruda que actualmente distribuye el acueducto y seleccionar una tecnología de tratamiento acorde a las condiciones ambientales, sociales, tecnológicas y económicas de la comunidad de San José de la Ahumada.
- Elaborar el diseño conceptual y de detalle de la alternativa de potabilización seleccionada y su respectivo manual de operación y mantenimiento.
- Priorizar las acciones requeridas por la Autoridad Ambiental para otorgar la concesión de aguas, las cuales buscan fortalecer las prácticas sanitarias que demanda la prestación del servicio de agua potable.

### 3. MARCO TEÓRICO

El concepto de potabilización hace referencia al proceso de tratamiento del agua para mejorar sus características fisicoquímicas y microbiológicas logrando que alcance determinados estándares de seguridad para el consumo humano. Existen diversas formas de cumplir con estos estándares y conseguir potabilizar el agua. Por ejemplo, los sistemas de tratamiento convencionales incorporan una serie de procesos como la coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección para eliminar partículas, bacterias y otros contaminantes del agua. Mientras que un sistema de tratamiento no convencional puede incluir procesos como la ósmosis inversa, la destilación o la radiación ultravioleta para tratar el agua. La principal diferencia entre sistemas convencionales y no convencionales radica en la tecnología utilizada y en los niveles de eficiencia en la eliminación de los contaminantes que se pueda alcanzar empleando una u otra. Lo que si es cierto es que, si bien los sistemas de tratamiento convencionales suelen ser bastante eficientes, su uso puede ser limitado debido a su alta inversión y costos operativos especialmente en zonas rurales donde tienen dinámicas económicas a menor escala, lo que hace necesario priorizar la implementación de soluciones alternativas para el acceso al agua potable y el saneamiento básico.

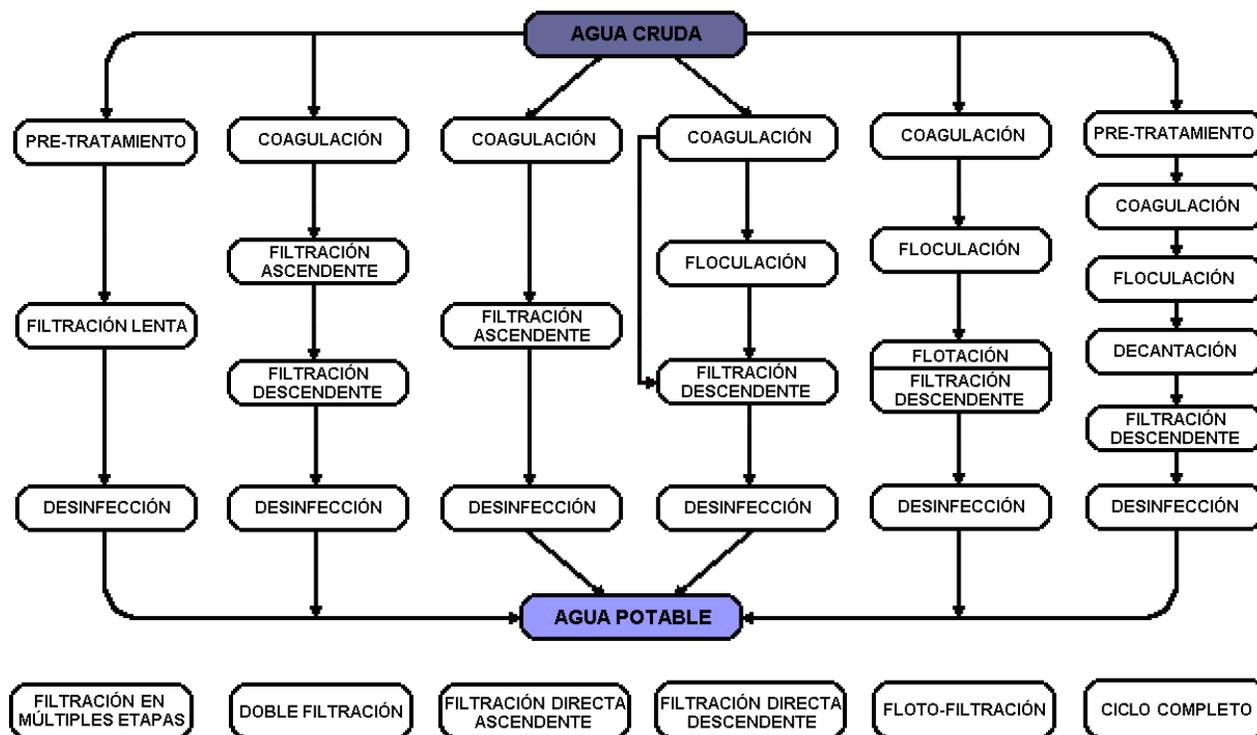
Desde lo que conlleva la formulación de proyectos, la solución alternativa responde a una decisión local de implementar una opción tecnológica de pequeña escala o individual para asegurar agua o saneamiento a una o varias viviendas rurales, haciendo que las comunidades y las familias sean responsables de su administración y mantenimiento, de acuerdo con sus propias capacidades y expectativas. La solución alternativa es adecuada en localidades que no experimentarán cambios demográficos significativos o una mayor concentración de viviendas o edificaciones, asumiendo que la financiación de las obras y los costos de operación y mantenimiento se pueden recuperar con mecanismos diferentes a las tarifas (Bernal, 2021).

Dado que en este caso de estudio se elaborará un diseño para un acueducto veredal que se abastece de una fuente superficial, se considerarán únicamente procesos de coagulación, floculación, sedimentación, flotación, filtración y desinfección. Como resultado de la combinación de estos procesos se obtienen diferentes alternativas de potabilización de las cuales las más comúnmente utilizadas para fuentes de abastecimiento superficiales, son: filtración rápida, filtración directa o filtración lenta (Naranjo, 2009). Estas alternativas de tratamiento se presentan detalladamente en la figura 2.

La tecnología de filtración se ha utilizado ampliamente en el tratamiento de agua para la eliminación de partículas suspendidas, microorganismos y contaminantes químicos. La filtración es un proceso físico en el que utilizando un medio poroso se logra separar los sólidos y los líquidos (Crittenden et al., 2012). Existen diferentes tipos de filtros utilizados en el tratamiento de agua, incluyendo filtros en medio poroso (grava, arena y antracita), filtros de adsorción con carbón activado granular y filtros de membrana (p.e. microfiltración, ultrafiltración, ósmosis inversa, entre otros).

**Figura 2**

*Principales procesos para potabilización de fuentes de abastecimiento superficiales y alternativas de tratamiento resultantes.*



*Fuente:* Tomado de Naranjo (2009).

Los filtros de arena son uno de los tipos más comunes de filtros utilizados en el tratamiento de agua potable. Los filtros de arena se basan en la eliminación de partículas suspendidas y microorganismos por medio de la captura física en la superficie y en los poros entre las partículas (Ayers & Westcot, 2005). Además, la arena actúa como un medio de soporte para el crecimiento de bacterias beneficiosas que ayudan a la eliminación de contaminantes biológicos y químicos. Así mismo, la grava como material filtrante es utilizada para la eliminación de partículas suspendidas y sedimentos en el agua cruda.

Por otro lado, el carbón activado puede usarse para la eliminación de contaminantes químicos y compuestos orgánicos en el agua potable. El carbón activado es un material poroso que tiene una gran superficie específica y una alta capacidad de adsorción. Los contaminantes químicos se adsorben en la superficie del carbón activado a medida que el agua fluye a través del filtro.

Existen muchas tecnologías para realizar procesos de filtración en potabilización, sin embargo, de acuerdo con Cánepa (2004), las plantas de tratamiento se pueden clasificar, por el tipo de procesos que las conforman, como plantas de filtración rápida y plantas de filtración lenta.

### 3.1 Plantas de filtración rápida

Se denomina así a las plantas cuyo sistema de filtración opera con velocidades entre 80 y 300 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>d de acuerdo a los lechos utilizados y demás recursos disponibles para operar. Con estas altas tasas de filtración, la operación del filtro requiere hacer retrolavados en lapsos de 40 a 50 horas en promedio debido a la colmatación de la unidad. Es posible optar por dos tipos de soluciones dentro de las plantas de filtración rápida: plantas de filtración rápida completa y plantas de filtración directa; para determinar cuál opción resulta más conveniente se deben analizar las condiciones del agua que se quiere tratar.

#### *Plantas de filtración rápida completa*

Una planta de filtración rápida completa usualmente se compone de los procesos de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección. En la coagulación se dosifica el coagulante en medio de altos gradientes de velocidad de forma que haya una dispersión instantánea del agente coagulante y se genere la neutralización de las cargas de las partículas coloidales en suspensión y, posteriormente, se pasa a la floculación a través de una agitación lenta que promueva la aglomeración y crecimiento de los flóculos.

La etapa de coagulación tiene la finalidad de aumentar la eficiencia de remoción de partículas coloidales en el proceso de sedimentación (sedimentación de partículas floculentas), de modo que la etapa de filtración funcionaría como un pulimiento final al agua (Cánepa, 2004). Según investigaciones realizadas por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U.S.-EPA, por sus siglas en inglés), un efluente con una turbiedad menor o igual a 0,10 UNT garantiza la ausencia de huevos de parásitos (*Giardia*, *Cryptosporidium*, etcétera), esto se logra si los sedimentadores producen un efluente menor o igual a 2 UNT.

Al final, se realiza la desinfección, lo cual es un procedimiento que se aplica a ambos tipos de plantas de tratamiento de agua: las de filtración rápida completa y las de filtración directa. La tarea principal de este proceso es eliminar completamente los microorganismos patógenos que no fueron capturados por el filtro y proteger el agua de cualquier contaminación que pueda ocurrir en el sistema de distribución.

Las altas tasas de filtración a las que operan estos sistemas y el requerimiento de agentes coagulantes (los cuales requieren ciertos cuidados para su uso), demandan además de mayores capacidades técnicas de operación con recursos humanos capacitados, razón por la cual se debe estudiar con detenimiento su implementación fuera de zonas urbanas, o en general, en zonas económicamente muy limitadas (Cánepa, 2004).

La tabla 1 indica los intervalos de calidad de agua en los que puede considerarse usar este tipo de tratamiento.

**Tabla 1**

*Límites de calidad de agua aceptables para el tratamiento mediante filtración rápida completa.*

| Parámetro                               | 90% del tiempo | 80% del tiempo | Esporádicamente                                  |
|---|----------------|----------------|--|
| Turbiedad (UNT)                         | < 1.000        | < 800          | < 1.500, si excede, considerar presedimentación. |
| Color (UC)                              | < 150          | < 70           |  |
| NMP de coliformes termotolerantes/100mL | < 600          |                | Si excede de 600 considerar predesinfección.     |

*Fuente:* Elaborada a partir de Cánepa (2004).

### **Filtración directa**

Esta alternativa reúne los procesos de coagulación (mezcla rápida) y filtración. Es considerada una opción ideal cuando se trata aguas provenientes de embalses o represas, que funcionan como grandes pre sedimentadores proporcionando un agua constantemente clara y poco contaminada. Si la fuente de abastecimiento es una cuenca virgen o bien protegida en la que la turbiedad del agua presenta valores entre 10 y 20 UNT el 80% del tiempo, y no supera 30 UNT ni 25 UC el 90% del tiempo, es factible emplear esta alternativa.

**Tabla 2**

*Límites de calidad de agua aceptables para el tratamiento por filtración directa.*

| Alternativa                                 | Parámetros                           | 90% del tiempo | 80% del tiempo | Esporádicamente |
|---|--------------------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| Filtración directa descendente              | Turbiedad (UNT)                      | 25 - 30        | < 20           | < 50            |
|   | Color Verdadero (UC)                 | < 25           |                |                 |
|   | NMP de coliformes totales/100 mL     | < 2500         |                |                 |
|   | Concentración de algas (unidades/mL) | < 200          |                |                 |
| Filtración directa ascendente               | Turbiedad (UNT)                      | < 100          | < 50           | < 200           |
|   | Color Verdadero (UC)                 | < 60           |                | < 100           |
| Filtración directa ascendente – descendente | Turbiedad (UNT)                      | < 250          | < 150          | < 400           |
|   | Color Verdadero (UC)                 | < 60           |                | < 100           |

*Fuente:* Elaborada a partir Cánepa (2004).

En la tabla 2 se precisan de forma detallada los intervalos permisibles de calidad de agua para las distintas alternativas de filtración directa. Debe considerarse que implementar este tipo de soluciones requiere de un amplio estudio de la fuente de abastecimiento, ya que es necesario

---

analizar cómo fluctúan los parámetros de calidad de agua de forma estacionaria principalmente en los ciclos lluviosos.

### **3.2. Plantas de filtración lenta**

Las tasas de filtración a las que opera normalmente un filtro lento varían entre 0,10 y 0,30 m/h, lo que equivale aproximadamente entre 30 y 40 veces menos que las tasas promedio de un filtro rápido. Un filtro lento simula los procesos de tratamiento que se dan en la naturaleza de forma espontánea, cuando se percola el agua proveniente de las lluvias, ríos, lagunas a través de los estratos de la corteza terrestre, atravesando capas de grava, arena y arcilla hasta alcanzar los acuíferos o ríos subterráneos. Al igual que en la naturaleza, los procesos que emplean estos filtros son físicos y biológicos (Cánepa, 2004).

Una planta de tratamiento podría incluso estar conformada solo por filtros lentos y, dependiendo de la calidad del agua, integrar procesos previos que cumplan la función de acondicionar el agua cruda a los límites aceptables por el filtro lento. Haciendo uso de la combinación de procesos adecuada se puede llegar a remover hasta 500 UNT ocasionalmente, sin que el 90% de las veces supere 50 UNT (Naranjo, 2009); partículas coloidales que se pueden remover mediante métodos físicos. En la tabla 3 se especifican los procesos que debe incluir una planta de filtración lenta de acuerdo a los parámetros del agua cruda.

La selección de tecnología de tratamiento debe pensarse bajo un modelo basado en la demanda en el que los problemas y necesidades se identifiquen con plena participación de la comunidad, lo que implica que haya una previa sensibilización, incentivando a la comprensión de los aspectos técnicos y financieros de la tecnología seleccionada y las implicaciones operacionales de su elección. Una de las ventajas de este enfoque será que la comunidad se sienta motivada a participar en la planificación y ejecución del proyecto, así mismo fomentará la responsabilidad administrativa que se requiere en la operación (Brikké et al., 2003).

Para Naranjo (2010), es importante considerar tanto las distintas tecnologías de tratamiento (aspecto tecnológico), como las características de la fuente de abastecimiento (aspecto ambiental) y las condiciones propias de la comunidad (aspecto social) de forma conjunta para obtener información más apropiada y optar por la alternativa más conveniente.

Sin embargo, es común encontrarse con ausencia de información al momento de seleccionar la alternativa de tratamiento, especialmente cuando se trata de fuentes que abastecen comunidades rurales alejadas del casco urbano. En dichas situaciones se debe utilizar la turbiedad como la característica fisicoquímica más representativa dada su correlación con los demás parámetros (Dol y Nigris, 2006).

No obstante, es imprescindible, para la selección de la alternativa que se va a diseñar, considerar la posible aplicación y sostenibilidad de las tecnologías de tratamiento bajo las condiciones puntuales de la comunidad. En ese sentido, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y el Instituto CINARA (Galvis y Vargas, 1998; Galvis y Vargas, 2000) proponen una metodología que considera aspectos ambientales,

tecnológicos y sociales que permite identificar, conforme a las capacidades existentes de la comunidad, la alternativa más viable. La figura 3 muestra el funcionamiento de esta metodología.

**Tabla 3**

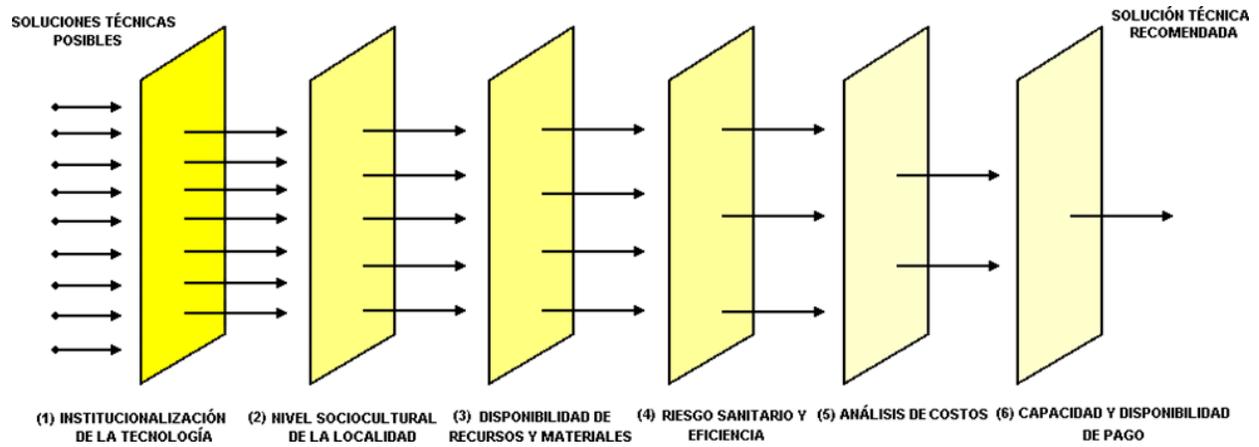
*Límites de calidad de agua para tratamiento con filtración lenta.*

| Procesos   | Parámetros                      | 90% del tiempo | 80% del tiempo | Esporádicamente |
|--|---------------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| Filtro Lento   | Turbiedad (UNT)                 | < 20           | < 10           | < 50            |
|  | Color verdadero (UC)            | < 15           | < 5            |                 |
|  | Concentración de algas (UPA/mL) | 250            |                |                 |
|  | DBO5 (mg/L)                     | 5              |                |                 |
|  | NMP de coliformes totales/100mL | 1000           |                |                 |
|  | NMP de coliformes fecales/100mL | 500            |                |                 |
| Filtro Lento + Prefiltro de grava                                  | Turbiedad (UNT)                 | 25             |                |                 |
|  | Color verdadero (UC)            | 15             | < 5            | < 25            |
|  | NMP de coliformes totales/100mL | 5000           |                |                 |
|  | NMP de coliformes fecales/100mL | 1000           |                |                 |
|  | Concentración de algas (UPA/mL) | 1000           |                |                 |
| Filtro Lento + Prefiltro de grava + Sedimentador                   | Turbiedad (UNT)                 | 100            | < 50           | < 500           |
|  | Color verdadero (UC)            | < 15           | < 5            | < 25            |
|  | NMP de coliformes totales/100mL | 10000          |                |                 |
|  | NMP de coliformes fecales/100mL | 3000           |                |                 |
|  | Concentración de algas (UPA/mL) | 1000           |                |                 |
| Filtro Lento + Prefiltro de grava + Sedimentador + Presedimentador | Turbiedad (UNT)                 | 100            | < 50           | < 1000          |
|  | Color verdadero (UC)            | < 15           | < 5            | < 25            |
|  | NMP de coliformes totales/100mL | 10000          |                |                 |
|  | NMP de coliformes fecales/100mL | 3000           |                |                 |
|  | Concentración de algas (UPA/mL) | 1000           |                |                 |

*Fuente:* Elaborada a partir de Cánepa (2004).

**Figura 3**

*Metodología para selección de alternativa de tratamiento según CINARA.*



*Fuente:* Tomada de Galvis y Vargas (1998).

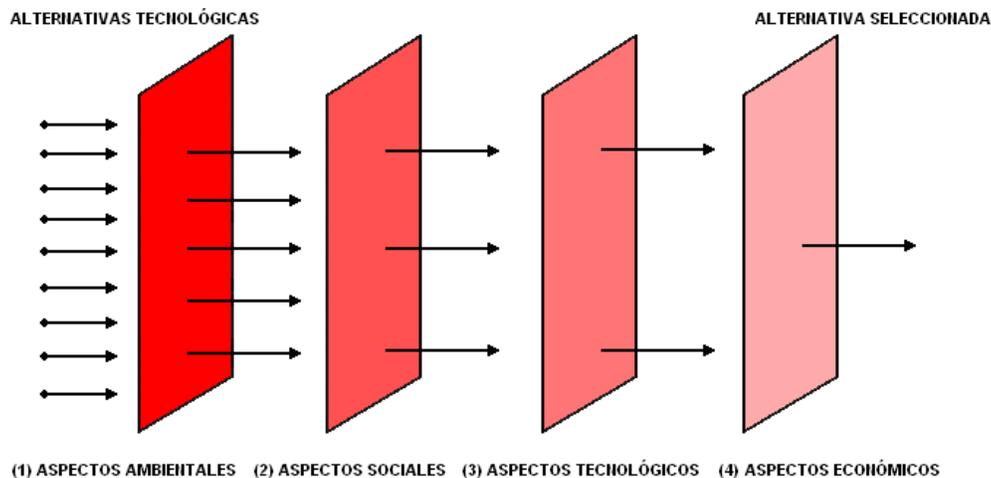
#### 4. METODOLOGÍA SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE POTABILIZACIÓN

Para dar inicio con el desarrollo de este proyecto, se realizó una visita a la vereda San José de la Ahumada los días 27 y 28 de enero con el objetivo de recopilar información preliminar que permita la selección adecuada de la tecnología de potabilización que implementará el acueducto veredal San José de la Ahumada (ACUESANA). Se visitaron además las unidades de captación, desarenado, almacenamiento y distribución con las cuales opera actualmente el acueducto para evaluar su estado de funcionamiento y como podrían articularse estas estructuras hidráulicas al diseño de la planta de potabilización; adicionalmente, se buscó identificar el terreno que mejor pudiese favorecer el diseño en términos hidráulicos y se hizo un dimensionamiento del mismo. A su vez, se tomaron muestras de agua que posteriormente fueron analizadas en laboratorio para medir algunos parámetros relevantes en la selección de la tecnología de potabilización.

La metodología utilizada para la selección de la alternativa de tratamiento (figura 4), obedece al mismo modelo conceptual planteado por CEPIS y el Instituto CINARA en el que se consideran cualitativamente los aspectos ambiental, tecnológico y social acompañados por un componente asociado a los costos de implementación y operación del sistema (aspecto económico) De esta forma las alternativas consideradas inicialmente se filtran, obteniendo como resultado la alternativa de tratamiento seleccionada (Naranjo, 2009).

**Figura 4**

*Metodología adoptada para la selección de la tecnología de tratamiento.*



*Fuente:* Tomada de Naranjo (2009).

En la tabla 4 se presentan los criterios que se tuvieron en cuenta en cada uno de los aspectos, así como la información que se recolectó en campo en la comunidad de San José de la Ahumada. La metodología adoptada de Naranjo (2010). A cada uno de estos criterios, que cumplen con el

objetivo de evaluar la capacidad de las comunidades para sostener un sistema de potabilización, se le asigna un peso que representa su importancia relativa en el conjunto y para evaluarlo se establecen preguntas con sus respectivas respuestas a las que igualmente se les asigna un valor. De acuerdo con los valores asignados a cada pregunta y el peso que tiene cada uno de los criterios de sostenibilidad, se clasifican las comunidades asentadas en la zona de estudio entre cinco niveles, de esta forma:

- *Comunidades de nivel de sostenibilidad tecnológica I (0-30)*: Comunidades asentadas en zona rurales muy lejanas a centros urbanos y/o centros regionales y con muy baja accesibilidad a estos; en las que posiblemente no existe un sistema de acueducto comunitario o con acceso limitado al agua, con muy baja capacidad para operar, mantener y administrar un sistema de potabilización; con muy bajas o nulas fortalezas para mantener relaciones organizacionales y de gestión. Las alternativas de potabilización posibles son aquellas adaptables a una implementación domiciliaria.
- *Comunidades de nivel de sostenibilidad tecnológica II (31-55)*: Comunidades asentadas en zonas rurales lejanas a centros urbanos y/o regionales y con baja accesibilidad a estos; con sistema de acueducto u otros sistemas de abastecimiento comunitario, con baja capacidad para operar, mantener y administrar un sistema de potabilización; con bajas fortalezas para mantener relaciones organizacionales y de gestión. Las alternativas de potabilización posibles en las comunidades de este nivel pueden ser domiciliarias o centralizadas.
- *Comunidades de nivel de sostenibilidad tecnológica III (56-75)*: Comunidades asentadas en zonas rurales con distancia intermedia a centros regionales y/o urbanos, con accesibilidad regular a estos; con sistemas de acueducto u otros sistemas de abastecimiento comunitario, con capacidad media para operar, mantener y administrar un sistema de potabilización; con fortalezas regulares para mantener relaciones organizacionales y de gestión. Las alternativas de potabilización posibles en las comunidades de este nivel pueden ser domiciliarias o centralizadas.
- *Comunidades de nivel de sostenibilidad tecnológica IV (76-90)*: Comunidades asentadas en zonas rurales cercanas a centros regionales y/o urbanos con alta accesibilidad a estos; con sistemas de acueducto u otros sistemas de abastecimiento comunitario, con alta capacidad para operar, mantener y administrar un sistema de potabilización; con altas fortalezas para mantener relaciones organizacionales y de gestión. Las alternativas de potabilización posibles en las comunidades de este nivel pueden ser domiciliarias o centralizadas.
- *Comunidades de nivel de sostenibilidad tecnológica V (91-100)*: Comunidades asentadas en zonas rurales, muy cercanas a centros urbanos y/o regionales, que tienen sistemas de acueducto comunitarios; con muy alta capacidad para operar, mantener y administrar un sistema de potabilización; con muy altas fortalezas para mantener relaciones organizacionales y de gestión. Las alternativas de potabilización posibles son de carácter centralizado.

El puntaje total obtenido luego de aplicar esta metodología en la vereda San José de la Ahumada fue de **68**. El valor obtenido corresponde al ponderado entre todos los criterios de sostenibilidad, lo cual les da una clasificación dentro de las comunidades tipo III ya que efectivamente se cuenta con un sistema de abastecimiento comunitario continuo, con capacidad

media de operación en la que es viable implementar soluciones centralizadas para el sistema de potabilización.

**Tabla 4**

*Criterios evaluados en la selección de la tecnología de potabilización.*

| AMBIENTAL   | CRITERIO   | CONDICIONES AMBIENTALES DEL ÁREA DE CAPTACIÓN  | PESO  | 21         |       |
|---|--|--|-------|------------|-------|
|   | DESCRIPCIÓN  | Indaga los riesgos ambientales existentes o probables en la fuente de abastecimiento que nutre el acueducto comunitario y permite hacer énfasis en los aspectos que vulneran las bocatomas y analizar de manera cuantitativa los riesgos o la probabilidad de estos. |       |            |       |
|   | PREGUNTA   |  | VALOR | RESPUESTA  | VALOR |
|   | 1. ¿Existen asentamientos humanos aguas arriba o en el área de captación?              |  | 19    | si         | 0     |
|   |  |  |       | no         | 19    |
|   | 2. ¿Existen disposición de basuras aguas arriba o en el área de captación?             |  | 13    | si         | 0     |
|   |  |  |       | no         | 13    |
|   | 3. ¿Existen cultivos aguas arriba o en el área de captación que utilizan agroquímicos? |  | 17    | si         | 0     |
|   |  |  |       | no         | 17    |
|   | 4. ¿Existe ganadería aguas arriba o en el área de captación?                           |  | 14    | si         | 0     |
|   |  | no   |       | 14         |       |
| 5. ¿Ha habido o existen derrumbes aguas arriba o en el área de captación?           |  | 15   | si    | 0          |       |
|   |  |  | no    | 15         |       |
| 6. ¿Ha habido o existen crecientes aguas arriba o en el área de captación?          |  | 11   | si    | 0          |       |
|   |  |  | no    | 11         |       |
| 7. ¿Existe extracción de recursos naturales aguas arriba o en el área de captación? |  | 11   | si    | 0          |       |
|   |  |  | no    | 11         |       |
| <b>SUMA</b>   |  | <b>100</b>   |       | <b>100</b> |       |

| SOCIAL      | CRITERIO   | PRESENCIA INSTITUCIONAL   | PESO    | 7          |       |
|-------------|--|---|---------|------------|-------|
|             | DESCRIPCIÓN  | Indaga en la presencia de diferentes instituciones de carácter público y privado: administración pública u ONG, que hubieran realizado o estuvieran realizando una intervención en las comunidades para mejorar su calidad de vida. |         |            |       |
|             | PREGUNTA   |   | VALORES | RESPUESTA  | VALOR |
|             | 1. ¿La comunidad ha recibido servicios de maquinaria, equipos y herramientas por parte de la administración municipal, instituciones privadas y/u ONG? |   | 23      | si         | 23    |
|             |  |   |         | no         | 0     |
|             | 2. ¿La comunidad ha recibido capacitaciones y asesorías realizadas por la administración municipal y/u otras instituciones?                            |   | 33      | si         | 33    |
|             |  |   |         | no         | 0     |
|             | 3. ¿Han recibido recursos económicos por parte de la administración municipal y/u otras instituciones?   |   | 29      | si         | 29    |
|             |  |   |         | no         | 0     |
|             | 4. ¿La vereda o el corregimiento está incluido en el actual plan de desarrollo?  |   | 15      | si         | 15    |
|             |  | no  |         | 0          |       |
| <b>SUMA</b> |  | <b>100</b>  |         | <b>100</b> |       |

| SOCIAL   | CRITERIO   | CAPACIDAD DE GESTIÓN   | PESO            | 14        |       |
|--|--|--|-----------------|-----------|-------|
|  | DESCRIPCIÓN  | Anudado a la presencia de organizaciones, recoge los atributos de gestión importantes para la consecución de recursos con los miembros de la comunidad y con la administración pública para actividades y necesidades específicas de la comunidad. |                 |           |       |
|  | PREGUNTA   |  | VALORES         | RESPUESTA | VALOR |
|  | 1. ¿Cómo percibe usted la participación general de la comunidad? |  | 15              | alta      | 8     |
|  |  |  |                 | media     | 6     |
|  |  |  |                 | baja      | 1     |
|  | 2. ¿Cuántas asambleas se realizan al año?                        |  | 10              | 0         | 0     |
|  |  |  |                 | 1         | 2     |
|  |  |  |                 | 2-3       | 3     |
|  |  |  |                 | >3        | 5     |
| 3. La asistencia de los asociados o comunales a las asambleas es:                                      |  | 15   | alta            | 9         |       |
|  |  |  | media           | 5         |       |
|  |  |  | baja            | 1         |       |
| 4. Las decisiones de la organización son tomadas por:  |  | 13   | junta           | 5         |       |
|  |  |  | comunidad       | 8         |       |
| 5. ¿La comunidad ha presentado proyectos?  |  | 11   | si              | 11        |       |
|  |  |  | no              | 0         |       |
| 6. Los proyectos han sido:   |  | 8  | aprobados       | 3         |       |
|  |  |  | ejecutados      | 4         |       |
|  |  |  | desaprobados    | 1         |       |
| 7. Los conflictos en las organizaciones se resuelve de manera:   |  | 12   | interna         | 8         |       |
|  |  |  | ayuda externa   | 4         |       |
|  |  |  | no se resuelven | 0         |       |
| 8. ¿Hacen recolectas de dinero para acciones que beneficien a la comunidad en general? Describa cuales |  | 8  | si              | 8         |       |
|  |  |  | no              | 0         |       |
| 9. ¿Realizan convites al interior de la comunidad? Describa en qué ocasiones                           |  | 8  | si              | 8         |       |
|  |  |  | no              | 0         |       |
| SUMA   |  | 100  |                 | 100       |       |

| SOCIAL | CRITERIO  | PRESENCIA DE ORGANIZACIONES  | PESO    | 7          |       |
|--------|---|--|---------|------------|-------|
|        | DESCRIPCIÓN   | Permite analizar la existencia activa y dinámica de las organizaciones comunitarias en cada una de las zonas de estudio, su organización, funcionamiento de roles, temporalidad y estructura administrativa. |         |            |       |
|        | PREGUNTA  |  | VALORES | RESPUESTA  | VALOR |
|        | 1. ¿Cuántas organizaciones activas existen en la comunidad? |  | 63      | 0          | 0     |
|        |   |  |         | 1-2        | 25    |
|        |   |  |         | >3         | 38    |
|        | 2. ¿Qué tipo de organizaciones son?                         |  | 37      | formales   | 20    |
|        |   |  |         | informales | 17    |
|        | SUMA  |  | 100     |            | 100   |

| TECNOLÓGICO   | CRITERIO   | RECURSOS LOCALES   | PESO    | 11        |       |
|---|--|--|---------|-----------|-------|
|   | DESCRIPCIÓN  | Permite fijar la atención en aspectos relacionados con los oficios predominantes en la comunidad, en materia de construcción, electricidad, mecánicos y otros; posibilitando focalizar los oficios existentes y predominantes en las zonas de estudio. |         |           |       |
|   | PREGUNTA   |  | VALORES | RESPUESTA | VALOR |
|   | 1. Número de mecánicos capacitados o empíricos     |  | 18      | 0         | 0     |
|   |  |  |         | 1-2       | 7     |
|   |  |  |         | >2        | 11    |
|   | 2. Número de electricistas capacitados o empíricos |  | 17      | 0         | 0     |
|   |  |  |         | 1         | 3     |
|   |  |  |         | 2-3       | 6     |
|   |  |  |         | >3        | 8     |
| 3. Número de maestros de obra capacitados o empíricos   |  | 19   | 0       | 0         |       |
|   |  |  | 1-4     | 5         |       |
|   |  |  | 5-7     | 6         |       |
|   |  |  | >7      | 8         |       |
| 4. Número de oficiales de construcción capacitados o empíricos                                  |  | 19   | 0       | 0         |       |
|   |  |  | 1-4     | 5         |       |
|   |  |  | 5-9     | 6         |       |
|   |  |  | >9      | 8         |       |
| 5. ¿Existe en la vereda o corregimiento la posibilidad de conseguir materiales de construcción? |  | 27   | si      | 27        |       |
|   |  |  | no      | 0         |       |
| SUMA  |  | 100  |         | 100       |       |

| TECNOLÓGICO   | CRITERIO  | INFRAESTRUCTURA PRODUCTIVA Y DE SERVICIOS   | PESO    | 10          |       |
|---|---|---|---------|-------------|-------|
|   | DESCRIPCIÓN   | Proporciona el reconocimiento de la infraestructura productiva y de servicios existente en cada una de las zonas de estudio, identificando la infraestructura básica, económica, de accesibilidad a la zona, educativa y de salud, reconociendo a la vez la complejidad de cada zona de estudio de acuerdo a la calidad y cantidad de la infraestructura existente. |         |             |       |
|   | PREGUNTA  |   | VALORES | RESPUESTA   | VALOR |
|   | 1. La infraestructura predominante en la vereda o corregimiento es: |   | 9       | comunitaria | 7     |
|   |   |   |         | Individual  | 2     |
|   | 2. ¿Existen tiendas comunitarias en la vereda o corregimiento?      |   | 5       | si          | 5     |
|   |   |   |         | no          | 0     |
|   | 3. ¿Existen trapiches en la vereda o corregimiento?                 |   | 5       | si          | 5     |
|   |   |   |         | no          | 0     |
|   | 4. ¿Existen beneficiaderos de café en la vereda o corregimiento?    |   | 6       | si          | 6     |
|   |   | no  |         | 0           |       |
| 5. ¿Existen galpones en la vereda o corregimiento?  |   | 4   | si      | 4           |       |
|   |   |   | no      | 0           |       |
| 6. ¿Existen trucheras en la vereda o corregimiento? |   | 5   | si      | 5           |       |
|   |   |   | no      | 0           |       |

|   |  |                |    |            |
|---|--|----------------|----|------------|
|   | 7. ¿Existen tanques de enfriamiento de productos agropecuarios en la vereda o corregimiento? | 4              | si | 4          |
|   |  |                | no | 0          |
|   | 8. ¿Existen hosterías o centros recreativos en la vereda o corregimiento?                    | 5              | si | 5          |
|   |  |                | no | 0          |
|   | 9. ¿Existen restaurantes en la vereda o corregimiento?                                       | 4              | si | 4          |
|   |  |                | no | 0          |
|   | 10. ¿Existen salas de sacrificio en la vereda o corregimiento?                               | 3              | si | 3          |
|   |  |                | no | 0          |
|   | 11. ¿Existen frigoríficos en la vereda o corregimiento?                                      | 3              | si | 3          |
|   |  |                | no | 0          |
|   | 12. ¿Existen centros de acopio en la vereda o corregimiento?                                 | 4              | si | 4          |
|   |  |                | no | 0          |
|   | 13. ¿Existen plantas de beneficio minero en la vereda o corregimiento?                       | 3              | si | 3          |
|   |  |                | no | 0          |
|   | 14. ¿Existen centros de salud u hospitales en la vereda o corregimiento?                     | 8              | si | 8          |
|   |  |                | no | 0          |
|   | 15. ¿Existen centros educativos en la vereda o corregimiento?                                | 8              | si | 8          |
|   |  |                | no | 0          |
| 16. ¿Cuál es el estado de la rutas o vías?                            | 8  | bueno          | 5  |            |
|   |  | regular        | 3  |            |
|   |  | malo           | 0  |            |
| 17. Distancia al centro regional (sólo si el transporte es terrestre) | 8  | <20 km         | 5  |            |
|   |  | 20-100 km      | 2  |            |
|   |  | >100 km        | 1  |            |
| 18. Frecuencia del transporte al centro regional                      | 8  | ocasionalmente | 1  |            |
|   |  | 1 vez al día   | 3  |            |
|   |  | >1 vez al día  | 4  |            |
| <b>SUMA</b>   |  | <b>100</b>     |    | <b>100</b> |

|  | CRITERIO  | OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO | PESO   | 12               |              |
|--|---|---|--|------------------|--------------|
|  |   | <b>DESCRIPCIÓN</b>                                      | Permite reconocer las aptitudes de los fontaneros en relación con el manejo de los acueductos comunitarios y devela fortalezas y dificultades en términos de capacitación para las organizaciones y sujetos delegados o designados por la comunidad para operar y mantener el sistema de abastecimiento. |                  |              |
| <b>TECNOLÓGICO</b>   | <b>PREGUNTA</b>   |   | <b>VALORES</b>   | <b>RESPUESTA</b> | <b>VALOR</b> |
|  | 1. ¿Cuánto tiempo lleva desempeñando la labor de fontanería?  | 10  | <1 año   | 1                |              |
|  |   |   | 1-2 años   | 2                |              |
|  |   |   | 3-4 años   | 3                |              |
|  |   |   | >4 años  | 4                |              |
|  | 2. ¿Ha recibido capacitaciones para el desempeño de su labor? | 15  | si   | 15               |              |
|  |   |   | no   | 0                |              |
| 3. ¿Cuánto tiempo le dedica a la labor de fontanería al mes en épocas secas?     | 8   | 1 vez   | 1  |                  |              |
|  |   | 2 veces   | 2  |                  |              |
|  |   | 3 veces o más   | 5  |                  |              |
| 4. ¿Cuánto tiempo le dedica a la labor de fontanería al mes en épocas de lluvia? | 9   | 1 vez   | 1  |                  |              |
|  |   | 2 veces   | 2  |                  |              |
|  |   | 3 veces o más   | 6  |                  |              |

|   |  |            |                                    |            |
|---|--|------------|------------------------------------|------------|
|   | 5. ¿Existen técnicas de desinfección del agua?   | 14         | si                                 | 14         |
|   |  |            | no                                 | 0          |
|   | 6. ¿La organización del acueducto tiene las herramientas requeridas para desempeñar la labor?              | 12         | si                                 | 12         |
|   |  |            | no                                 | 0          |
|   | 7. Si se presentan problemas de válvulas o con los accesorios son resueltos por:                           | 6          | fontanero                          | 4          |
|   |  |            | requiere de la junta del acueducto | 2          |
|   | 8. ¿Cuántas veces al año la Autoridad Ambiental ha realizado soporte técnico sobre el manejo de la fuente? | 8          | 0                                  | 0          |
|   |  |            | 1                                  | 1          |
|   |  |            | 2                                  | 3          |
|   |  |            | 3 o más                            | 4          |
| 9. ¿Cuántas veces al año la Dirección Seccional de Salud realiza soporte técnico respecto a la calidad del agua y la prestación del servicio? | 8  | 0          | 0                                  |            |
|   |  | 1          | 1                                  |            |
|   |  | 2          | 3                                  |            |
|   |  | 3 o más    | 4                                  |            |
| 10. ¿Existe un sistema tarifario para el manejo y mantenimiento del acueducto?  | 10   | si         | 10                                 |            |
|   |  | no         | 0                                  |            |
|   | <b>SUMA</b>  | <b>100</b> |                                    | <b>100</b> |

| ECONÓMICO   | CRITERIO    | ACTIVIDADES ECONÓMICAS  | PESO      | 9          |
|---|-------------|---|-----------|------------|
|   | DESCRIPCIÓN | Al igual que la cuantificación de la infraestructura productiva y de servicios, permite reconocer la complejidad de las zonas de estudio de acuerdo a la orientación de sus actividades económicas y a la diversidad de las mismas. |           |            |
|   | PREGUNTA    | VALORES   | RESPUESTA | VALOR      |
| 1. ¿Cuántas actividades de subsistencia hay en la vereda o corregimiento? | 51          | 0   | 0         |            |
|   |             | 1   | 6         |            |
|   |             | 2-3   | 17        |            |
|   |             | >3  | 28        |            |
| 2. ¿Cuántas actividades comerciales hay en la vereda o corregimiento?     | 49          | 0   | 0         |            |
|   |             | 1   | 10        |            |
|   |             | 2-3   | 15        |            |
|   |             | >3  | 24        |            |
|   | <b>SUMA</b> | <b>100</b>  |           | <b>100</b> |

| ECONÓMICO  | CRITERIO    | DISPONIBILIDAD DE PAGO  | PESO      | 9     |
|--|-------------|---|-----------|-------|
|  | DESCRIPCIÓN | Aunque inicialmente se consideró la capacidad de pago de la comunidad como criterio, al indagarse en encuestas iniciales se concluyó que el criterio más adecuado a indagar era la disponibilidad de pago en relación a la cuota aportada actualmente por el abastecimiento de agua cruda y su disposición para pagar por agua potable. |           |       |
|  | PREGUNTA    | VALORES   | RESPUESTA | VALOR |
| 1. ¿Considera que para acceder al servicio de acueducto debe pagarse una tarifa? | 11          | si  | 11        |       |
|  |             | no  | 0         |       |
| 2. ¿Está dispuesto a pagarla?  | 13          | si  | 13        |       |
|  |             | no  | 0         |       |
| 3. ¿Actualmente paga una tarifa para acceder al                                  | 10          | si  | 10        |       |

|  |            |             |            |
|--|------------|-------------|------------|
| suministro de agua <i>cruda</i> ?  |            | no          | 0          |
| 4. ¿Considera que el aporte realizado es justo por este servicio?                  | 8          | si          | 6          |
|  |            | no          | 2          |
| 5. ¿Realizaría un aporte mayor por acceder al suministro de agua <i>potable</i> ?  | 15         | si          | 15         |
|  |            | no          | 0          |
| 6. ¿Considera importante usar agua potable?  | 17         | si          | 17         |
|  |            | no          | 0          |
| 7. ¿Existen fuentes alternas de abastecimiento de agua (agua lluvia, nacimientos)? | 11         | si          | 2          |
|  |            | no          | 9          |
| 8. ¿Cuál es el porcentaje de morosidad del acueducto?                              | 9          | <10%        | 6          |
|  |            | 11-30%      | 2          |
|  |            | 31-50%      | 1          |
|  |            | >50%        | 0          |
| 9. ¿Cuál es el periodo de morosidad?   | 6          | <6 meses    | 3          |
|  |            | 6-12 meses  | 2          |
|  |            | 12-24 meses | 1          |
|  |            | >24 meses   | 0          |
| <b>SUMA</b>  | <b>100</b> |             | <b>100</b> |

Fuente: Tomada de Naranjo (2010).

Así mismo, se analizaron los registros históricos de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la fuente de abastecimiento Las Ánimas realizados por la Seccional de Salud de Antioquia en previas inspecciones sanitarias (tabla 5).

**Tabla 5**

*Registro histórico de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la fuente de abastecimiento.*

| 7-jun-17             |                      | Clima: Época lluviosa |              |
|----------------------|----------------------|-----------------------|--------------|
| Parámetro            | Unidades             | Resultado             | Diagnóstico  |
| pH                   | Unidades de pH       | 7,0                   | Aceptable    |
| Cloro Residual Libre | ppm                  | 0,0                   | No Aceptable |
| Escherichia Coli     | Presencia - Ausencia | Ausencia              | Aceptable    |
| Coliformes Totales   | Presencia - Ausencia | Presencia             | No Aceptable |
| Índice IRCA          | %                    | 53,00                 | Riesgo Alto  |
| 29-may-19            |                      | Clima: Época lluviosa |              |
| Parámetro            | Unidades             | Resultado             | Diagnóstico  |
| pH                   | Unidades de pH       | 7,0                   | Aceptable    |
| Cloro Residual Libre | ppm                  | 0,0                   | No Aceptable |
| Escherichia Coli     | Presencia - Ausencia | Ausencia              | Aceptable    |
| Coliformes Totales   | Presencia - Ausencia | Presencia             | No Aceptable |
| Índice IRCA          | %                    | 53,00                 | Riesgo Alto  |
| 13-nov-19            |                      | Clima: Época seca     |              |
| Parámetro            | Unidades             | Resultado             | Diagnóstico  |
| pH                   | Unidades de pH       | 7,0                   | Aceptable    |

|                      |                        |                              |                    |
|----------------------|------------------------|------------------------------|--------------------|
| Cloro Residual Libre | ppm                    | 0,0                          | No Aceptable       |
| Escherichia Coli     | Presencia - Ausencia   | Ausencia                     | Aceptable          |
| Coliformes Totales   | Presencia - Ausencia   | Ausencia                     | Aceptable          |
| Índice IRCA          | %                      | 26,50                        | Riesgo Medio       |
| <b>19-abr-21</b>     |                        | <b>Clima: Época seca</b>     |                    |
| <b>Parámetro</b>     | <b>Unidades</b>        | <b>Resultado</b>             | <b>Diagnóstico</b> |
| pH                   | Unidades de pH         | 7,5                          | Aceptable          |
| Cloro Residual Libre | ppm                    | 0.0                          | No Aceptable       |
| Escherichia Coli     | Presencia - Ausencia   | Ausencia                     | Aceptable          |
| Temperatura          | Grados Celsius         | 13                           | Aceptable          |
| Índice IRCA          | %                      | 36,14                        | Riesgo Alto        |
| <b>10-nov-21</b>     |                        | <b>Clima: Época lluviosa</b> |                    |
| <b>Parámetro</b>     | <b>Unidades</b>        | <b>Resultado</b>             | <b>Diagnóstico</b> |
| pH                   | Unidades de pH         | 6,8                          | Aceptable          |
| Cloro Residual Libre | mg Cl <sub>2</sub> /L  | 0,0                          | No Aceptable       |
| Escherichia Coli     | UFC/100 ml - NMP/100ml | 0                            | Aceptable          |
| Temperatura          | Grados Celsius         | 14                           | Aceptable          |
| Color Aparente       | UPC                    | 10                           | Aceptable          |
| Índice IRCA          | %                      | 31,57                        | Riesgo Medio       |
| <b>27-abr-22</b>     |                        | <b>Clima: Poco lluvioso</b>  |                    |
| <b>Parámetro</b>     | <b>Unidades</b>        | <b>Resultado</b>             | <b>Diagnóstico</b> |
| pH                   | Unidades de pH         | 7.1                          | Aceptable          |
| Cloro Residual Libre | mg Cl <sub>2</sub> /L  | 0.0                          | No Aceptable       |
| Escherichia Coli     | UFC/100 ml - NMP/100ml | 0                            | Aceptable          |
| Temperatura          | Grados Celsius         | 14                           | Aceptable          |
| Color Aparente       | UPC                    | 15                           | Aceptable          |
| Índice IRCA          | %                      | 31,57                        | Riesgo Medio       |
| <b>9-nov-22</b>      |                        | <b>Clima: Época lluviosa</b> |                    |
| <b>Parámetro</b>     | <b>Unidades</b>        | <b>Resultado</b>             | <b>Diagnóstico</b> |
| pH                   | Unidades de pH         | 7,0                          | Aceptable          |
| Cloro Residual Libre | mg Cl <sub>2</sub> /L  | 0,0                          | No Aceptable       |
| Escherichia Coli     | UFC/100 ml - NMP/100ml | 0                            | Aceptable          |
| Temperatura          | Grados Celsius         | 16                           | Aceptable          |
| Color Aparente       | UPC                    | 15                           | Aceptable          |
| Índice IRCA          | %                      | 31,57                        | Riesgo Medio       |

*Fuente:* Elaborada a partir de actas de muestreo de la Autoridad Sanitaria.

Por otro lado, los parámetros medidos a las muestras captadas en la bocatoma e intradomiciliaria (tabla 6) sirvieron como complemento en el análisis de la calidad de la fuente de abastecimiento.

Con base en los resultados obtenidos de la metodología presentada en la tabla 4, el registro de parámetros fisicoquímicos tomados en las inspecciones sanitarias realizadas por la Autoridad Ambiental y en la visita realizada a las unidades de captación para la elaboración de este diseño, se seleccionó la tecnología de Filtración en Múltiples Etapas (FiME), complementada con un sistema de desinfección con hipoclorito de sodio para el diseño de la planta de potabilización del acueducto veredal San José de la Ahumada (ACUESANA), de acuerdo a las alternativas disponibles para estas comunidades tipo III (anexo 1).

Según aspectos técnicos, alternativas como la filtración rápida con manto de lodos no son muy flexibles respecto a la calidad del agua a tratar, lo que podría representar problemas de operación. Por otra parte, alternativas como la filtración rápida convencional o filtración directa, demandan menor cantidad de tierra que un sistema FiME debido a sus altas tasas de filtración, sin embargo requieren una mayor capacitación del personal dada su complejidad técnica; además, debido al uso de coagulantes, habrá una mayor producción de lodos en contraste con un sistema FIME que genera menor cantidad de lodos y requiere menor capacitación de personal.

**Tabla 6**

*Parámetros de las muestras tomadas en campo durante la visita del 28 de enero de 2023.*

| <b>Bocatoma</b>          |                        |               |                  |                    |
|--------------------------|------------------------|---------------|------------------|--------------------|
| <b>Parámetro</b>         | <b>Unidades</b>        | <b>Método</b> | <b>Resultado</b> | <b>Diagnostico</b> |
| pH                       | Unidades de pH         | Potenciómetro | 6,5              | Aceptable          |
| Turbiedad                | Unidades de turbiedad  | Óptico        | 1,62             | Aceptable          |
| Conductividad            | μS/cm                  | Potenciómetro | 11,3             |                    |
| Dureza                   | meq/L                  | Titulación    | 0                |                    |
| Alcalinidad              | mgCaCo <sub>3</sub> /L | Titulación    | 2                |                    |
| <b>Intradomiciliaria</b> |                        |               |                  |                    |
| <b>Parámetro</b>         | <b>Unidades</b>        | <b>Método</b> | <b>Resultado</b> | <b>Diagnostico</b> |
| pH                       | Unidades de pH         | Potenciómetro | 6,5              | Aceptable          |
| Turbiedad                | Unidades de turbiedad  | Óptico        | 1,08             | Aceptable          |
| Conductividad            | μS/cm                  | Potenciómetro | 11,83            | -                  |
| Dureza                   | meq/L                  | Titulación    | 0                | -                  |
| Alcalinidad              | mgCaCo <sub>3</sub> /L | Titulación    | 2                | -                  |

*Fuente:* Resultados de ensayos de laboratorio realizados en el Laboratorio de Procesos Físicoquímicos de la Escuela Ambiental (Universidad de Antioquia).

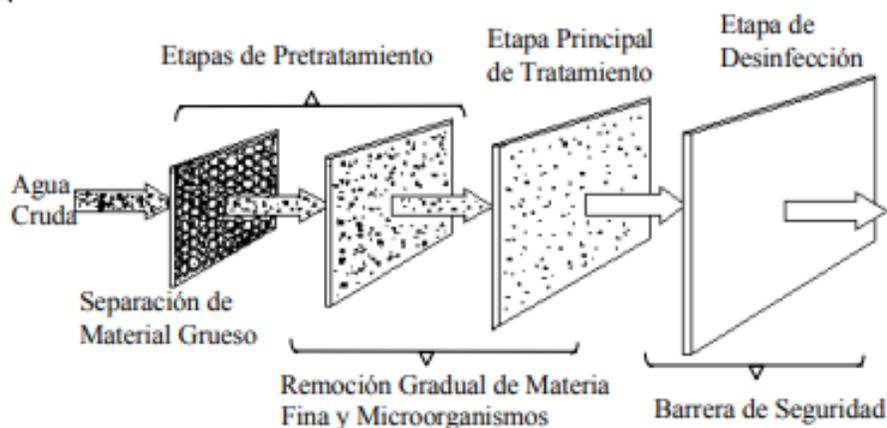
La Filtración en Múltiples Etapas (FiME) garantiza un alto porcentaje de tratabilidad para una amplia variedad de fuentes de abastecimiento, aplicable al nivel tecnológico de las pequeñas comunidades además podría representar a su vez la opción económica más favorable a largo plazo pues si bien los costos de construcción de los sistemas FiME son mayores que los de los sistemas de filtración rápida convencional, los inferiores costos de operación pueden garantizar que los costos totales sean inferiores (Naranjo, 2009).

## 5. DISEÑO DEL SISTEMA DE POTABILIZACIÓN

La Filtración en Múltiples Etapas (FiME) es la combinación unidades de pretratamiento con prefiltración dinámica (PFD) en grava (Filtración Gruesa Dinámica -FGDi- y Filtración Gruesa -FG-) y unidades de tratamiento con Filtración Lenta en Arena (FLA), con la finalidad de obtener un efluente de calidad sin necesidad de la utilización reactivos químicos durante el proceso (CEPIS, 2005). La figura 5 muestra los procesos que integran un sistema FiME.

**Figura 5**

*Procesos que integran la Filtración en Múltiples Etapas (FiME).*



*Fuente:* Tomado de CEPIS (2005).

**Tabla 7**

*Características fisicoquímicas y microbiológicas de la fuente de abastecimiento para determinar los procesos que componen el sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME).*

| Parámetro        | Turbiedad (UNT) | Color verdadero (UPC) | Coliformes totales (NMP/100mL) |
|------------------|-----------------|-----------------------|--------------------------------|
| FLA              | 0-10            | 0-10                  | < 800                          |
| PFD - FLA        | 10-50           | 10-20                 | -                              |
| PFD - PFAC - FLA | 50-150          | 10-50                 | -                              |
| PFD - PFAS - FLA | 50-150          | 10-50                 | -                              |

*Fuente:* Elaborada a partir de Arboleda (2000).

Para el diseño de este caso de estudio se optó por reducir el proceso de pretratamiento implementando solo una unidad de prefiltración dinámica en grava antes del sistema de filtración lenta en arena; esto debido a que los parámetros de calidad en la fuente indican agua con baja presencia de sólidos en suspensiones y con características uniformes tanto en épocas de lluvia como de estiaje, las cuales pueden ser tratadas con un prefiltro dinámico en grava.

**Tabla 8**

*Características de diseño del sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME).*

| <b>PREFILTRACIÓN DINÁMICA EN GRAVA</b>                 |   |   |
|--|---|---|
| <b>Característica</b>                                  | <b>Arboleda (2000)</b>  | <b>Sánchez &amp; Galvis (2003)</b>  |
| Tamaño efectivo (mm)                                   | 3,35-4,75 capa superior   | 3,0–5,0 capa superior   |
|  | 4,75-16,0 capa intermedia   | 5,0–15,0 capa intermedia  |
|  | 16,0-25,0 capa inferior mejorar calidad del efluente<br>1,40-2,80 capa superior | 15,0–25,0 capa inferior mejorar calidad del efluente<br>1,5–3,0 capa superior |
|  | 2,80-4,75 capa intermedia   | 3,0–5,0 capa intermedia   |
|  | 4,75-12,5 capa inferior amortiguar picos de turbiedad                           | 5,0–15,0 capa inferior amortiguar picos de turbiedad                          |
| Espesor del lecho (m)                                  | 0,20 cada capa mejorar calidad del efluente                                     | 0,20 cada capa mejorar calidad del efluente                                   |
|  | 0,10 capa superior  | 0,20-0,30 capa superior   |
|  | 0,10 capa intermedia  | 0,10 capa intermedia  |
|  | 0,20 capa inferior amortiguar picos de turbiedad                                | 0,10 capa inferior amortiguar picos de turbiedad                              |
| Tasa de filtración (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d) | Mejorar la calidad del efluente   | Mejorar la calidad del efluente   |
|  | 12 – 48   | 12 – 48   |
|  | Amortiguar picos de turbiedad   | Amortiguar picos de turbiedad   |
|  | 48 – 120  | >120  |
| Velocidad superficial (m/s)                            | mejorar calidad del efluente  | Mejorar calidad del efluente<br>Nula o entre 0,10-0,30                        |
|  | 0,10-0,15   | amortiguar picos de turbiedad   |
|  | amortiguar picos de turbiedad<br>0,05-0,10                                      | Nula o <0,05  |
| <b>FILTRACIÓN LENTA EN ARENA</b>                       |   |   |
| <b>Característica</b>                                  | <b>Arboleda (2000)</b>  | <b>Sánchez &amp; Galvis (2003)</b>  |
| Tamaño efectivo (mm)                                   | 0,15-0,30   | 0,15-0,45<br>0,15-0,30 comúnmente   |
| Espesor del lecho (m)                                  | 0,90-1,20 inicial   | 0,80-1,20 inicial   |
|  | 0,60-0,70 final   | 0,50-0,70 final   |
| Tasa de filtración (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d) | 2,0-14,0  | 2,4-9,6   |
| Coeficiente de desuniformidad                          | 1,5-2,5   | 3,0-5,0   |
|  | 1,8-2,0 preferiblemente   | 2,0-3,0 aceptable   |

*Fuente:* Tomado de Arboleda (2000) y Sánchez & Galvis (2003).

Es importante tener en cuenta que los sistemas FiME no se ciñen a una única configuración. Algunos autores como Arboleda (2000) consideran que, si las características fisicoquímicas y microbiológicas de la fuente de abastecimiento cumplen con los valores de la tabla 7, el sistema de potabilización podría estar integrado solo por unidades de filtración lenta en arena.

Los criterios de diseño del sistema FiME se tomaron de acuerdo a la bibliografía presentada en la tabla 8. Así mismo, se tendrán como punto de partida los lineamientos establecidos por el Título J del RAS 2000 (MAVDT, 2000) para la formulación y diseño de sistemas de acueducto rurales.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. Proyección de población

La proyección de la población se hizo por medio del método aritmético a un periodo de diseño de 25 años, de acuerdo a lo establecido en Título J del RAS 2000 (MAVDT, 2000) para comunidades rurales. Se empleó este método ya que es aplicable a comunidades pequeñas, como es el caso de las poblaciones rurales en las cuales el crecimiento de población es considerado inestable. El método aritmético establece la siguiente ecuación:

$$P_f = P_{UC} + \frac{P_{UC} - P_{CI}}{T_{UC} - T_{CI}} \times (T_f - T_{UC})$$

Donde:

$P_f$ : Población final (hab).

$P_{UC}$ : Población último censo (hab).

$P_{CI}$ : Población censo inicial (hab).

$T_f$ : Tiempo final (año).

$T_{UC}$ : Tiempo último censo (año).

$T_{CI}$ : Tiempo censo inicial (año).

Se debe tener en cuenta que la tasa de crecimiento se define como:

$$r = \frac{P_{UC} - P_{CI}}{T_{UC} - T_{CI}}$$

La tasa de crecimiento seleccionada se calculó a partir de los censos de la población rural del municipio de Santa Rosa de Osos realizados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y disponibles en su anuario estadístico para cada año (tabla 9), de los cuales la población de la vereda San José de la Ahumada equivale aproximadamente al 1.6%.

Se tomó el periodo entre 1993 y 2005, pues es el más representativo frente a las capacidades de ocupación que puede tener la vereda. La tasa de crecimiento equivalente para la población de la vereda San José de la Ahumada en este periodo fue:

$$r = 2.3\%$$

De esta forma, se determinó una población para el periodo de diseño de **317 habitantes**, lo cual, de acuerdo con el RAS 2000 (MAVDT, 2000), clasifica a la vereda San José de la Ahumada dentro del nivel de complejidad bajo, como se muestra en la tabla 10.

**Tabla 9**

*Registro histórico de los censos de la población rural de Santa Rosa de Osos.*

| <b>Año</b>  | <b>Población rural (hab)</b> | <b>Tasa de crecimiento</b> |
|-------------|------------------------------|----------------------------|
| 1985        | 15464                        |                            |
| 1993        | 14608                        | -107                       |
| <b>2005</b> | <b>16322</b>                 | <b>143</b>                 |
| 2018        | 16267                        | -4                         |

*Nota.* Tomado de datos del anuario estadístico del DANE.

**Tabla 10**

*Niveles de complejidad de acuerdo al RAS 2000.*

| <b>Nivel de complejidad</b> | <b>Población en la zona urbana (habitantes)</b> | <b>Capacidad económica de los usuarios</b> |
|-----------------------------|---|--|
| Bajo                        | < 2500  | Baja                                       |
| Medio                       | 2501 a 12500                                    | Baja                                       |
| Medio Alto                  | 12501 a 60000                                   | Media                                      |
| Alto                        | > 60000   | Alta                                       |

*Fuente:* Tomada de RAS 2000 (MAVDT, 2000).

## 6.2. Dotación y caudales

Teniendo en cuenta el nivel de complejidad, se asigna una dotación de acuerdo a lo establecido por la Resolución 2320 de 2009 (MAVDT, 2009) (tabla 11), la cual se requiere para obtener los caudales de diseño del sistema de tratamiento.

**Tabla 11**

*Dotaciones establecidas por la Resolución 2320 de 2009.*

| <b>Nivel de complejidad del sistema</b> | <b>Dotación neta máxima para poblaciones con clima frío o templado (L/hab.d)</b> | <b>Dotación neta máxima para poblaciones con clima cálido (L/hab.d)</b> |
|---|--|---|
| Bajo                                    | 90   | 100   |
| Medio                                   | 115  | 125   |
| Medio Alto                              | 125  | 135   |
| Alto                                    | 140  | 150   |

*Fuente:* Tomado de MAVDT (2009).

A continuación, la tabla 12 presenta los caudales de diseño calculados de acuerdo a la dotación neta correspondiente.

**Tabla 12***Caudales de diseño obtenidos.*

| <b>Dotación</b>               |             |             |
|-------------------------------|-------------|-------------|
| <b>Año</b>                    | <b>2022</b> | <b>2047</b> |
| Población (hab)               | 260         | 317         |
| Dotación neta (L/hab.d)       | 100         | 100         |
| Pérdidas (%)                  | 20          | 20          |
| Dotación bruta (L/hab.d)      | 125,00      | 125,00      |
| <b>Proyección de caudales</b> |             |             |
| Qmd (L/s)                     | 0,38        | 0,46        |
| k <sub>1</sub>                | 1,3         | 1,3         |
| QMD (L/s)                     | 0,49        | 0,60        |
| k <sub>2</sub>                | 1,5         | 1,5         |
| QMH (L/s)                     | 0,73        | 0,89        |

De acuerdo con lo establecido en el Título J del RAS 2000 (MAVDT, 2000), si el sistema de acueducto no contempla la construcción de tanques de compensación, como es el caso del acueducto veredal San José de la Ahumada (ACUESANA), la planta de potabilización debe ser diseñada para atender el caudal máximo horario (QMH); por tanto, el caudal de diseño seleccionado para el dimensionamiento del sistema de potabilización fue:

$$Q = 1 \text{ L/s}$$

Valor que corresponde a la proyección del QMH al periodo de diseño también establecido en el Título J del RAS 2000 (MAVDT, 2000).

### **6.3. Dimensionamiento del sistema**

La tabla 13 presenta los resultados obtenidos para el dimensionamiento del sistema FiME. Estas especificaciones incluyen el dimensionamiento del sistema partiendo de los criterios de diseño sugeridos en la Tabla 8.

Las pérdidas hidráulicas entre la unidad de prefiltración dinámica y el sistema de filtración lenta en arena se estiman teniendo en cuenta tanto las pérdidas por fricción en la tubería como las pérdidas por accesorios. Así mismo se especifica la granulometría que compone cada tipo de filtro y el espesor correspondiente de cada lecho filtrante. Nótese que en el sistema de prefiltración dinámica, al implementar únicamente lechos de grava, no se requiere de un lecho de soporte; así mismo, cuando se realice el retro lavado de dicha unidad, la expansión de los lechos será despreciable.

**Tabla 13**

*Especificaciones de diseño obtenidas para el sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME).*

| Característica                                       | Prefiltración dinámica en grava  | Filtración lenta en arena  |
|--|--|--|
| Caudal de diseño (L/s)                               | 1  |  |
| Tasa de filtración m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d | 36   | 4  |
| Caudal de lavado (L/s)                               | 10   | -  |
| Número de unidades                                   | 1  | 4  |
| Diámetro del tanque (in)                             | 69   | 102.4 c/u  |
| Diámetro del tanque (m)                              | 1.75   | 2.6 c/u  |
| Área del tanque (m <sup>2</sup> )                    | 2.4  | 5.4  |
| Altura del tanque (m)                                | 2.6  | 2.6  |
| Método de operación                                  | Tasa de filtración constante nivel de agua variable                    | Tasa de filtración constante nivel de agua constante   |
| Método de mantenimiento                              | Retro lavado   | Raspado de lechos  |
| <b>Pérdidas hidráulicas</b>                          |  |  |
| Tipo de tubería                                      | PVC – Presión  |  |
| Diámetro de la tubería (in)                          | 2  |  |
| Área transversal de la tubería (m <sup>2</sup> )     | 0.002  |  |
| Velocidad en la tubería (m/s)                        | 0.5  |  |
| Longitud de tubería requerida (m)                    | 85   |  |
| Pérdidas totales (m)                                 | -  | 0.29   |
| <b>Lecho filtrante</b>                               |  |  |
| Tamaño de los granos (mm)                            | 2.00 - 3.35 superior<br>3.35 - 6.35 intermedia<br>6.35 - 12.5 inferior | 0.30 - 0.40  |
| Tamaño efectivo (mm)                                 | 2,4 capa superior<br>4.8 capa intermedia<br>9.6 capa inferior          | 0.30   |
| Espesor del lecho (m)                                | 0.4 capa superior<br>0.3 capa intermedia<br>0.2 capa inferior          | 1  |
| <b>Lecho de soporte</b>                              |  |  |
| Tamaño de granos (mm)                                | -  | 0.90 - 1,10 capa superior (capa en arena)<br>2.00 - 3.35 intermedia 1<br>3.35 - 6.35 intermedia 2<br>6.35 - 12.5 inferior (capas de grava) |
| Tamaño efectivo (mm)                                 |  | 1,0 capa superior (capa en arena)<br>2.4 capa intermedia 1<br>4.8 capa intermedia 2<br>9.6 capa inferior (capas en grava)                  |
| Espesor del lecho (m)                                |  | 0.40 total<br>0.10 cada capa   |

Es importante tener en cuenta que las tasas de filtración establecidas en la tabla 13 pueden variar de acuerdo a los diámetros nominales ofrecidos por los proveedores de tanques en poliéster reforzado con fibra de vidrio.

La selección del tipo de tubería se realizó atendiendo a las sugerencias del Ingeniero Santiago Vélez Velásquez (Santiago Vélez S.A.S.), experto en diseño de sistemas de tratamiento de aguas, quién recomendó para el sistema de tratamiento tuberías y accesorios de 2 in de diámetro. La entrada del afluente y salida del efluente se hará mediante tubería perforada con orificios de ½ in.

La pérdida de carga hidráulica presentada en la tabla 13 se calculó al sumar las pérdidas locales y las pérdidas por fricción en la tubería. Los coeficientes de pérdida menores empleados en dicha ecuación, corresponden a los resultados experimentales obtenidos por Acero & Rodríguez (2008).

En la tabla 14 se muestra la cantidad total de tubería requerida, así como los accesorios para la construcción de la planta de potabilización; por otra parte, la tabla 15 presenta la cantidad en bultos de material filtrante que lleva cada unidad de filtración.

**Tabla 14**

*Tubería y accesorios requeridos para la construcción del sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME).*

| Accesorio                       | Cantidad     |
|---------------------------------|--------------|
| Codo 90° 2 in presión           | 17           |
| Tee PVC 2 in presión            | 10           |
| Válvula compuerta estándar 2 in | 6            |
| Válvula de bola PVC 2 in lisa   | 7            |
| Tipo de tubería                 | Cantidad (m) |
| Tubería PVC presión 2 in        | 85           |

**Tabla 15**

*Material filtrante requerido para el sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME).*

| Prefiltro Dinámico (PFD)    |                     |                   |                |
|-----------------------------|---------------------|-------------------|----------------|
| Tipo de material            | V (m <sup>3</sup> ) | Cantidad (bultos) | Cantidad total |
| Grava fina                  | 1,4                 | 45                | 45             |
| Grava gruesa                | 0,5                 | 15                | 15             |
| TOTAL                       | 1,8                 | 61                | 61             |
| Filtro Lento en Arena (FLA) |                     |                   |                |
| Tipo de material            | V (m <sup>3</sup> ) | Cantidad (bultos) | Cantidad total |
| Grava                       | 2,1                 | 71                | 283            |
| Arena                       | 5,3                 | 177               | 708            |
| TOTAL                       | 7,4                 | 248               | 991            |

---

## 7. PLAN DE ACCIÓN PARA FORTALECIMIENTO DE PRÁCTICAS SANITARIAS

A continuación, se plantean acciones necesarias para ejecutar el Plan de Acción para dar cumplimiento con los requerimientos realizados en las visitas técnicas por la Autoridad Sanitaria (Dirección Seccional de Salud).

- Adquirir equipos de dotación básica de laboratorio para realizar control y seguimiento de los siguientes parámetros: turbiedad, pH, color aparente y cloro residual.
- Socializar detalladamente el manual de operación y mantenimiento (anexo 2) de la planta con los operarios y personal encargado.
- Mantener en óptimas condiciones de aseo y libre de obstáculos tanto la planta de tratamiento como los alrededores de las instalaciones.
- Implementar instrumentos de medición que permitan conocer el caudal de agua tratada que sale de la planta de tratamiento.
- Señalizar las diferentes áreas de procesos que tiene la planta de tratamiento como espacios libres de humo.
- Suministrar elementos de protección personal y de control de emergencias a los operarios de la planta.
- Implementar medidas que eviten contaminaciones del agua tratada en el sistema de distribución.
- Conseguir equipo de fontanería propio del acueducto, para control de operación en la red de abastecimiento.
- Realizar monitoreos periódicos en diferentes puntos de la red de distribución para validar el cumplimiento de los parámetros de calidad de agua.
- Programar limpiezas y desinfecciones periódicas al tanque de almacenamiento y otras estructuras que conforman el sistema de captación y distribución de agua.
- Llevar el registro de la operación, mantenimiento correctivo y preventivo del sistema en una bitácora de operación.
- Por medio de los laboratorios autorizados por el Ministerio de Salud y Protección Social, realizar los ensayos fisicoquímicos y microbiológicos para control de la red de distribución y dispositivos de abastecimiento de agua intradomiciliarios.
- Acoger los protocolos escritos para la operación y mantenimiento de los distintos procesos de la planta de potabilización.

- Llevar registro detallado de los daños que se presenten en el sistema, según material de la tubería y accesorios con el fin de establecer correctivos.
- Registrar detalladamente el programa de limpieza y desinfección antes de poner en operación el sistema y cada vez que se realicen reparaciones de tanques de almacenamiento, estructuras de captación y potabilización. (Realizar actas con procedimientos de evaluación y control).

## 8. ANÁLISIS

Cuando se hizo la proyección de la población, se encontró que, de acuerdo a los últimos reportes del censo, las tasas de crecimiento presentaban una tendencia decreciente; sin embargo se optó por elegir la tasa de crecimiento más alta entre los históricos del DANE ya que en los últimos años se han ejecutado proyectos que impactan positivamente la calidad de vida de la comunidad de San José de la Ahumada como la escuela veredal, la cual debería poder ofrecer agua potable dentro de sus instalaciones. Análogamente, esta elección permite obtener un diseño acorde a las condiciones de operación actuales de las estructuras de captación y desarenado. De esta forma se obtuvo un caudal de diseño para la planta igual al que actualmente se capta en la bocatoma cuando la rejilla se encuentra limpia.

Inicialmente se plantearon dos alternativas para el diseño de la planta; una contemplaba realizar planta en concreto y la otra utilizar tanques de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) para las unidades de filtración. Se eligieron los tanques en PRFV ya que implican un menor costo de implementación. El sistema de filtración lenta se separó en cuatro (4) unidades ya que de ser menos las dimensiones que se requerirían para los tanques podrían representar un problema a la hora de trasladarlos hasta el punto de instalación.

Las válvulas que se propusieron en el sistema de retro lavado del prefiltro dinámico son de PVC; sin embargo, con la finalidad de tener componentes más resistentes y duraderos en la planta se sugiere que, de ser posible, estas sean remplazadas con válvulas de compuerta estándar de 2 in.

## 9. CONCLUSIONES

- Es importante que en la implementación de soluciones a las necesidades de saneamiento básico se tenga presente el nivel de sostenibilidad que la comunidad pueda tener para dicha solución e implementar una metodología que permita elegir dentro de las distintas soluciones posibles la más adecuada.
- La Filtración en Múltiples Etapas (FiME) presenta grandes ventajas, principalmente en poblaciones rurales dispersas en las que el acceso a materias primas como los coagulantes, necesarios para la operación de otras tecnologías de tratamiento como la filtración directa, es más limitada.
- Implementar un proyecto como éste implica grandes cambios para los pequeños prestadores de servicios como es el caso del acueducto veredal San José de la Ahumada (ACUESANA) quienes deben emprender un proceso de fortalecimiento en áreas técnicas, comerciales y administrativas, para que la operación del acueducto sea rentable. Por tal motivo, los plazos para lograr estas transiciones deben ser mayores y deberían obtener un mayor acompañamiento por parte del Estado.
- Si bien los costos de implementación de una tecnología de filtración directa pueden ser menores, el uso de coagulantes hace que a largo plazo esta alternativa no sea tan favorable en comunidades rurales como San José de la Ahumada.
- El sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME) puede ser modificado de acuerdo a las condiciones del agua de captación, en casos donde se cuenta con agua cruda con características fisicoquímicas favorables captada en zonas sin un impacto antrópico significativo.
- Los programas gubernamentales como el Plan Departamental de Aguas deben brindar acompañamiento en la aplicación de este tipo de soluciones que contribuyen con el alcance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos para el año 2030.

## 10. REFERENCIAS

**Acero, M.F. & Rodríguez, D.** (2008). Determinación Experimental del Coeficiente de Pérdidas Menores  $k_m$  en Accesorios para Agua Potable de PVC. Sociedad Colombia de Ingenieros. Memorias XVIII Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. Mayo 22-24, Bogotá, Colombia.

**Arboleda Valencia, J.** Teoría y Práctica de la Purificación del Agua. McGraw-Hill Interamericana. Bogotá, Colombia. 2000.

**Ayers, R.S. & Westcot, D.W.** Water Quality for Agriculture. FAO irrigation and drainage paper. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). Roma, Italia. 1985. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/t0234e/T0234E00.htm>

**Bernal P., A.Y.** Soluciones Alternativas para el Acceso a Agua y Saneamiento en Colombia. [Documento de Trabajo], Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia. 2021.

**Brikké, F. & Bredero, M.** Linking Technology Choice with Operation and Maintenance in the Context of Community Water Supply and Sanitation: A Reference Document for Planners and Project Staff. World Health Organization (WHO) and IRC Water and Sanitation Centre. Geneva, Switzerland. 2003

**Cánepa de Vargas, L.** Tratamiento de Agua para Consumo Humano: Plantas de Filtración Rápida. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS), Organización Panamericana de la Salud (OPS), Lima, Perú. 2004.

**CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente).** Guía para Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración en Múltiples Etapas. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú. 2005.

**Crittenden, J.C., Trussell, R.R., Hand, D.W., Howe, K.J. & Tchobanoglous, G.** MWH Water Treatment: Principles and Design. John Wiley & Sons. 2012.

**Dol, I. & Nigris, A.** (2006). Relación entre Algunos Parámetros de Consumo en Uruguay. Memorias VII Simposio Latinoamericano de Química Analítica, Ambiental y Sanitaria, Octubre 04-06, Medellín, Colombia.

**Galvis C., A. & Vargas F., V.** (1998). Modelo de Selección de Tecnología en el Tratamiento de Agua para Consumo Humano. Memorias Seminario Taller Agua y Sostenibilidad, Julio 01-03, Cali, Colombia.

**Galvis C., A. & Vargas F., V.** (2000). Selección de Tecnología para el Tratamiento del Agua. Validación del Modelo Conceptual. Memorias Seminario Taller Selección de Tecnología para el Mejoramiento de la Calidad del Agua, Octubre 22-27, Cali, Colombia.

**Moreno Méndez, J.O.** (2020). Los Retos del Acceso a Agua Potable y Saneamiento Básico de las Zonas Rurales en Colombia. Universidad de Los Andes, Revista de Ingeniería, 29, p.p. 28-37. DOI: <https://doi.org/10.16924/revinge.49.5>

**MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).** Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS-2000), Título J. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, Colombia. 2000.

**MAVDT (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).** Resolución 2320 noviembre 27 de 2009. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá, Colombia. 2009.

**MVCT (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio).** Plan Nacional de Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento Básico Rural. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Bogotá, Colombia. 2020.

**MVCT (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio).** Plan Nacional de Saneamiento Básico Rural 2021-2030. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Bogotá, Colombia. 2021.

**Naranjo Fernández, D.** Desarrollo de un Sistema Compacto de Potabilización. [Tesis Maestría en Ingeniería], Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 2009.

**Naranjo Fernández, D.** (2010). Capítulo 5: Selección de Alternativas de Potabilización. [Capítulo de libro inédito]. Procesos Innovadores para la Potabilización de Aguas en Comunidades Rurales Antioqueñas. Marín S., J.M. & Hincapié P., M.M. Proyecto: Expedición Antioquia 2013, Gobernación de Antioquia, Medellín, Colombia. p. 44.

**Sánchez, L.D. & Galvis, G.** (2003). Tecnologías en Abastecimiento de Agua para Pequeños Sistemas de Suministro de Agua. Instituto CINARA, Universidad del Valle. Memorias Evento Internacional Agua 2003- Usos Múltiples del Agua: para la Vida y el Desarrollo Sostenible. Septiembre 29-Octubre 3, Cartagena de Indias, Colombia.

**11. ANEXO 1: SELECCIÓN DE NIVELES DE SOSTENIBILIDAD TECNOLÓGICA MÍNIMOS PARA LA UTILIZACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO**

| PROCESO   | ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|---|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|   | FILTRACIÓN RÁPIDA           |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     | FILTRACIÓN LENTA                      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   | CONVENCIONAL                |     |     |     |     |     |     | MANTO DE LODOS |     |     |     |     |     |     | FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS -FiME- |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>PRETRATAMIENTO (REMOCIÓN DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS)</b>                      |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Desarenación  | II                          | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II             | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II                                    | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  |
| Prefiltración dinámica  |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Prefiltración ascendente  |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>TRATAMIENTO (REMOCIÓN DE PARTÍCULAS COLOIDALES Y DISUELTAS)</b>              |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Coagulación   | III                         | III | III | III | III | III | III | III            | III | III | III | III | III | III | III                                   | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III |
| Floculación   | III                         | III | III | III | III | III | III | III            | III | III | III | III | III | III | III                                   | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III |
| Decantación   | III                         | III | III | III | III | III | III | III            | III | III | III | III | III | III | III                                   | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III |
| Manto de lodos  |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Filtración rápida   | II                          | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II             | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II                                    | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  |
| Filtración lenta  |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>DESINFECCIÓN (REMOCIÓN DE MICROORGANISMOS)</b>                               |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Agentes químicos  |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Hipoclorito de sodio  | I                           |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Hipoclorito de calcio   |                             | IV  |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Cloraminas  |                             |     | IV  |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Yodo  |                             |     |     | III |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Bromo   |                             |     |     |     | V   |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Permanganato de potasio   |                             |     |     |     |     | V   |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Ozono   |                             |     |     |     |     |     | V   |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Agentes físicos   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Oxidación avanzada (fotocatálisis)  |                             |     |     |     |     |     |     | IV             |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Fotólisis (radiación UV)  |                             |     |     |     |     |     |     |                | I   |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Oxidantes mixtos  |                             |     |     |     |     |     |     |                |     | IV  |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Destilación   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     | I   |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>NIVEL MÍNIMO REQUERIDO PARA LA APLICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO</b> |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| NIVEL DE SOSTENIBILIDAD TECNOLÓGICA   | III                         | IV  | IV  | III | V   | V   | V   | IV             | III | IV  | III | V   | V   | V   | V                                     | V   | V   | V   | V   | V   | V   | V   | V   | V   | V   | V   | V   | V   | V   |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|   |                             |     |     |     |     |     |     |                |     |     |     |     |     |     |                                       |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

| ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO  |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
|--|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|
| FILTRACIÓN DIRECTA   |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| PROCESO  | ASCENDENTE  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | DESCENDENTE |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | DOBLE |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
|  | PRETRATAMIENTO (REMOCIÓN DE PARTÍCULAS SUSPENDIDAS) |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Desarenación   | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II          | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II    | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  |     |    |     |
| Prefiltración dinámica   |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Prefiltración ascendente   |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| TRATAMIENTO (REMOCIÓN DE PARTÍCULAS COLOIDALES Y DISUELTAS)              |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Coagulación  | III   | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III         | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III   | III | III | III | III | III | III | III |     |    |     |
| Floculación  | III   | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III         | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III   | III | III | III | III | III | III | III |     |    |     |
| Decantación  |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Manto de lodos   |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Filtración rápida  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II          | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II    | II  | II  | II  | II  | II  | II  | II  |     |    |     |
| Filtración lenta   |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| DESINFECCIÓN (REMOCIÓN DE MICROORGANISMOS)                               |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Agentes químicos   |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Hipoclorito de sodio   | I   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Hipoclorito de calcio  |   | IV  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Cloraminas   |   |     | IV  |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Yodo   |   |     |     | III |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Bromo  |   |     |     |     | V   |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Permanganato de potasio  |   |     |     |     |     | V   |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Ozono  |   |     |     |     |     |     | V   |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Agentes físicos  |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Oxidación avanzada (fotocatálisis)                                       |   |     |     |     |     |     |     | IV  |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Fotólisis (radiación UV)   |   |     |     |     |     |     |     |     | I   |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Oxidantes mixtos   |   |     |     |     |     |     |     |     |     | IV  |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Destilación  |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     | I   |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| NIVEL MÍNIMO REQUERIDO PARA LA APLICACIÓN DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| NIVEL DE SOSTENIBILIDAD TECNOLÓGICA                                      | III   | IV  | IV  | III | V   | V   | V   | IV  | III | IV  | III | III         | IV  | IV  | III | V   | V   | V   | IV  | III | IV  | III | III   | IV  | IV  | III | V   | V   | V   | IV  | III | IV | III |
| OTROS PROCESOS (REMOCIÓN DE PARTÍCULAS DISUELTAS)                        |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |             |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |       |     |     |     |     |     |     |     |     |    |     |
| Adsorción  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV          | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV    | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  |    |     |
| Intercambio iónico   | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV          | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV    | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  | IV  |    |     |
| Ablandamiento  | III   | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III         | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III   | III | III | III | III | III | III | III | III |    |     |
| Oxidación  | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I           | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I     | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I   | I   |    |     |
| Neutralización   | III   | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III         | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III | III   | III | III | III | III | III | III | III | III |    |     |

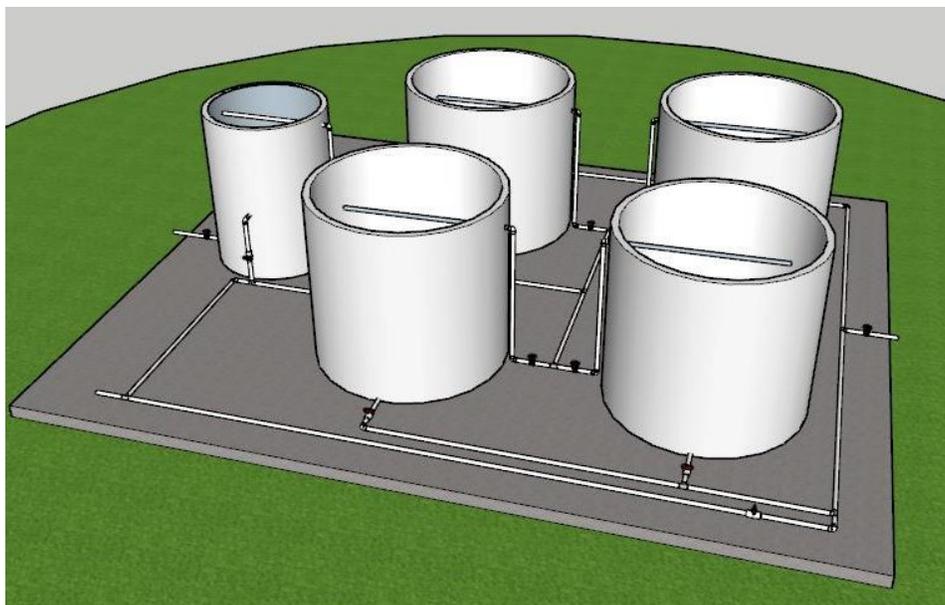
Fuente: Tomado de Naranjo (2010).

## 12. ANEXO 2: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La planta de potabilización consiste en un sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME) modificado, el cual integra los siguientes procesos: 1. prefiltración dinámica ascendente en grava la cual permite amortiguar los valores máximos de turbiedad que puedan ingresar al sistema protegiendo los procesos posteriores de altas cargas de partículas suspendidas; 2. filtración lenta descendente en arena para remoción de partículas y mejorar las características microbiológicas del efluente mediante la formación de una capa biológica en la superficie del lecho. La figura muestra el sistema FiME donde es posible identificar cada uno de sus componentes: prefiltración dinámica ascendente en grava – tanque individual y filtración lenta descendente en arena – tanques en paralelo.

### Figura 6

*Modelado del sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME).*



Es importante tener en cuenta que el efluente del sistema FiME se conduce a un tanque de almacenamiento donde se deberá aplicar hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ ) por goteo a cabeza constante, para finalizar el tratamiento con una barrera de seguridad microbiológica. Tanto el recipiente de donde sale el agente desinfectante como el tanque de almacenamiento poseen un sistema de control mediante válvulas de flotación que se cierran cuando el tanque se encuentra lleno. La solución de  $\text{NaOCl}$  se prepara en un tanque de 10 L. De acuerdo con la Resolución 2115 de 2007 de los Ministerios de Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo

Territorial en la totalidad de la línea de distribución el cloro residual debe estar entre 0,3 y 3.0 mg /L.

En la tabla 16 se presenta el listado de válvulas que incorpora el sistema FiME y su respectiva funcionalidad.

**Tabla 16**

*Válvulas que componen el sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME).*

| NOMENCLATURA | FUNCIÓN DE LA VALVULA  |
|--------------|--|
| V1           | Permite el ingreso del afluente, la entrada del agua de llenado o lavado y realizar descargas de fondo del sistema de prefiltración dinámica ascendente en grava.                  |
| V2           | Permitir que el efluente del sistema de prefiltración dinámica se dirija al sistema de filtración lenta en arena y conducir las descargas del prefiltro dinámico hasta el desagüe. |
| V3           | Permitir el ingreso del afluente a cada unidad correspondiente de filtración lenta en arena y la descarga de fondo de cada una estas unidades.                                     |
| V4           |  |
| V5           |  |
| V6           |  |
| V7           |  |
| V8           | Permitir la descarga de fondo de las unidades de filtración lenta en arenas.   |
| V9           |  |
| V10          |  |
| V11          |  |
| V12          | Permitir la conducción de la descarga de fondo del prefiltro dinámico en gravas hacia el desagüe.  |
| V13          | Permitir la conducción del agua de lavado del prefiltro dinámico en grava al desagüe.  |
| V14          | Permitir la conducción del efluente de los filtros lentos en arena hacia el desagüe.   |

*Nota:* La nomenclatura presentada en esta tabla corresponde con la nomenclatura de los planos de tuberías y accesorios realizados.

El agua fluye por el sistema de tratamiento a través de tuberías PVC-P de 2 in y se controla por medio de válvulas de las cuales V2, V7, V8, V9, V10, V12 y V13 corresponden a válvulas de bola en PVC de 2 in mientras que V1, V3, V4, V5, V6 y V11 corresponden a válvulas de compuerta estándar de 2 in. Esta disposición se propuso en pro de disminuir los costos de implementación del sistema; sin embargo, se recomienda que a largo plazo la totalidad de las válvulas sean de tipo compuerta estándar de 2 in.

La operación normal del sistema FiME sigue la configuración de válvulas presentada en la tabla 17, en la que además se muestran las distintas configuraciones que se debe adoptar cuando se va a realizar el llenado, la descarga o el lavado de cada una de las unidades del sistema.

**Tabla 17**

*Configuración de las válvulas para la realización de diferentes procedimientos.*

| CONVENCIONES                  |            | PROCEDIMIENTOS |           |         |         |           |         |
|-------------------------------|------------|----------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|
|                               |            | Operación      | PFD       |         |         | FLA       |         |
|                               |            |                | Descargue | Lavado  | Llenado | Descargue | Llenado |
| VERDE                         | ABIERTA    |                |           |         |         |           |         |
| AMARILLO                      | EN 1,0L/s  |                |           |         |         |           |         |
| NARANJA                       | CONTROLADA |                |           |         |         |           |         |
| ROJO                          | CERRADA    |                |           |         |         |           |         |
| CONFIGURACIÓN DE LAS VÁLVULAS | VÁLVULA 1  | AMARILLO       | ROJO      | VERDE   | VERDE   | AMARILLO  |         |
|                               | VÁLVULA 2  | VERDE          | ROJO      | ROJO    | VERDE   | VERDE     |         |
|                               | VÁLVULA 3  | NARANJA        | NARANJA   | NARANJA | NARANJA | ROJO      |         |
|                               | VÁLVULA 4  | NARANJA        | NARANJA   | NARANJA | NARANJA | NARANJA   |         |
|                               | VÁLVULA 5  | NARANJA        | NARANJA   | NARANJA | NARANJA | NARANJA   |         |
|                               | VÁLVULA 6  | NARANJA        | NARANJA   | NARANJA | NARANJA | NARANJA   |         |
|                               | VÁLVULA 7  | VERDE          | VERDE     | VERDE   | VERDE   | VERDE     |         |
|                               | VÁLVULA 8  | VERDE          | VERDE     | VERDE   | VERDE   | VERDE     |         |
|                               | VÁLVULA 9  | VERDE          | VERDE     | VERDE   | VERDE   | VERDE     |         |
|                               | VÁLVULA 10 | VERDE          | VERDE     | VERDE   | VERDE   | VERDE     |         |
|                               | VÁLVULA 11 | NARANJA        | NARANJA   | NARANJA | NARANJA | NARANJA   |         |
|                               | VÁLVULA 12 | ROJO           | VERDE     | VERDE   | ROJO    | ROJO      |         |
|                               | VÁLVULA 13 | ROJO           | VERDE     | ROJO    | ROJO    | ROJO      |         |
|                               | VÁLVULA 14 | ROJO           | ROJO      | ROJO    | ROJO    | VERDE     |         |

PFD: Prefiltro Dinámico en Grava, FLA: Filtro Lento en Arenas.

Nótese que el procedimiento de descargue del filtro lento en arenas en la tabla 17 se encuentra especificado únicamente para una de las unidades de filtración; por lo tanto, de acuerdo con la unidad del sistema a la que se vaya a realizar el proceso de descargue se debe elegir cerrar entre las válvulas 3, 4, 5 y 6 correspondientemente.

Por otra parte, la tabla 18 muestra las frecuencias y labores de mantenimiento que deben realizarse en las unidades que conforman el acueducto para garantizar el correcto funcionamiento de este y la seguridad de los usuarios en las viviendas.

**Tabla 18**

*Frecuencia y labores de mantenimiento del sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME).*

| CONVENCIÓN   | DIARIO | SEMANTAL | MENSUAL | TRIMESTRAL | SEMESTRAL |
|--|--------|----------|---------|------------|-----------|
| <b>CAPTACIÓN</b>   |        |          |         |            |           |
| Toma de muestra de agua cruda para determinar los parámetros de turbiedad y pH.  |        |          |         |            |           |
| Revisión del estado de las rejillas y destaponamiento removiendo el material que podría obstruir el continuo flujo del afluente.   |        |          |         |            |           |
| Toma de muestra de agua cruda para realizar los análisis básicos citados en la <i>Resolución 2115 de 2007</i> : turbiedad, pH, coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> .  |        |          |         |            |           |
| Toma de muestra de agua cruda para realizar los análisis básicos y complementarios: turbiedad, color aparente, pH, alcalinidad, dureza, hierro total, coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> .   |        |          |         |            |           |
| <b>PREFILTRO DINÁMICO ASCENDENTE EN GRAVA</b>  |        |          |         |            |           |
| Lavado <i>dos veces por semana</i> durante las épocas de lluvia y <i>una vez por semana</i> en épocas secas. Este lavado se realiza siguiendo las configuraciones presentadas en la tabla 17 en el siguiente orden: <u>1</u> descargue hasta 5cm de la superficie del material filtrante, <u>2</u> procedimiento de lavado, <u>3</u> repetir estos pasos dos veces más, <u>4</u> llenado y <u>5</u> operación normal. Se recomienda cambiar los materiales que componen los lechos filtrantes <i>mínimo cada cinco años</i> , ya que estos van perdiendo sus características con el tiempo.  |        |          |         |            |           |
| Lavado interno y externo del tanque para la remoción del material adherido a las paredes del mismo y pintura externa del tanque y sus tuberías para protegerlo de la intemperie.   |        |          |         |            |           |
| <b>FILTRO LENTO DESCENDENTE EN ARENA</b>   |        |          |         |            |           |
| El lavado completo de los filtros lentos se realiza <i>cada 4 años</i> siguiendo este procedimiento: <u>1</u> preparar un área de terreno donde depositar el material filtrante que se quiere lavar eliminando toda maleza y suciedad, <u>2</u> configurar las válvulas para descarga de cada unidad de filtración lenta de acuerdo a lo establecido en la tabla 17, <u>3</u> efectuar un raspado superficial para remover la primera capa de arena con lodo sin mezclarlo con el resto del material, <u>4</u> sacar todo el material filtrante por capas (arena y gravas) y disponerlo en el área preparada, <u>5</u> limpiar las paredes internas y tuberías del tanque, <u>6</u> realizar el lavado de la arena por etapas utilizando una carretilla u otro deposito donde se agrega agua y se va removiendo con una pala, repitiendo esta operación hasta eliminar por completo la suciedad de la arena, la grava puede ser lavada en el lugar donde se había dispuesto inicialmente, <u>7</u> incorporar nuevamente el material filtrante respetando el orden establecido para cada uno de los lechos filtrantes, <u>8</u> llenado y <u>9</u> operación normal. |        |          |         |            |           |
| Lavado externo del tanque para la remoción del material adherido a las paredes del mismo y pintura externa del tanque y sus tuberías para protegerlo de la intemperie.   |        |          |         |            |           |
| <b>TANQUE DE ALMACENAMIENTO</b>  |        |          |         |            |           |
| Toma de muestra de agua tratada para determinar los parámetros de turbiedad, pH y cloro residual.  |        |          |         |            |           |
| Toma de muestra de agua tratada para realizar los análisis básicos citados en la <i>Resolución 2115 de 2007</i> : turbiedad, pH, cloro residual, coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> .  |        |          |         |            |           |
| Toma de muestra de agua cruda para realizar los análisis básicos y complementarios: turbiedad, color   |        |          |         |            |           |

|   |
|---|
| aparente, pH, cloro residual, alcalinidad, dureza, hierro total, coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> .   |
| Lavado interno y externo para la remoción de material sedimentado en el fondo y del material adherido a las paredes del mismo.  |
| <b>SISTEMA DE DESINFECCIÓN</b>  |
| Preparar la solución desinfectante agregando 0,5L de hipoclorito de sodio ( <i>NaOCl</i> ) al 40% y 9,5L de agua al tanque de preparación de 10L.   |
| Limpieza del sistema de inyección del desinfectante limpiando los residuos de productos químicos para prevenir obstrucciones.   |
| Lavado del tanque de preparación y almacenamiento del desinfectante. Por ningún motivo se debe suspender la dosificación de desinfectante al agua tratada, garantizando un tiempo de contacto adecuado para lograr la desinfección. |
| Lavado interno y externo del tanque para la remoción del material adherido a las paredes del mismo.   |

### Observaciones y recomendaciones

- Se debe mantener control visual del nivel del agua en el prefiltro dinámico ya que cuando este se acerque a menos de 15cm del rebose es indicativo para realizar el respectivo mantenimiento a esta unidad.
- Las frecuencias de mantenimiento estipuladas en este manual se propusieron teniendo en cuenta las consideraciones comúnmente aplicadas a estos sistemas de potabilización; sin embargo, dichas frecuencias dependen de las condiciones climáticas locales y por tanto de la calidad del agua cruda.
- El tanque de almacenamiento de agua tratada debe permanecer tapado evitando el crecimiento y proliferación de algas como resultado de la incidencia de rayos solares, además durante el lavado del tanque de almacenamiento no se deben usar detergentes para evitar contaminar el agua tratada con estos compuestos.
- Disponer de un libro para seguimiento de las novedades y reporte de mantenimientos del sistema de potabilización en el que se especifique fecha, hora, nombre del operario, actividades realizadas y observaciones.

**13. ANEXO 3: ANEXOS FOTOGRÁFICOS**

| <b>Fotografía</b>   | <b>Descripción</b>  |
|---|---|
|    | Socialización inicial del proyecto de práctica social con la comunidad de San José de la Ahumada. |
|   | Dimensionamiento de la rejilla de la bocatoma.  |
|  | Dimensionamiento del desarenador.   |



Aforo de caudales de captación.



Tanque de almacenamiento del acueducto.



Área prevista para la construcción de la planta de potabilización.



Medición de parámetros fisicoquímicos en los laboratorios de docencia.