

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 1 de 8</b>

16-

<b>FECHA</b>	miércoles, 27 de noviembre de 2019
--------------	------------------------------------

Señores  
**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**  
 BIBLIOTECA  
 Ciudad

<b>UNIDAD REGIONAL</b>	Extensión Facatativá
<b>TIPO DE DOCUMENTO</b>	Trabajo De Grado
<b>FACULTAD</b>	Ciencias Agropecuarias
<b>NIVEL ACADÉMICO DE FORMACIÓN O PROCESO</b>	Pregrado
<b>PROGRAMA ACADÉMICO</b>	Ingeniería Ambiental

El Autor(Es):

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>No. DOCUMENTO DE IDENTIFICACIÓN</b>
Vanegas Triviño	Daniela	1070978770
Romero Algecira	Aidy Johana	1072467056

Calle 14 Avenida 15 Barrio Berlín Facatativá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 892 07 07 Línea Gratuita 018000976000  
 www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 2 de 8</b>

Director(Es) y/o Asesor(Es) del documento:

<b>APELLIDOS COMPLETOS</b>	<b>NOMBRES COMPLETOS</b>
Bedoya Ríos	Diego Fernando

<b>TÍTULO DEL DOCUMENTO</b>
DISEÑO DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN PARA LA ZONA VEREDAL DEL MUNICIPIO DE NOCAIMA CUNDINAMARCA

<b>SUBTÍTULO</b> (Aplica solo para Tesis, Artículos Científicos, Disertaciones, Objetos Virtuales de Aprendizaje)

<b>TRABAJO PARA OPTAR AL TÍTULO DE:</b> Aplica para Tesis/Trabajo de Grado/Pasantía
Ingeniero Ambiental

<b>AÑO DE EDICIÓN DEL DOCUMENTO</b>	<b>NÚMERO DE PÁGINAS</b>
26/11/2019	103 Pag

<b>DESCRIPTORES O PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS</b> (Usar 6 descriptores o palabras claves)	
<b>ESPAÑOL</b>	<b>INGLÉS</b>
1.Potabilizacion	water treatment
2.FiME	FiME
3.Veredal	sidewalk
4.Diseño	design
5.Sistema	system
6.Desarrollo	developing



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 3 de 8</b>

## RESUMEN DEL CONTENIDO EN ESPAÑOL E INGLÉS

(Máximo 250 palabras – 1530 caracteres, aplica para resumen en español):

Actualmente las veredas Las Mercedes, San Pablo, San Agustín y Baquero parte alta, ubicadas en el municipio de Nocaima Cundinamarca no cuentan con el servicio de agua potable, sin embargo, satisfacen sus necesidades básicas abasteciéndose de agua no tratada proveniente de las quebradas el Tigre y el Salitre ubicadas en el municipio aledaño de Vergara. Este proyecto plantea un sistema de potabilización conformado por una filtración en múltiples etapas (FiME) el cual se compone por un filtro grueso dinámico (FGD) y un filtro lento de arena (FLA) acompañado de un sistema de desinfección por hipoclorito de calcio, se plantea esta opción de potabilización a partir de identificar las características del terreno, la infraestructura existente, proyección de la población y caracterización fitoquímicas y microbiológicas de las fuentes de abastecimiento.

### Abstract

At present, the villages of Las Mercedes, San Pablo, San Agustín and Baquero in the upper part of the municipality of Nocaima Cundinamarca do not have drinking water, However, they satisfy their basic needs by supplying them with untreated water from the Tigre and Salitre ravines located in the neighbouring municipality of Vergara. This project proposes a water purification system formed by a filtration in multiple stages (Fime) which consists of a dynamic thick filter (FGD) and a slow sand filter (FLA). accompanied by a disinfection system for calcium hypochlorite, this option of drinking water treatment is proposed based on identifying the characteristics of the land, the existing infrastructure, population projection and phytochemical and microbiological characterization of supply sources.

## AUTORIZACION DE PUBLICACIÓN

Por medio del presente escrito autorizo (Autorizamos) a la Universidad de Cundinamarca para que, en desarrollo de la presente licencia de uso parcial, pueda ejercer sobre mí (nuestra) obra las atribuciones que se indican a continuación, teniendo en cuenta que, en cualquier caso, la finalidad perseguida será facilitar, difundir y promover el aprendizaje, la enseñanza y la investigación.

En consecuencia, las atribuciones de usos temporales y parciales que por virtud de la presente licencia se autoriza a la Universidad de Cundinamarca, a los usuarios de la Biblioteca de la Universidad; así como a los usuarios de las redes, bases de datos y demás sitios web con los que la Universidad tenga perfeccionado una alianza, son:

Marque con una "X":



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 4 de 8</b>

<b>AUTORIZO (AUTORIZAMOS)</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1. La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer.	X	
2. La comunicación pública por cualquier procedimiento o medio físico o electrónico, así como su puesta a disposición en Internet.	X	
3. La inclusión en bases de datos y en sitios web sean éstos onerosos o gratuitos, existiendo con ellos previa alianza perfeccionada con la Universidad de Cundinamarca para efectos de satisfacer los fines previstos. En este evento, tales sitios y sus usuarios tendrán las mismas facultades que las aquí concedidas con las mismas limitaciones y condiciones.	X	
4. La inclusión en el Repositorio Institucional.	x	

De acuerdo con la naturaleza del uso concedido, la presente licencia parcial se otorga a título gratuito por el máximo tiempo legal colombiano, con el propósito de que en dicho lapso mi (nuestra) obra sea explotada en las condiciones aquí estipuladas y para los fines indicados, respetando siempre la titularidad de los derechos patrimoniales y morales correspondientes, de acuerdo con los usos honrados, de manera proporcional y justificada a la finalidad perseguida, sin ánimo de lucro ni de comercialización.

Para el caso de las Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, de manera complementaria, garantizo(garantizamos) en mi(nuestra) calidad de estudiante(s) y por ende autor(es) exclusivo(s), que la Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía en cuestión, es producto de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi(nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro (aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos de la Tesis o Trabajo de Grado es de mí (nuestra) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

Sin perjuicio de los usos y atribuciones otorgadas en virtud de este documento, continuaré (continuaremos) conservando los correspondientes derechos patrimoniales sin modificación o restricción alguna, puesto que, de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación de los derechos patrimoniales derivados del régimen



<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>PAGINA: 5 de 8</b>

del Derecho de Autor.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “*Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores*”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables. En consecuencia, la Universidad de Cundinamarca está en la obligación de RESPETARLOS Y HACERLOS RESPETAR, para lo cual tomará las medidas correspondientes para garantizar su observancia.

**NOTA:** (Para Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía):

**Información Confidencial:**

Esta Tesis, Trabajo de Grado o Pasantía, contiene información privilegiada, estratégica, secreta, confidencial y demás similar, o hace parte de la investigación que se adelanta y cuyos resultados finales no se han publicado. **SI \_\_\_ NO x.**

En caso afirmativo expresamente indicaré (indicaremos), en carta adjunta tal situación con el fin de que se mantenga la restricción de acceso.

**LICENCIA DE PUBLICACIÓN**

Como titular(es) del derecho de autor, confiero(erimos) a la Universidad de Cundinamarca una licencia no exclusiva, limitada y gratuita sobre la obra que se integrará en el Repositorio Institucional, que se ajusta a las siguientes características:

a) Estará vigente a partir de la fecha de inclusión en el repositorio, por un plazo de 5 años, que serán prorrogables indefinidamente por el tiempo que dure el derecho patrimonial del autor. El autor podrá dar por terminada la licencia solicitándolo a la Universidad por escrito. (Para el caso de los Recursos Educativos Digitales, la Licencia de Publicación será permanente).

b) Autoriza a la Universidad de Cundinamarca a publicar la obra en formato y/o soporte digital, conociendo que, dado que se publica en Internet, por este hecho circula con un alcance mundial.

c) Los titulares aceptan que la autorización se hace a título gratuito, por lo tanto, renuncian a recibir beneficio alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente licencia y de la licencia de uso con que se publica.

d) El(Los) Autor(es), garantizo(amos) que el documento en cuestión, es producto

Calle 14 Avenida 15 Barrio Berlín Facatativá – Cundinamarca  
Teléfono (091) 892 07 07 Línea Gratuita 018000976000  
www.ucundinamarca.edu.co E-mail: info@ucundinamarca.edu.co  
NIT: 890.680.062-2

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
	<b>REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>PAGINA: 6 de 8</b>

de mi(nuestra) plena autoría, de mi(nuestro) esfuerzo personal intelectual, como consecuencia de mi (nuestra) creación original particular y, por tanto, soy(somos) el(los) único(s) titular(es) de la misma. Además, aseguro(aseguramos) que no contiene citas, ni transcripciones de otras obras protegidas, por fuera de los límites autorizados por la ley, según los usos honrados, y en proporción a los fines previstos; ni tampoco contempla declaraciones difamatorias contra terceros; respetando el derecho a la imagen, intimidad, buen nombre y demás derechos constitucionales. Adicionalmente, manifiesto (manifestamos) que no se incluyeron expresiones contrarias al orden público ni a las buenas costumbres. En consecuencia, la responsabilidad directa en la elaboración, presentación, investigación y, en general, contenidos es de mí (nuestro) competencia exclusiva, eximiendo de toda responsabilidad a la Universidad de Cundinamarca por tales aspectos.

e) En todo caso la Universidad de Cundinamarca se compromete a indicar siempre la autoría incluyendo el nombre del autor y la fecha de publicación.

f) Los titulares autorizan a la Universidad para incluir la obra en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

g) Los titulares aceptan que la Universidad de Cundinamarca pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

h) Los titulares autorizan que la obra sea puesta a disposición del público en los términos autorizados en los literales anteriores bajo los límites definidos por la universidad en el “Manual del Repositorio Institucional AAAM003”

i) Para el caso de los Recursos Educativos Digitales producidos por la Oficina de Educación Virtual, sus contenidos de publicación se rigen bajo la Licencia Creative Commons: Atribución- No comercial- Compartir Igual.



j) Para el caso de los Artículos Científicos y Revistas, sus contenidos se rigen bajo la Licencia Creative Commons Atribución- No comercial- Sin derivar.



**Nota:**

Si el documento se basa en un trabajo que ha sido patrocinado o apoyado por una entidad, con excepción de Universidad de Cundinamarca, los autores garantizan que se ha cumplido con los derechos y obligaciones requeridos por el respectivo contrato o acuerdo.

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAR113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b> <b>PAGINA: 7 de 8</b>

La obra que se integrará en el Repositorio Institucional, está en el(los) siguiente(s) archivo(s).

<b>Nombre completo del Archivo Incluida su Extensión (Ej. PerezJuan2017.pdf)</b>	<b>Tipo de documento (ej. Texto, imagen, video, etc.)</b>
1. Diseño de un sistema de potabilización para la zona veredal del municipio de Nocaima Cundinamarca.PDF	Texto
2. Anexos	Planos, Memoria de Calculo
3.	
4.	

En constancia de lo anterior, Firmo (amos) el presente documento:

<b>APELLIDOS Y NOMBRES COMPLETOS</b>	<b>FIRMA (autógrafo)</b>
Daniela Vanegas Triviño	<i>Daniela Vanegas Triviño</i>
Aidy Johana Romero Algecira	<i>AIDY JOHANA ROMERO A.</i>

21.1-40

	<b>MACROPROCESO DE APOYO</b>	<b>CÓDIGO: AAAr113</b>
	<b>PROCESO GESTIÓN APOYO ACADÉMICO</b>	<b>VERSIÓN: 3</b>
	<b>DESCRIPCIÓN, AUTORIZACIÓN Y LICENCIA DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL</b>	<b>VIGENCIA: 2017-11-16</b>
		<b>PAGINA: 8 de 8</b>

Calle 14 Avenida 15 Barrio Berlín Facatativá – Cundinamarca  
 Teléfono (091) 892 07 07 Línea Gratuita 018000976000  
[www.ucundinamarca.edu.co](http://www.ucundinamarca.edu.co) E-mail: [info@ucundinamarca.edu.co](mailto:info@ucundinamarca.edu.co)  
 NIT: 890.680.062-2

*Documento controlado por el Sistema de Gestión de la Calidad  
 Asegúrese que corresponde a la última versión consultando el Portal Institucional*

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN PARA LA ZONA VEREDAL DEL  
MUNICIPIO DE NOCAIMA CUNDINAMARCA**

**Aidy Johana Romero Algecira & Daniela Vanegas Triviño**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**TRABAJO DE GRADO**

**2019**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE POTABILIZACIÓN PARA LA ZONA VEREDAL DEL  
MUNICIPIO DE NOCAIMA CUNDINAMARCA**

**Aidy Johana Romero Algecira & Daniela Vanegas Triviño**

**DIRECTOR: Diego Fernando Bedoya Ríos**

**UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**TRABAJO DE GRADO**

**2019**

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradecemos a Dios quien nos dio la fortaleza, a nuestros padres quienes nos apoyaron durante todo el desarrollo de nuestra carrera, al Ingeniero Diego Fernando Bedoya quien guio este proyecto, al Ingeniero Julián Rodríguez quien amablemente aportó su conocimiento, a Eduardo Ordoñez quien nos brindó su apoyo incondicional.*

## Tabla de contenido

<b>Resumen.....</b>	<b>9</b>
<b>Palabras claves: .....</b>	<b>9</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>9</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>11</b>
<b>Planteamiento del problema .....</b>	<b>13</b>
<b>Justificación.....</b>	<b>15</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>16</b>
<b>Objetivo general .....</b>	<b>16</b>
<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>Marco Referencial.....</b>	<b>17</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>17</b>
<b>Marco conceptual .....</b>	<b>18</b>
<b>Marco legal.....</b>	<b>22</b>
<b>Enfoque metodológico .....</b>	<b>25</b>
<b>Fase 1: Identificación de requerimientos. ....</b>	<b>25</b>
las dimensiones y coordenadas del predio establecido para el diseño: .....	25
la proyección de la población: .....	25
La demanda poblacional:.....	27
Los caudales de diseño: .....	27
La infraestructura existente: .....	28
<b>Fase 2: Selección de las alternativas de potabilización .....</b>	<b>28</b>
Evaluación de análisis suministrados por la CAR:.....	28
Réplica de parámetros físicos y químicos: .....	28
<b>Fase 3 Selección de la alternativa de potabilización.....</b>	<b>29</b>
Criterios de sostenibilidad económica:.....	29
Criterios de sostenibilidad técnica: .....	29
<b>Resultados.....</b>	<b>30</b>
<b>Descripción del área de estudio .....</b>	<b>30</b>
<b>Fase 1: Identificación de requerimientos. ....</b>	<b>31</b>
las dimensiones y coordenadas del predio establecido para el diseño: .....	32

Identificación del área de estudio .....	32
Dimensiones del predio destinado para la construcción de la PTAP .....	32
Curvas de nivel de la zona de estudio y la ubicación de la infraestructura existente .....	33
La proyección de la población: .....	34
Demanda poblacional .....	38
Caudales de diseño: .....	38
Cauda medio diario Qmd: .....	39
Caudal máximo diario QMD: .....	39
Caudal máximo hora QMH:.....	39
Infraestructura existente: .....	41
<b>Diseño de las alternativas de potabilización .....</b>	<b>45</b>
Evaluación de análisis suministrados por la CAR:.....	45
Réplica de parámetros físicos y químicos: .....	47
<b>Alternativa de potabilización.....</b>	<b>50</b>
<b>Filtración Lenta Por Múltiples Etapas (FiME) .....</b>	<b>50</b>
Filtración gruesa dinámica.....	51
Filtración por lecho de arena (FLA) .....	54
<b>Diseños de un sistema (FiME) .....</b>	<b>56</b>
Diseño del filtro grueso dinámico (FGDi).....	56
Dimensionamiento .....	57
Perdidas de carga .....	65
Diseño del filtro lento de arena (FLA) .....	73
Dimensionamiento .....	73
Perdidas de carga .....	79
<b>Desinfección .....</b>	<b>88</b>
<b>Dosificación del Hipoclorito de Calcio.....</b>	<b>89</b>
Diseño de la cámara de contacto .....	90
<b>Valoración técnica y económica del sistema.....</b>	<b>91</b>
<b>valoración técnica.....</b>	<b>91</b>
<b>Valoración económica .....</b>	<b>94</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>96</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>98</b>

<b>Referencias y bibliografías.....</b>	<b>98</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>102</b>

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Normatividad para diseño de un sistema de potabilización.....	22
<b>Tabla 2.</b> Generalidades de infraestructura existente .....	32
<b>Tabla 3.</b> Dimensiones predio .....	33
<b>Tabla 4.</b> Proyección de la zona rural del municipio de Nocaima .....	35
<b>Tabla 5.</b> Proyección poblacional por diferentes métodos .....	35
<b>Tabla 6.</b> Censo realizado por la Asociación.....	36
<b>Tabla 7.</b> Proyección para de las veredas que conforman la Asociación .....	36
<b>Tabla 8.</b> Caudale de diseño .....	40
<b>Tabla 9.</b> Infraestructura existente.....	42
<b>Tabla 10.</b> Estructura de las bocatomas.....	44
<b>Tabla 11.</b> Estructura de las bocatomas.....	44
<b>Tabla 12.</b> Estructura de las bocatomas.....	45
<b>Tabla 13.</b> Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua en las fuentes de abastecimiento (CAR).....	46
<b>Tabla 14.</b> Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos .....	47
<b>Tabla 15.</b> Guías de diseño para filtros gruesos dinámicos .....	54
<b>Tabla 17.</b> Estructura del lecho filtrante .....	58
<b>Tabla 18.</b> Estructura del lecho de soporte .....	59
<b>Tabla 19.</b> Parámetros para diseño de orificios laterales recolectores .....	61
<b>Tabla 20.</b> Valores de Coeficiente de rugosidad por material .....	67
<b>Tabla 21.</b> Pérdidas de carga en el lecho filtrante y de soporte en el proceso de filtrado .....	71
<b>Tabla 22.</b> Pérdidas de carga en el lecho filtrante y de soporte en el proceso de lavado .....	72
<b>Tabla 23.</b> Especificaciones lecho filtrante de arena.....	75
<b>Tabla 24.</b> Pérdidas de carga en el lecho filtrante y de soporte en el proceso de filtrado- FLA ....	86
<b>Tabla 25.</b> Pérdidas de carga en el lecho filtrante y de soporte en el proceso de lavado- FLA .....	87
<b>Tabla 26.</b> Aspecto para tener en cuenta en la valoración técnica del sistema de filtración en múltiples etapas.....	92
<b>Tabla 27.</b> Aspectos a tener en cuenta en la valoración Económica del sistema de filtración en múltiples etapas.....	94

## Lista de ilustraciones

<b>Ilustración 1.</b> Mapa de localización de bocatomas, predio y tanque de almacenamiento .....	31
<b>Ilustración 2.</b> Curvas de nivel de la zona de estudio y la ubicación de la infraestructura existente .....	34
<b>Ilustración 3.</b> Tendencia en la proyección veredal .....	38
<b>Ilustración 4.</b> Tendencia de los caudales de diseño .....	41
<b>Ilustración 5.</b> Bocatoma quebrada el tigre .....	42
<b>Ilustración 6.</b> Bocatoma quebrada el salitre .....	42
<b>Ilustración 7.</b> Desarenador quebrada el salitre .....	42
<b>Ilustración 8.</b> Tanque de distribución .....	43
<b>Ilustración 9.</b> Predio para instalación de la PTAP .....	43
<b>Ilustración 10.</b> Esquema de un filtro grueso dinámico .....	51
<b>Ilustración 11.</b> Esquema del filtro lento de arena .....	55
<b>Ilustración 12.</b> Valoración técnica del sistema FiME .....	91
<b>Ilustración 13.</b> Costos estimados para la construcción y puesta en marcha de un sistema FiME	95

## **Resumen**

Actualmente las veredas Las Mercedes, San Pablo, San Agustín y Baquero parte alta, ubicadas en el municipio de Nocaima Cundinamarca no cuentan con el servicio de agua potable, sin embargo, satisfacen sus necesidades básicas abasteciéndose de agua no tratada proveniente de las quebradas el Tigre y el Salitre ubicadas en el municipio aledaño de Vergara. Este proyecto plantea un sistema de potabilización conformado por una filtración en múltiples etapas (FiME) el cual se compone por un filtro grueso dinámico (FGD) y un filtro lento de arena (FLA) acompañado de un sistema de desinfección por hipoclorito de calcio, se plantea esta opción de potabilización a partir de identificar las características del terreno, la infraestructura existente, proyección de la población y caracterización fitoquímicas y microbiológicas de las fuentes de abastecimiento.

### **Palabras claves:**

Potabilización, calidad del agua, planta de tratamiento, recurso hídrico, abastecimiento de agua cruda, población rural.

### **Abstract**

At present, the villages of Las Mercedes, San Pablo, San Agustín and Baquero in the upper part of the municipality of Nocaima Cundinamarca do not have drinking water, However, they satisfy their basic needs by supplying them with untreated water from the Tigre and Salitre ravines located in the neighbouring municipality of Vergara. This project proposes a water purification system formed by a filtration in multiple stages (Fime) which consists of a dynamic thick filter (FGD) and a slow sand filter (FLA). accompanied by a disinfection system for calcium hypochlorite, this option of drinking water treatment is proposed based on identifying

the characteristics of the land, the existing infrastructure, population projection and phytochemical and microbiological characterization of supply sources.

Keywords: Water purification, water quality, treatment plant, water resource, raw water supply, rural population.

## Introducción

La ausencia de una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) puede traer como consecuencia en una comunidad un brote de enfermedades infecciosas por tal motivo la potabilización del agua es uno de los recursos más importantes para las personas y se hace necesario realizar un buen tratamiento para eliminar contaminantes presentes en el agua los cuales se encuentran estipulados por el Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial el cual determinan las características físicas, químicas y microbiológicas, que puedan afectar directa o indirectamente la salud humana, además del os criterios y valores máximos aceptables que debe cumplir el agua para el consumo humano que se encuentran establecidos en la resolución 2175 de 2007.

Analizando la problemática y teniendo en cuenta las necesidades de la comunidad se realizó el diseño del sistema de potabilización utilizando un sistema de Filtración de Múltiples Etapas (FiME) donde se identifica la combinación de una Filtración Lenta en Arena (FLA) como la tecnología de tratamiento de agua utilizada en los sistemas de abastecimiento, con el objetivo de tratar aguas superficiales con niveles bajos de contaminación (Sanchez et al, 1968),y Filtro Grueso Dinámico (FGDi) el cual según Vega,(2013) este contribuye al mejoramiento de la calidad del agua, y protege a las unidades de tratamiento de cargas excesivas de sólidos suspendido, operando a velocidades de filtración entre 1 y 9 m/h; además se plantea una desinfección con hipoclorito de sodio el cual según Vargas,(2004), es una solución acuosas de color amarillo verdoso oxidante muy potente e inestable y tienen una concentración determinada de cloro activo por litro. El sistema de potabilización elegido está regido por resolución 0330 de 2017 la cual adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS.

Finalmente se realizaron algunas recomendaciones en cuanto a la diseño, esto con el fin de que la Asociación de usuarios del servicio de acueducto de las veredas implemente el diseño elaborado y se logre un buen funcionamiento de la planta, brindando una buena calidad del agua potable y a su vez mejorar la calidad de vida de los habitantes de las veredas Las Mercedes, San Pablo, San Agustín y Baquero parte alta, ubicadas en el municipio de Nocaima Cundinamarca.

## Planteamiento del problema

Ruiz, (2017) afirma que: A nivel internacional según las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas y la Organización Mundial de la Salud cerca de 2.100 millones de personas carecen de servicio de agua potable y 4.500 millones de personas no cuentan con el servicio de saneamiento básico; debido a esto aproximadamente 340.000 menores de cinco años fallecen por enfermedades diarreicas (p.11). parasitarias, hepatitis, enteritis, entre otras, las cuales se asocian al consumo de agua cruda, por esto el aumento de la cobertura de agua potable debe ser un eje fundamenta en el desarrollo de las comunidades ya que en algunos casos las comunidades se abastecen de agua cruda extraída directamente de las fuentes hídricas como ríos, quebradas y pozos profundos para suplir sus necesidades, sin embargo, este suministro al no tener el debido tratamiento de potabilización puede contener microorganismos patógenos y trazas de agentes químicos contaminantes que poseen un efecto adverso en la salud humana.

Según Martínez (2017), en el informe sectorial de agua potable y saneamiento básico de agosto de 2017 la situación interna de Colombia en el periodo 2010-2015, aumento el acceso a agua potable, 91,4 de cada 100 personas tuvieron acceso, cuando en el 2000 solo 88,4 de 100 personas contaban con el servicio. A pesar de que se ha invertido en los últimos años en el aumento de servicio de agua potable a nivel nacional se ha evidenciado un mayor esfuerzo en ampliar la cobertura de agua potable del sector urbano ya que posee una mayor población que las zonas rurales, además se puede evidenciar que en una zona urbana 97 personas de 100 pueden acceder a suministros de agua potable, mientras que en la rural solo 74 de 100 personas lo logran, de igual manera sucede con las mejoras sanitarias, que en la zona urbana alcanzan 85,2% de acceso, mientras que en la rural tan solo 67,9 %. (Martínez, 2017)

De acuerdo con información del Sistema de Vigilancia de la Calidad del Agua Potable en Colombia (SIVICAP) para el año 2015, retomada por el MVCT, solamente un 23% de los municipios del país recibe agua potable apta para el consumo humano (2016).

El municipio de Nocaima se encuentra en el departamento de Cundinamarca en la región del Gualivá, cuenta con una cobertura de 96% de agua potable en la zona urbana por el contrario en la zona rural la cobertura de agua potable es 0%, situación que se refleja en las veredas Las Mercedes, San Pablo, San Agustín y Baquero, las cuales se abastecen de agua cruda de las quebradas El Tigre y El Salitre.

Es necesario ampliar la cobertura en las zonas rurales para proteger a la población de estas zonas de enfermedades asociadas al consumo de agua no potabilizada y así contribuir al mejoramiento del saneamiento básico y por ende en el aumento de la calidad de vida.

*¿Cuál sería la alternativa de tratamiento para abastecer de agua potable a las veredas Las Mercedes, San Pablo, San Agustín y Baquero ubicadas en el municipio de Nocaima Cundinamarca?*

## **Justificación**

Este proyecto permite diseñar una alternativa de potabilización que beneficiará a la población de veredas Las Mercedes, San Pablo, San Agustín y Baquero ubicada en el municipio de Nocaima Cundinamarca; debido a que el consumo de agua no tratada representa un riesgo para la salud humana que se verá reflejado en la proliferación de enfermedades, según el esquema de ordenamiento territorial del año 2000, en el municipio de Nocaima se presentaron con mayor frecuencia enfermedades asociadas al consumo de agua no tratada como enfermedades diarreicas agudas, leves y algunos brotes de deshidratación

La presencia en todos los grupos etéreos de enfermedad diarreica aguda es una expresión de las bajas condiciones de saneamiento básico por una baja cobertura y calidad de servicios públicos. (Plan de ordenamiento territorial, Nocaima 2000)

Además, al donar el diseño de la alternativa de potabilización se reducirá el costo de la implementación y construcción de la planta por parte de la comunidad y las entidades involucradas. Si se logra la implementación del diseño se contribuirá a mejorar las condiciones sanitarias de una parte de la zona rural del municipio y así disminuir las brechas entre el sector rural en cuanto a la cobertura de agua potable.

El desarrollo de este proyecto va ligado al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible propuesto por la organización mundial de las naciones unidas en pro de la sostenibilidad tale como: tercer objetivo salud y bienestar y sexto objetivo agua limpia y saneamiento. Además, se aplicarán los conocimientos los adquiridos durante de la formación profesional.

## Objetivos

### Objetivo general

- Diseñar una planta de potabilización de agua para las veredas Las Mercedes, San Pablo, San Agustín y Baquero parte alta, municipio de Nocaima, Cundinamarca.

### Objetivos específicos

- Establecer las condiciones e información básica para el diseño de la alternativa de potabilización de agua, basado en las características del área de estudio y sus requerimientos
- Evaluar la viabilidad técnica y económica de la implementación del sistema de tratamiento de agua potable.
- Diseñar alternativas de potabilización de agua bajo los requerimientos de la comunidad y la normatividad legal vigente.

## Marco Referencial

### Antecedentes

En el año 2016, estudiantes del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad del Magdalena desarrollan un proyecto de investigación para el cual busca establecer el diseño de un sistema de potabilización para abastecer a una comunidad rural, obteniendo como resultado que la filtración lenta se ajustaba a los requerimientos de la zona, en la cual contaban con una fuente de abastecimiento de calidad aceptable, con índices muy bajos de turbiedad. Por otro lado, Estudiantes de la universidad Santo Tomas- Bogotá, en el año 2017 estudian la optimización de una planta de tratamiento de agua potable veredal en el municipio de Subachoque y utilizan un método de proyección a nivel macro rural para asimilar el comportamiento en crecimiento de la zona veredal específica del estudio.

El problema de abastecimiento de agua potable en la zona rural del municipio de Nocaima Cundinamarca ha estado bajo la coordinación de la “Asociación de usuarios del servicio de acueducto de las veredas Las Mercedes, San Agustín, San Pablo, Parte Alta de San José y Baquero del municipio de Nocaima, NIT: 832.010.951-0”, la cual ha suministrado la siguiente información:

La asociación se conforma por 154 integrantes con sus respectivas familias del sector rural, creado desde el año 2000 por la comunidad y la dirección municipal, esta entidad se encarga de gestionar el suministro de agua en la zona rural del municipio.

En el año 2005 se otorgó la concesión de aguas a favor del municipio de Nocaima para el beneficio del acueducto veredal para Las Mercedes, San Agustín y San José con un caudal total

de 0.8124 litros por segundo, por un término de 10 años a derivar de la fuente de uso público denominada quebrada el tigre.

En el año 2006 se realizó la solicitud de una concesión de agua superficial con destino a satisfacer las necesidades de uso humano, para derivarla de las fuentes de uso público denominada quebrada el salitre con un caudal otorgado de 0.58 litros por segundo.

Para el año 2018 se gestiona la renovación de la concesión de agua de las quebradas denominadas El Tigre y El Salitre por lo cual la Corporación Autónoma Regional (CAR) realiza estudios fisicoquímicos y microbiológicos de dichas fuentes hídricas.

Actualmente el acueducto cuenta con un predio de 7x5MT con un área de 35MT<sup>2</sup> para la instalación de la planta de potabilización, además se cuenta con 2.000MT de tubería de presión de 2.5” pulgadas para conducción del caudal concesionados de las fuentes hídricas hasta el tanque de distribución.

A pesar de que se diligencia la renovación de la concesión y cuenta con el predio la asociación hasta el momento no realiza potabilización al agua distribuida a la comunidad.

### **Marco conceptual**

Este proyecto busca establecer un sistema de potabilización, entendiéndose como el conjunto de operaciones y procesos que se realizan sobre el agua cruda, con el fin de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas, para hacerla apta para el consumo humano. (Resolución 2115 de 2007; INVIMA). Para realizar un proceso de potabilización se debe implementar una Planta de Tratamiento de Agua Potable (PTAP) que efectúe los procesos que cumplan con las normas de calidad del agua potable ; para el desarrollo de la PTAP es necesario

tener en cuenta el diseño y los componentes de un sistema de potabilización de agua como, prefiltros, aireadores, unidades de mezcla rápida, coagulación, floculadores, sedimentadores, filtración, desinfección, estabilización, ablandamiento, adsorción sobre carbón activado, desertización desmagnetización, manejo de lodos, tanque de contacto del desinfectante, dispositivos de control de las unidades de la planta e instrumentación, almacenamiento de los productos. Es necesario comprender que estos componentes o procesos se fijarán según las condiciones en las cuales se encuentra el agua cruda entendiéndose como aquella agua superficial o subterránea en estado natural; es decir, que no ha sido sometida a ningún proceso de tratamiento. (Básico, M. d.RAS. 2000).

Procesos de potabilización en una PTAP.

**Aireación:** Remover olores y gases disueltos, dando oxígeno al agua.

**Coagulación:** Es el proceso por el cual las partículas se aglutinan en pequeñas masas con peso específico superior al agua llamados flocs, en este proceso se utiliza:

- En la remoción de turbiedad
- En la remoción de color
- En la eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos
- En la eliminación de sustancias productoras de sabor, olor y precipitados químicos.

(Theoduloz, 2011)

**Floculación:** Al revés que la coagulación, coagulación, donde la fuerza primaria es de tipo electrostático o interiónico, la floculación se debe a un mecanismo de formación de puentes químicos o enlaces físicos. Desde el punto de vista operativo, operativo, en general en la floculación se consigue partículas suspendidas, discretas y visibles. En esta fase las partículas

tienen un tamaño suficiente para sedimentar rápidamente por efecto de la gravedad. (Theoduloz, 2011)

**Sedimentación:** Se entiende por sedimentación la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido. (Maldonado,2004)

**Filtración:** La filtración consiste en la remoción de partículas suspendidas y coloidales presentes en una suspensión acuosa que escurre a través de un medio poroso. (Maldonado,2004)

**Desinfección:** Es la eliminación de los microorganismos existentes en el agua, capaces de producir enfermedades. En la desinfección se usa un agente físico o químico para destruir los microorganismos patógenos, que pueden transmitir enfermedades utilizando el agua como vehículo pasivo. (Barrenechea. A, & Vargas.L, 2004)

Entre los microorganismos que pueden producir enfermedades en los seres humanos encontramos *Escherichia coli* de las cuales existen muchos tipos diferentes; la mayoría de la *E. coli* se encuentra de forma natural en nuestros intestinos y desempeña un papel importante en ayudar a nuestro cuerpo a digerir los alimentos. Sin embargo, algunos tipos de *E. coli* provocan en las personas enfermedades diarreicas entre otras. (Health Commission,2019). Por tal motivo se hace necesario realizar un tratamiento adecuado al agua que se utiliza para consumo humano.

Según el Decreto 1575 de 2007 es considerada agua potable a toda aquella que, cumple las características físicas, químicas y microbiológicas y que se considera apta para consumo humano. Dado esto, es necesario determinar la calidad del agua, entendiéndose como: el resultado de comparar las características físicas, químicas y microbiológicas encontradas en el agua, con el contenido de las normas que regulan la materia. (Decreto 1575 de 2007).

A la hora de establecer los parámetros que se requiere para el diseño de la PTAP se tiene encuentra elementos de diseño como el caudal, el cual se considera como la cantidad de fluido que pasa por determinado elemento en la unidad de tiempo. (Resolución 0330 del 2017), a partir del caudal, se estipula el caudal de diseño con el cual operar la planta, el cual es el estimado al final del periodo de diseño con el cual se diseñan los equipos, dispositivos y estructura de un sistema determinado. (Resolución 0330 del 2017), otro factor a tener en cuenta es el caudal medio diario, el cual es el consumo medio durante veinticuatro horas, obtenido como el promedio de los consumos diarios en un periodo de un año. (Resolución 0330 del 2017), los caudales de diseño buscan satisfacer la demanda estipulada por la población de diseño, población que se espera atender por el proyecto, considerando el índice de cubrimiento, crecimiento y proyección de la demanda para el periodo de diseño. (Resolución 0330 del 2017).

Este proyecto busca también seleccionar una de dos opciones de potabilización basado en una valoración económica, donde se genera un análisis mediante el cual se va a estimar el coste, producción, y demás datos que influyen el precio final de producción de agua potable. (Rodríguez, 2016).

El Valor Económico Total (VET) considera que cualquier bien o servicio ecosistémico puede estar compuesto por distintos valores, algunos de los cuales son tangibles y fácilmente medibles, mientras que otros son intangibles y difíciles de cuantificar. (Vasquez, 2007)

El análisis de costo-beneficio o coste-beneficio es un término que se refiere tanto a una disciplina formal (técnica) a utilizarse para evaluar, o ayudar a evaluar, en el caso de un proyecto o propuesta, que en sí es un proceso conocido como evaluación de proyectos; o un planteamiento informal para tomar decisiones de algún tipo, por inteligencia inherente a toda acción humana.

Se usa para determinar las opciones que proveen la mejor forma de conseguir beneficios manteniendo los ahorros. (David, 2013)

Teniendo en cuenta lo anterior se seleccionar el sistema más económico pero que posea la eficiencia que el sistema requiere, de igual manera, se valorara la disponibilidad de los recursos para su construcción y la viabilidad de la operación para el personal con el que cuenta la Asociación.

Una planta de tratamiento de agua potable es un conjunto de estructuras y sistemas de ingeniería en las que se trata el agua de manera que se vuelva apta para el consumo humano. Existen diferentes tecnologías para potabilizar el agua, pero todas deben cumplir los mismos principios tales como la combinación de barreras múltiples es decir diferentes etapas del proceso de potabilización para alcanzar bajas condiciones de riesgo, tratamiento integrado para producir el efecto esperado y tratamiento por objetivo por ello cada etapa del tratamiento tiene una meta específica relacionada con algún tipo de contaminante. (ANDA.2015)

### **Marco legal**

El desarrollo de este proyecto se enmarca en la siguiente normatividad colombiana, la cual establece los parámetros de diseño y las características que debe contener el agua potable.

*Tabla 1. Normatividad para diseño de un sistema de potabilización*

<b>MARCO LEGAL</b>	
<b>NORMATIVIDAD</b>	<b>TITULO</b>
<b>Normatividad relacionada con el diseño de un sistema de potabilización</b>	
Resolución No. 1096 del 17	por la cual se adopta el Reglamento técnico del Sector de

de noviembre de 2000	Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000.
RAS 2000 Título C	está dirigido al desarrollo de estudios y diseño de todos los componentes de un sistema de potabilización del agua, en sus etapas de conceptualización, diseño, puesta en marcha, operación y mantenimiento que se desarrolle en la República de Colombia.
RAS 2000 Título J	Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural, tiene como objetivo fijar los criterios básicos y las buenas prácticas de ingeniería que deben reunir los diferentes procesos involucrados en la conceptualización, el diseño, la implementación y construcción, la supervisión técnica, la operación, el mantenimiento, el cierre, la clausura y las actividades de salvamento de infraestructura.
Resolución 0330 del 2017	Esta resolución tiene como objetivo reglamentar los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado y aseo.
<b>Normatividad relacionada a la calidad del agua potable</b>	
Resolución 2115 del 2007	establece las características fisicoquímicas y microbiológicas, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Decreto 1575 de 2007	El objeto del presente decreto es establecer el sistema para la protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo, exceptuando el agua

	envasada
Resolución 4716 de 2010	en aras de que los municipios y distritos doten y/o adecuen los sistemas de tratamiento de agua para consumo humano, es por lo que mediante el presente acto administrativo se establecen las condiciones para elaborar los Mapas de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
Resolución 082 del 2009	Por medio de la cual se adoptan unos formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano
Resolución 823 del 2017	Por la cual se modifica y adiciona parcialmente el régimen de calidad y descuentos establecido mediante el TÍTULO VII de la Resolución CRA 688 de 2014.
<b>Normatividad relacionada al uso eficiente del agua</b>	
Resolución 493 de 2010	Por la cual se adoptan medidas para promover el uso eficiente y ahorro del agua potable y desincentivar su consumo excesivo
Ley 373 del 1997	Por el cual se establece el programa para uso eficiente y ahorro del agua para departamentos y municipios el cual será controlado y regulado por la CAR

*Fuente: Autores*

## **Enfoque metodológico**

### **Fase 1: Identificación de requerimientos.**

En la primera etapa del proyecto se identificaron los parámetros de diseño según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico modificado por la resolución 0330 del 2017 como son:

#### **las dimensiones y coordenadas del predio establecido para el diseño:**

Se realizaron vistas a campo guiadas por el fontanero del acueducto, en donde se identificaron las características del predio destinado para la PTAP, así como sus coordenadas con ayuda de un GPS y la modelación de las curvas de nivel por medio del programa ArcGis en su versión 10.6.

#### **la proyección de la población:**

Se realizará la estimación de la población para un periodo de tiempo de 25 años, por medio de los métodos lineal o aritmético, exponencial y geométrico

#### **Aritmético**

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} X(T_f - T_{ci})$$

Donde:

$P_f$  = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

$P_{uc}$  = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

$P_{ci}$  = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

$T_{uc}$  = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

$T_{ci}$  = Año correspondiente al censo inicial con información.

$T_f$  = Año al cual se quiere proyectar la información.

### Geométrico

$$P_f = P_{uc}(1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

Donde:

$r$  = Tasa de crecimiento anual en forma decimal.

$P_f$  = Población correspondiente al año para el que se quiere realizar la proyección (habitantes).

$P_{uc}$  = Población correspondiente a la proyección del DANE (habitantes).

$P_{ci}$  = Población correspondiente al censo inicial con información (habitantes).

$T_{uc}$  = Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

$T_f$  = Año al cual se quiere proyectar la información.

### Exponencial

$$P_f = P_{ci} X e^{kx(T_f - T_{ic})}$$

Donde:

Pcp = Población del censo posterior (proyección del DANE).

Pca = Población del censo anterior (habitantes).

Tcp = Año correspondiente al censo posterior.

Tca = Año correspondiente al censo anterior.

Ln = Logaritmo natural o neperiano.

Para la estimación se utilizarán censos realizados por la Asociación de usuarios del servicio de acueducto de las veredas Las Mercedes, San Agustín, San Pablo, Parte Alta de San José y Baquero del municipio de Nocaima

### **La demanda poblacional:**

A partir de la proyección establecida se identificarán la demanda de la población según la resolución 0330 del 2017 en el capítulo 1, artículo 43, *TABLA 1: Dotación máxima por habitante según la altura sobre el nivel del mar.*

<b>Altura promedio sobre el nivel del mar sobre la zona atendida</b>	<b>Dotación Neta Máxima (L/Hab*Dia)</b>
>2000 m.s.n.m.	120
1000 a 2000 m.s.n.m.	130
<1000 m.s.n.m.	140

*Fuente: Resolución 0330 de 2017, Capítulo 1, Artículo 43*

### **Los caudales de diseño:**

Al tener la demanda de la población establecida, se identificarán los caudales máximos, mínimos y medios necesarios para el diseño de la planta de potabilización.

**La infraestructura existente:**

Se realizarán visitas en donde se identifique y evalúe la infraestructura existente, con el fin de en lo posible aprovechar dicha infraestructura en el diseño y así reducir costos

**Fase 2: Selección de las alternativas de potabilización**

En la segunda etapa del proyecto se establecerán como mínimo dos alternativas de potabilización, con diferentes sistemas, según el RAS 2000 título J, que establece los parámetros de diseño para acueductos veredales

**Evaluación de análisis suministrados por la CAR:**

La Asociación de usuarios del servicio de acueducto de las veredas Las Mercedes, San Agustín, San Pablo, Parte Alta de San José y Baquero del municipio de Nocaima, solicitan unos análisis fisicoquímicos y microbiológicos por temas de concesión de aguas, los cuales fueron suministrados para realizar la caracterización de la fuente a potabilizar, dichos resultados se analizan con fin de identificar los sistemas que se requieren en la PTAP. El reporte de los resultados por parte de la Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR) se expide el 06 de septiembre del 2018 en donde se analizan muestras provenientes de las quebradas El Salitre y El Tigre.

**Réplica de parámetros físicos y químicos:**

Se realiza la réplica de parámetros fisicoquímicos, en las instalaciones de la Universidad de Cundinamarca, tales como: alcalinidad, cloruros, dureza, pH, turbidez; la toma de muestras se realizar por medio de un muestreo compuesto, tomando 5litros de muestra durante una hora, a nivel del tanque de distribución existente, así como en la unión de las quebradas.

Los resultados obtenidos permiten conocer el estado actual del afluente y así mismo genera una guía comparativa con los resultados provenientes de la CAR.

### **Fase 3 Selección de la alternativa de potabilización**

En la tercera etapa del proyecto se evaluará la alternativa de potabilización más viable, de acuerdo con la resolución 0330 del 2017 en el artículo 14 *comparación de alternativas y selección de alternativa viable*, sugiere aspectos importantes a la hora de seleccionar la alternativa que mejor se ajusta a las condiciones de la población y el terreno.

#### **Criterios de sostenibilidad económica:**

Se debe analizar la disponibilidad de recursos, la viabilidad de operación, en función de los costos aproximados de construcción y puesta en marcha.

#### **Criterios de sostenibilidad técnica:**

Capacidad técnica que se tiene en el lugar, disponibilidad de los recursos en cuanto a los materiales, mano obra, además se debe estipular los presupuestos para cada una de las alternativas seleccionadas.

## **Resultados**

### **Descripción del área de estudio**

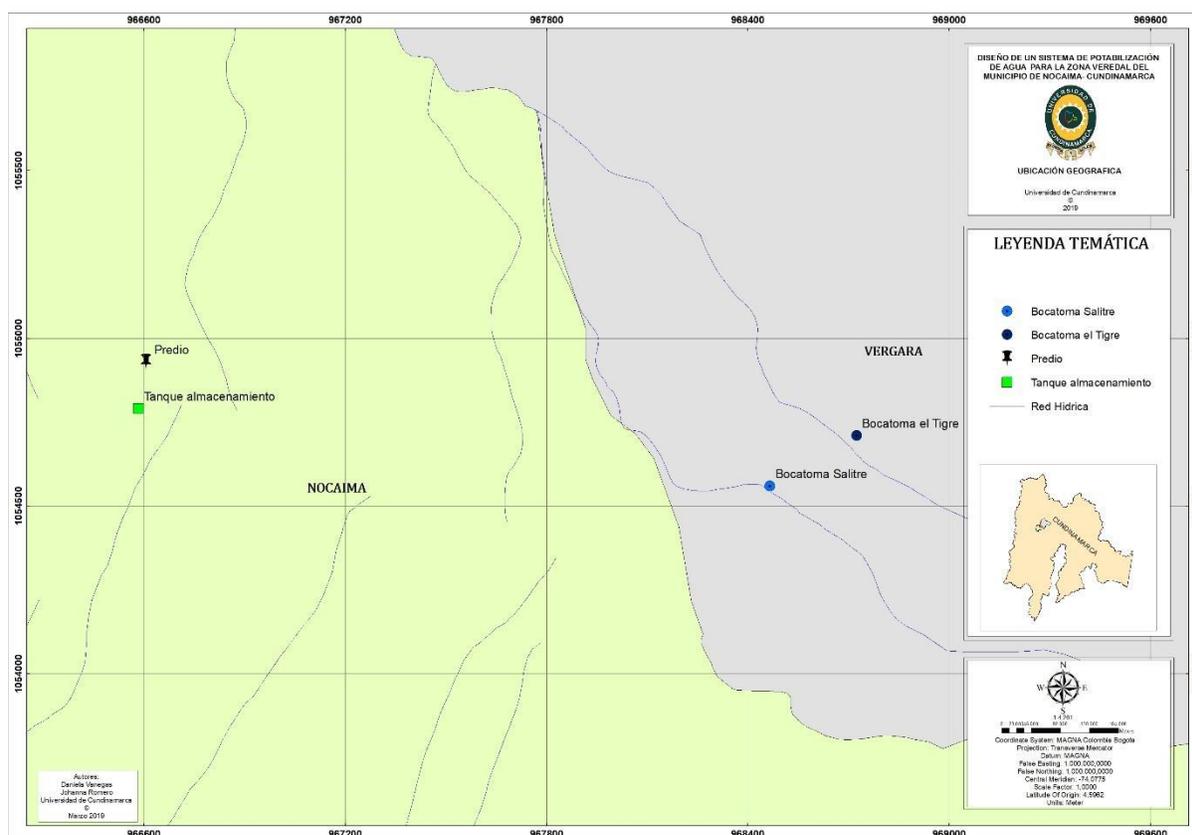
El municipio de Nocaima está ubicado aproximadamente a 69 kilómetros al noroeste de la Capital Colombiana, posee un área de 64 kilómetros cuadrados conformado por 21 veredas en las que se encuentran las veredas Baquero, San José, San Agustín, Las Mercedes y San Pablo para las cuales se diseña la alternativa de potabilización.

Se conforma principalmente por terrenos montañosos, se encuentra ubicado sobre un piso térmico medio, tiene una temperatura promedio de 18 a 23 grados centígrados.

La Asociación de usuarios del servicio de acueducto de las veredas Las Mercedes, San Agustín, San Pablo, Parte Alta de San José y Baquero del municipio de Nocaima cuenta con dos bocatomas ubicadas en el municipio de Vergara, las cuales se abastecen de las quebradas El Tigre y El salitre, además posee con un tanque de almacenamiento y una red de distribución definida como se muestra en la *ilustración 1*, por lo cual este proyecto busca diseñar un sistema

de potabilización en el predio ya gestionado por la asociación ya que actualmente se suministra agua cruda a las veredas.

*Ilustración 1.* Mapa de localización de bocatomas, predio y tanque de almacenamiento



*Fuente: Autores*

### **Fase 1: Identificación de requerimientos.**

En la primera etapa del proyecto se identificaron los parámetros de diseño según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico modificado por la resolución 0330 del 2017 como son:

## las dimensiones y coordenadas del predio establecido para el diseño:

### Identificación del área de estudio

Al realizar la identificación del área de estudio se encontró que el acueducto contaba con dos bocatomas ubicadas en cada una de las quebradas el Tigre y el Salitre, además se identificó un tanque de distribución en el cual se mezclan las aguas provenientes de las quebradas y se distribuye por gravedad a la comunidad sin realizar ningún proceso de potabilización, igualmente se identificó un predio de dimensiones.

Tabla 2. Generalidades de infraestructura existente

<b>Generalidades de la infraestructura existente</b>		
<b>Infraestructura</b>	<b>Altura (msnm)</b>	<b>Ubicación (Municipio)</b>
Bocatoma en la quebrada El Tigre	13325,99	Vergara
Bocatoma en la quebrada El salitre	1414,14	Vergara
Tanque de distribución	1356,34	Nocaima
Predio para la instalación de la PTAP	1351,49	Nocaima

*Fuente: Autores*

### Dimensiones del predio destinado para la construcción de la PTAP

La asociación de usuarios del acueducto por medio de una donación obtuvo un predio para la instalación de la PTAP, en dicho predio se instalarán los sistemas de potabilización sin incluir los tanques de almacenamiento debido a que ya se cuenta con un tanque ubicado en otro predio, por medio de gravedad se llevará al agua potabilizada al tanque

*Tabla 3. Dimensiones predio*

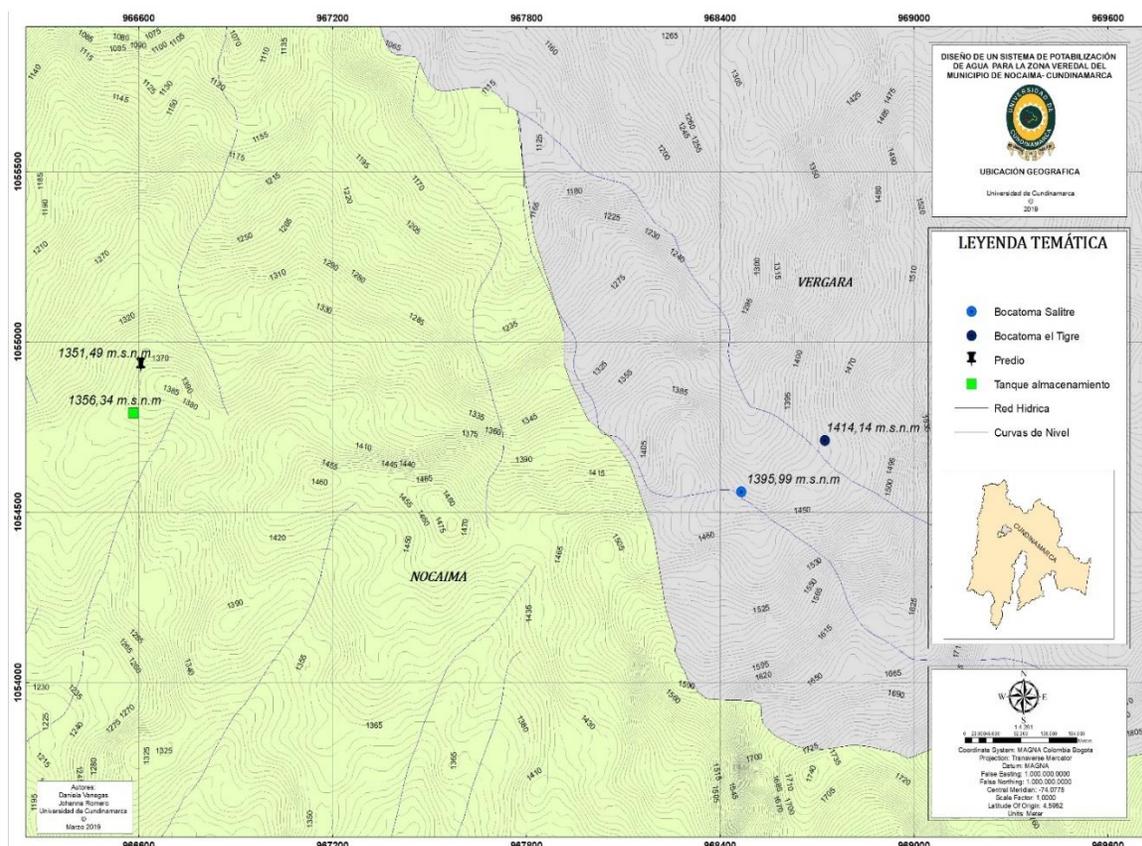
<b>Dimensiones del predio destinado para la construcción de la PTAP</b>		
Ancho	5	M
Largo	7	M
Área	35	M <sup>2</sup>

*Fuente: Autores*

### **Curvas de nivel de la zona de estudio y la ubicación de la infraestructura existente**

Mediante la modelación en el programa ArcGis se obtuvo la siguiente ilustración en donde identifican las curvas de nivel a las cuales se encuentra infraestructura ya existente como es las bocatomas en sus diferentes quebradas, el tanque de distribución y el lote previsto para la instalación de la PTA

Ilustración 2. Curvas de nivel de la zona de estudio y la ubicación de la infraestructura existente



Fuente: Autores

### La proyección de la población:

Los censos establecidos por el DANE se realizan a nivel urbano y rural, sin discriminar vereda por vereda, dado esto no se obtienen datos específicos para las veredas que conforman la Asociación de usuarios.

Sin embargo, se halló por el método aritmético o lineal la tasa de crecimiento poblacional para toda la zona rural del municipio la cual es de 1,4% y se asimilo este comportamiento con la posible tasa de crecimiento de las veredas que conforman la Asociación, aplicando le dicha tasa de crecimiento hallada para el sector rural, al último censo del 2019 realizado por la Asociación de usuarios, el cual es específico para las veredas que lo conforman.

Tabla 4. Proyección de la zona rural del municipio de Nocaima

<b>Proyección para toda la zona rural de municipio de Nocaima</b>				
<b>Año (T)</b>	<b>Población (P)</b>	<b>K</b>	<b>2020</b>	<b>2045</b>
1973	4.503	41,162	6438	7467
1985	4.682	53,760	6564	7908
1993	7.955	-113,471	4891	2055
2005	3.523	500,600	11032	23547
2010	6.026			
<b>Promedio de habitantes</b>		<b>120,513</b>	<b>7231</b>	<b>10244</b>

*Fuente: Autores*

De esta manera se realizó la proyección por los métodos geométricos, aritmético y exponencial, como se muestra en la tabla 4, los resultados obtenidos por los diferentes métodos tuvieron un comportamiento muy similar, por lo cual, se elige el método aritmético para realizar los cálculos de dotación, debido a que es el método que presenta la mayor proyección, sin embargo, muy cercano a los demás valores, lo cual va a permitir abastecer a toda la posible población para el año 2045.

Tabla 5. Proyección poblacional por diferentes métodos

<b>Métodos de proyección</b>	<b>Proyección para el año 2045</b>
Lineal	1230
Geométrico	1212

Exponencial	1215
<b>Promedio</b>	<b>1219</b>

*Fuente: Autores*

*Tabla 6. Censo realizado por la Asociación de usuarios del servicio de acueducto*

Censo Veredal realizado por la Asociación	
Vereda	Población
<b>Las Mercedes</b>	260
<b>San Agustín</b>	188
<b>Santa Barbara</b>	9
<b>San José</b>	119
<b>San Pablo</b>	39
<b>Baquero</b>	10
<b>TOTAL</b>	<b>856</b>

*Fuente: Asociación de usuarios del servicio de acueducto*

El censo realizado por la Asociación indica una población de 856 habitantes, y con una tasa de crecimiento de 1,4% representa que la población proyectada para el año 2045 será de 1230 habitantes.

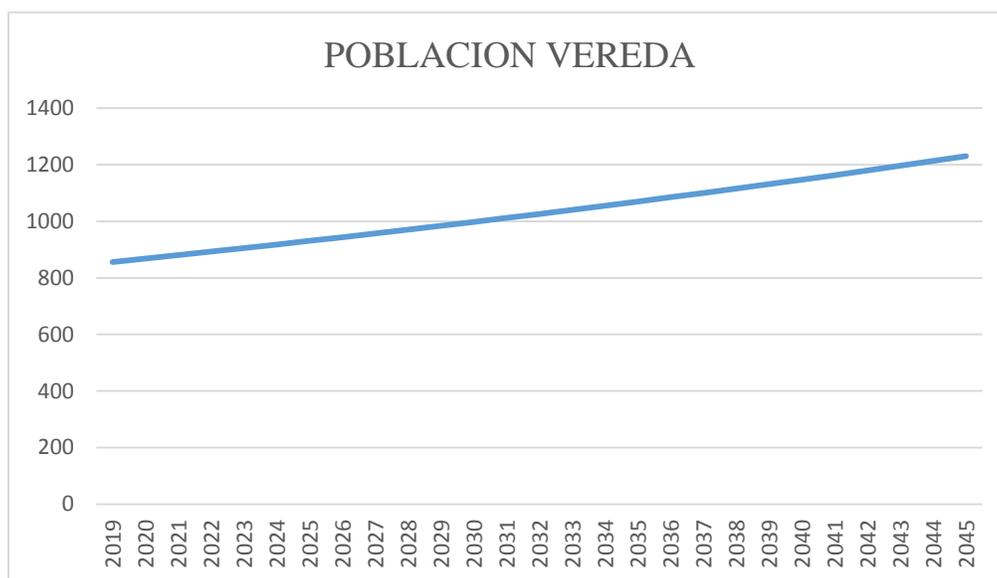
*Tabla 7. Proyección para de las veredas que conforman la Asociación*

Tasa crecimiento	1,4%	2032	1026
------------------	------	------	------

AÑO	POBLACION		
<b>2019</b>	<b>856</b>	<b>2033</b>	1040
<b>2020</b>	868	<b>2034</b>	1055
<b>2021</b>	880	<b>2035</b>	1070
<b>2022</b>	893	<b>2036</b>	1085
<b>2023</b>	905	<b>2037</b>	1100
<b>2024</b>	918	<b>2038</b>	1115
<b>2025</b>	931	<b>2039</b>	1131
<b>2026</b>	944	<b>2040</b>	1147
<b>2027</b>	957	<b>2041</b>	1163
<b>2028</b>	970	<b>2042</b>	1179
<b>2029</b>	984	<b>2043</b>	1196
<b>2030</b>	998	<b>2044</b>	1213
<b>2031</b>	1012	<b>2045</b>	<b>1230</b>

*Fuente: Autores*

*Ilustración 3. Tendencia en la proyección veredal*



*Fuente: Autores*

### **Demanda poblacional**

Las veredas Baquero, San Jose, San Agustín, Las Mercedes y San Pablo se encuentran a una altura promedio de 1105 m s. n. m. y de acuerdo con lo indicado en la resolución 0330 de 2017 la dotación neta máxima de las veredas es de 130 L/Hab.Dia.

Para hallar la demanda poblacional se relaciona la proyección hallada para el año 2045 la cual fue de 1230 habitantes con la dotación neta máxima de 130L/Hab.Dia establecida en la resolución 0330 del 2017 mediante la siguiente ecuación, Obteniendo una demanda poblacional de 159900 L/Dia = 1,85 L/s.

$$DP = 1230hab * 130 \frac{L}{Hab*Dia} = 159900 L/dia$$

### **Caudales de diseño:**

Se estima los caudales de diseño tales como:

**Cauda medio diario Qmd:**

Se estimó a partir de la siguiente.

$$Q_{md} = \frac{N^{\circ} \text{ Habitantes} \times \text{Dotacion}}{86400}$$

$$Q_{md} = \frac{1230 \text{ hab} * 130 \text{ L/hab.Dia}}{86400s} = 1,85 \text{ L/s}$$

**Caudal máximo diario QMD:**

Se calculó multiplicando el caudal medio diario por la constante K=1,3, la cual es igual a 1,3 según el RAS 2000 título B sección 2.8

$$QMD = Qmd * 1,3$$

$$QMD = 1,85 * 1,3 = 2,41 \text{ l/s}$$

**Caudal máximo hora QMH:**

Se calcula con el caudal máximo diario multiplicado por el coeficiente de consumo máximo horario, k2 el cual según el RAS 2000 Titulo B, sección 2,8 es igual a 1,7

$$QHM = QMD * 1,7$$

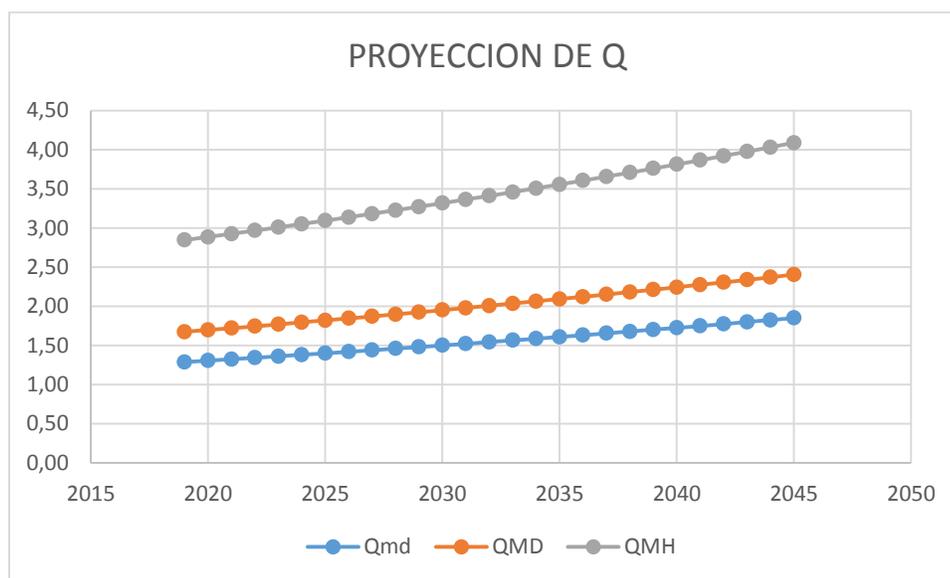
$$QHM = 2,41 \text{ l/s} * 1,7 = 4,09 \text{ l/s}$$

*Tabla 8. Caudales de diseño (L/s)*

<b>AÑO</b>	<b>Qmd</b>	<b>QMD</b>	<b>QMH</b>	<b>AÑO</b>	<b>Qmd</b>	<b>QMD</b>	<b>QMH</b>
<b>2020</b>	1,29	1,67	2,85	<b>2033</b>	1,57	2,03	3,46
<b>2021</b>	1,31	1,70	2,89	<b>2034</b>	1,59	2,06	3,51
<b>2022</b>	1,32	1,72	2,93	<b>2035</b>	1,61	2,09	3,56
<b>2023</b>	1,34	1,75	2,97	<b>2036</b>	1,63	2,12	3,61
<b>2024</b>	1,36	1,77	3,01	<b>2037</b>	1,66	2,15	3,66
<b>2025</b>	1,38	1,80	3,05	<b>2038</b>	1,68	2,18	3,71
<b>2026</b>	1,40	1,82	3,09	<b>2039</b>	1,70	2,21	3,76
<b>2027</b>	1,42	1,85	3,14	<b>2040</b>	1,73	2,24	3,81
<b>2028</b>	1,44	1,87	3,18	<b>2041</b>	1,75	2,27	3,87
<b>2029</b>	1,46	1,90	3,23	<b>2042</b>	1,77	2,31	3,92
<b>2030</b>	1,48	1,92	3,27	<b>2043</b>	1,80	2,34	3,98
<b>2031</b>	1,50	1,95	3,32	<b>2044</b>	1,82	2,37	4,03
<b>2032</b>	1,52	1,98	3,36	<b>2045</b>	1,85	2,41	4,09

*Fuente: Autores*

*Ilustración 4. Tendencia de los caudales de diseño*



*Fuente: Autores*

### **Infraestructura existente:**

Infraestructura Existente: al realizar las visitas en las quebradas tanto El Salitre, como El Tigre se identificó una bocatoma de fondo en cada una de ellas, la cual se encuentra en funcionamiento y permite la captación de agua que posteriormente será trasladada por gravedad a un desarenador, el cual se encarga de eliminar las partículas de arena que pueda contener el agua.

Además, la Asociación de usuarios del servicio de acueducto de las veredas Las Mercedes, San Agustín, San Pablo, Parte Alta de San José y Baquero del municipio de Nocaima, cuenta también con un tanque de distribución en el cual se une las aguas crudas recolectadas de las quebradas y es distribuida a la población. Gracias a una donación la asociación cuenta con un predio para la instalación de la PTAP.

*Tabla 9. Infraestructura existente*

---

**Quebrada El Tigre**

---

Bocatoma

---

*Ilustración 5. Bocatoma quebrada el tigre*




---

**Quebrada El Salitre**

---

Bocatoma

Desarenador

---

*Ilustración 6. Bocatoma quebrada el salitre*



*Ilustración 7. Desarenador quebrada el salitre*




---

**Tanque de Distribución**

---

*Ilustración 8.* Tanque de distribución



---

**Predio destinado para la instalación de la PTAP**

---

*Ilustración 9.* Predio para instalación de la PTAP



*Fuente: Autores*

### **Bocatomas de fondo:**

En este caso el acueducto se supe de agua principalmente de quebradas y se trata de una fuente angosta por lo cual las Ras 2000 titulo B sugiere bocatomas de fondo, este tipo de bocatomas a su vez impide el ingreso de materiales sólidos y flotantes. (Quintero 2009)

Tabla 10. Estructura de las bocatomas

<b>Estructura de las bocatomas</b>		
Separación de rejilla	1	cm
Diámetro de rejilla	0,39	Pulgadas
Longitud de la bocatoma	35	cm
Ancho de rejilla	35	cm

*Fuente: Autores*

### **Desarenador:**

Los desarenadores son obras hidráulicas que sirven para separar (decanar) y remover (evacuar) después, el material sólido que lleva el agua de un canal. (Sparrow, 2008), para proteger los demás sistemas de potabilización es necesario eliminar el material sólido proveniente de la fuente de abastecimiento, en este caso se evidencia baja turbiedad en el agua lo cual se asocia a la presencia del desarenador y a su vez a la buena calidad del afluente.

Tabla 11. Estructura de las bocatomas

<b>Estructura del desarenador</b>		
Numero de cámaras	2	Und
Ancho de cámaras	1	M
Longitud de cámaras	1	M
Alto de las cámaras	1	M
Volumen total del desarenador	2	m3

*Fuente: Autores*

### **Tanque de almacenamiento: (tanques semienterrados)**

la comisión nacional de agua potable define los tanques semienterrados como aquellos que tienen parte de su estructura bajo el nivel del terreno y parte sobre el nivel del terreno. Se emplean generalmente cuando la altura topográfica respecto al punto de alimentación es suficiente y el terreno presenta dificultad de excavación.

*Tabla 12. Estructura de las bocatomas*

<b>Estructura del tanque de almacenamiento</b>		
<b>Longitud del tanque</b>	5.5	M
<b>Ancho del tanque</b>	5.5	M
<b>Profundidad del tanque</b>	2,3	M
<b>Volumen del tanque</b>	70	m3

*Fuente: Autores*

### **Diseño de las alternativas de potabilización**

#### **Evaluación de análisis suministrados por la CAR:**

La Asociación de Usuarios del acueducto las Mercedes, solicitó a la corporación regional de Cundinamarca un estudio fisicoquímico y microbiológico de las fuentes de abastecimiento con el fin de renovar las concesiones, la CAR expidió el reporte de los resultados el 06 de septiembre del 2018 realizados por la dirección de laboratorio e innovación ambiental de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, (ver Anexo 10). En dichos análisis se realizó un muestreo en cada una de las quebradas, en la siguiente tabla se comparan los resultados obtenidos con la resolución 2115 del 2017 en donde se establecen los parámetros máximos que debe contener el

agua potable. Por otro lado, por parte de las autoras del proyecto se realizaron réplicas de parámetros físicos y químicos, en las instalaciones de laboratorio de la Universidad de Cundinamarca extensión Facatativá, tales como alcalinidad, cloruros, dureza total, pH y turbidez del tanque de almacenamiento y en el intercepto de las dos quebradas.

*Tabla 13.* Caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua en las fuentes de abastecimiento (CAR)

<b>Estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR)</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor Max</b>	<b>Qb El Tigre</b>	<b>Qb El Salitre</b>
<b>Alcalinidad total</b>	mg CaCO <sub>3</sub> /l	200	164	46,2
<b>Cloruros</b>	mg Cl/l	250	<LCM	<LCM
<b>Color</b>	Co/pt	15	6	6
<b>Conductividad</b>	μS /cm	1000	489	271
<b>Dureza Total</b>	mg CaCO <sub>3</sub> /l	300	262	132
<b>Fosfatos</b>	mg P-Po <sub>4</sub> /l	0,5	0,47	0,14
<b>N-Nitrato</b>	mg N-No <sub>2</sub> /l	10	0,12	0,13
<b>N-Nitrito</b>	mg N-No <sub>2</sub> /l	0,1	0,006	<LCM
<b>Oxígeno disuelto en campo</b>	mg O <sub>2</sub> /l	-	4,5	5,8
<b>pH</b>	unidades	6,5-9,0	7,81	7,42
<b>Sulfatos</b>	mg SO <sub>4</sub> /L	250	116	89,9
<b>Turbidez</b>	NTU	2	<LCM	1,8
<b>coliformes totales</b>	NMP/100	0	1,3 <sup>^</sup> 04	9,9 <sup>^</sup> 03
<b>Eschericha Coli</b>	NMP/100	0	7,3 <sup>^</sup> 02	5,2 <sup>^</sup> 02
<b>Guiardia</b>	no quistes/ 10L	0	0	0
<b>Cryptosporidium</b>	no quistes/ 10L	0	0	0
<b>Aluminio</b>	mg A/L (pp m)	0,2	0,026	0,38
<b>Calcio</b>	mg Ca/L (ppm)	60	86,1	42,9

<b>Hierro</b>	mg Fe/L (ppm)		<LC T	<LC T
<b>Magnesio</b>	mg Mg/L (ppm)	36	5,37	3,99
<b>Manganeso</b>	mg Mn /L (ppm)	0,1	0,015	0,056
<b>Molibdono</b>	mg Mo/L (ppm)	0,07	0,015	<LC T
<b>Zinc</b>	mg Zn /L (ppm)	3	0,056	0,07

### Réplica de parámetros físicos y químicos:

Tabla 14. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

<b>Parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos</b>				
<b>Parámetro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor Max</b>	<b>Tanque de distribución</b>	<b>Unión de las quebradas</b>
<b>cloruros</b>	mg Cl/l	250	14,204	42,612
<b>Dureza Total</b>	mg CaCO3 /l	300	182	245
<b>pH</b>	unidades	6,5-9,0	8,31	7,96
<b>Turbidez</b>	NTU	2	1,56	2,14

*Fuente: Autores*

Al analizar los resultados obtenidos por el laboratorio de la CAR se encuentra incumplimiento en parámetros básicos como la turbidez y presencia de agentes microbiológicos en los dos puntos de muestreos, lo cual indica la necesidad inmediata de instalar un sistema de potabilización que de control a estos parámetros con el fin de minimizar los riesgos que se puedan derivar de ellos.

La turbiedad en el agua es causada por materia suspendida y coloidal tal como arcilla, sedimento, materia orgánica e inorgánica dividida finamente, plancton y otros microorganismos microscópicos. (IDEAM 2007) por ende se entiende la turbiedad como una característica física del agua en donde la capacidad óptica determina el grado de suspensión mediante el

redireccionamiento de los rayos que luz que chocan con las partículas en suspensión, es importante tener en cuenta el parámetro de turbidez ya que estos impactan los ecosistemas acuáticos afectando la respiración, fotosíntesis y la reproducción de la vida acuática, además la turbidez se debe considerar como una medida importante para saber la calidad del agua. (González.C, 2011).

En los resultados se encuentran niveles superiores a los permitidos, esto se debe a que la muestra fue tomada directamente en la fuente sin embargo se puede considerar la muestra con buena calidad ya que su turbiedad no es tan alta a pesar de que no ha recibido ningún tipo de tratamiento.

Otro factor importante a tener en cuenta es la presencia de microorganismos asociados a la presencia de heces fecales como es la *Escherichia Coli* y los coliformes totales, este comportamiento se presenta en las dos quebradas, por ellos es necesario evaluar un sistema de desinfección ya que la normatividad indica que el agua para consumo humano no debe contener presencia de dichos microorganismos, debido a que el consumo de agua contaminada por microorganismo se asocia a enfermedades gastrointestinales.

Además, se denota presencia de algunos compuestos como calcio en la quebrada El Tigre, entendiéndose el calcio como el principal componente de la dureza en el agua, se asocia la concentración de las sustancias disueltas a la localización geográfica de la fuente de extracción. el calcio es uno de los principales componentes que determinan el grado de dureza en el agua, a pesar de que se encuentran niveles superiores a los permitidos de calcio se identifica la dureza total entre los valores máximos permitidos para consumo humano, otro factor a tener en cuenta es que este comportamiento solo se presenta en una de las fuentes que abastecen el sistema.

En lo que respecta a componentes activos, los iones calcio y magnesio son dos de los componentes químicos más importantes presentes en las aguas de consumo público y constituyen el mayor porcentaje de lo que se conoce como Dureza del Agua.

Al analizar las réplicas de las pruebas fisicoquímicas tales como alcalinidad, cloruros, dureza total, pH y turbidez del tanque de almacenamiento se evidencio que todos los parámetros se encuentran entre el valor máximo permisible establecido en la resolución 2115 del 2007; de igual manera observando los resultados obtenidos en la unión de las dos quebrada, se evidencia que los parámetros tales como alcalinidad, cloruros, dureza total y pH se encuentran en los rangos aceptables según la normativa colombiana, por otro lado la turbidez se encuentra por encima del valores máximos permisible, esto se puede asociar a que la muestra fue tomada directamente de la fuente la cual no ha tenido un tiempo de sedimentación como ocurre en el tanque de almacenamiento.

Como conclusión de la caracterización del agua se encuentra en términos generales, una fuente de buena calidad ya que cuenta con pocos parámetros de incumplimiento, además se determina que es necesario implementar como primera medida un sistema de filtración que reduzca la turbidez presente en el agua, así como los sólidos suspendidos, seguido por un sistema de desinfección que garantice la eliminación de los microorganismos patógenos encontrados en la muestra. Se descartan sistemas como floculación y coagulación ya que el contenido de material suspendido en el agua es bajo como identifican las pruebas de turbidez, así como la conductividad.

### **Alternativa de potabilización**

A partir de la caracterización fisicoquímica y microbiológica realizada en los análisis anteriores se llega a la conclusión que es necesario implementar un proceso de clarificación o filtrado, así como un sistema de desinfección en el agua o eliminación de microorganismos.

#### **Filtración Lenta Por Múltiples Etapas (FiME)**

La Filtración en Múltiples Etapas (FiME); es un sistema elaborado en el CINARA en 1990 el cual busca tratar aguas superficiales.

Este sistema surge a partir de modificar las tecnologías de filtración lenta con arena ya que dicha tecnología se veía limitada en la poca capacidad para tratar agua con altas cargas contaminantes, además debía operarse con caudales continuos para garantizar las demandas oxígeno, de igual manera el sistema se veía afectado por las bajas temperaturas, (Sánchez L. D., Sánchez, Galvis, & Latorre, 2007).

Los sistemas FIME no utiliza coagulantes haciendo más sostenible el proceso de potabilización y generando requerimientos bajos de operación y mantenimiento, factor importante a la hora de su implantación en una zona veredal.

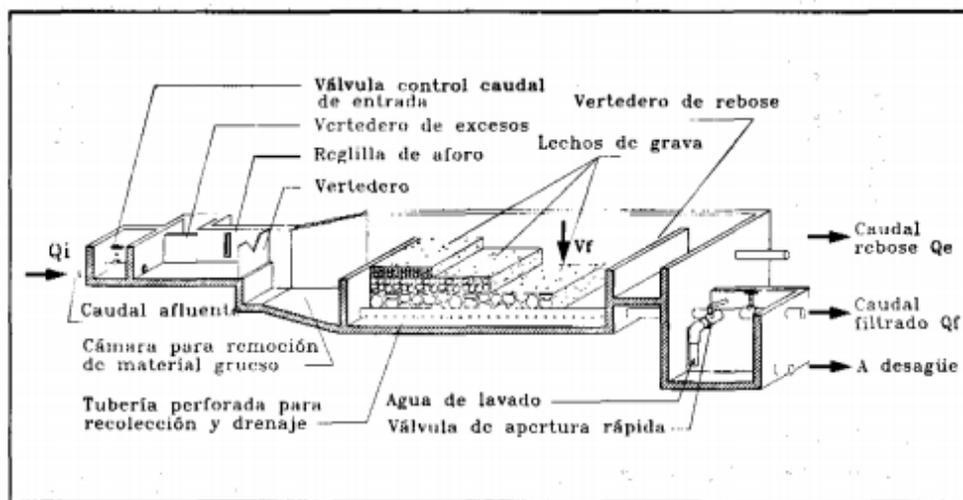
La filtración lenta por múltiples etapas se compone de tres sistemas:

Filtro Grueso Dinámico (FGDi), Filtro Grueso (FG) y Filtro Lento en Arena (FLA); sin embargo, de acuerdo con (Galvis Castaño & Latorre Montero, 1999), el segundo componente; es decir, el Filtro Grueso, puede ser obviado cuando la fuente es de buena calidad, como lo es en este caso, en donde se encuentra valores de turbiedad bajos

## Filtración gruesa dinámica

La técnica de filtración gruesa dinámica radica fundamentalmente en dos o más módulos operados en paralelo con flujo descendente, donde cada unidad es empacada con lechos de grava de tamaños variables en el rango de gruesa en el fondo a fina en la superficie como se puede evidenciar en la ilustración 10. (Latorre, et al., 1996). El agua se filtra a través del lecho de grava desde la superficie hasta el fondo, alcanzando el sistema de drenaje, desde el cual fluye a la siguiente unidad de tratamiento. Debido a que la grava usada es relativamente gruesa, la pérdida de carga sobre el lecho de filtración es muy pequeña alrededor de 0.01m. (Guzmán, 1997).

Ilustración 10. Esquema de un filtro grueso dinámico



Fuente: Galvis, et al., 1999

Los componentes de un sistema de FGD<sub>i</sub> son:

**Cámara de filtración:** Es la zona donde se realiza el proceso de tratamiento y el lugar donde se ubica el lecho filtrante, los medios de soporte y el sistema de drenaje. La altura total de la cámara está determinada por la altura del lecho filtrante, la altura del vertedor de salida y el

borde libre requerido. Normalmente la altura total del filtro es de 0.70 m, con paredes verticales construidas generalmente en mampostería estructural o concreto reforzado.

**Lechos filtrantes y de soporte:** El medio filtrante está conformado por tres capas de grava con tamaños que varían entre 3.0 y 25.0 mm. La capa más fina se coloca en la superficie y la más gruesa sobre el fondo de la unidad, cubriendo el sistema de drenaje o múltiple recolector. Tanto la grava de fondo como la intermedia funcionan como lechos de soporte, aunque existen evidencias de su contribución en la remoción de material suspendido (Latorre, 1994).

**Estructuras de entrada y salida:** La estructura de entrada debe incluir elementos que permitan la disipación de energía, el control, la medición y distribución de flujo y el vertimiento de excesos. La estructura de salida debe permitir tanto el drenaje del caudal de rebose durante la operación a tasa declinante del FGD<sub>i</sub>, como el vertimiento del agua de lavado durante la limpieza superficial del filtro.

**Sistema de drenaje y cámara de lavado:** La estructura de salida debe permitir tanto el drenaje del caudal de rebose durante la operación a tasa declinante del FGD<sub>i</sub>, como el vertimiento del agua de lavado durante la limpieza superficial del filtro.

**Accesorios de regulación y control:** El tipo y número de accesorios utilizados en las unidades de FGD<sub>i</sub> y en otros componentes de FiME, que incluyen válvulas para regulación de caudal, válvulas para desagüe y válvulas de apertura rápida para drenaje de filtros gruesos se seleccionan teniendo en cuenta el caudal. (Galvis, et al., 1999, p.114)

Según Pfammatter, 1992 la diferencia más importante entre el Filtro Dinámico y otros tipos de Filtros Gruesos es que su lecho filtrante está constituido de fino en la capa superior a grueso en el fondo; este diseño se origina en el papel primordial de los FGD<sub>i</sub>'s. Esta disposición del

lecho permite colmatar más rápidamente el filtro y hace en consecuencia declinar el caudal acondicionado y es por eso muy efectiva en la protección de las etapas. Claramente es necesario lavar el filtro cada vez que los valores altos de turbiedad y sólidos provocaron la obstrucción del lecho. La capacidad de declinar el caudal filtrado es lo que ha dado el nombre Dinámico a este filtro.

Galvis, et al., 1999 Afirma que la velocidad de filtración recomendada para FGD<sub>i</sub> no debe exceder 3.0 m/h, pues los valores de esfuerzo cortante producidos pueden resuspender y transportar el material sedimentado, disminuyendo la eficiencia del proceso y modificando las rutinas de mantenimiento (Latorre, 1994). Adicionalmente y ante los bajos costos de inversión inicial que el FGD<sub>i</sub> representa (entre 7% y 10% de los costos directos totales de construcción), no se justifica emplear velocidades de filtración superiores a las recomendadas.

A continuación en la tabla 15 se pueden evidenciar los criterios y valores recomendados, se debe tener en cuenta que en estaciones de bombeo de agua con períodos de operación inferiores a 24 h/día, se recomienda proyectar un almacenamiento de agua cruda, a partir del cual se suministre agua de manera continua al FGD<sub>i</sub> y demás componentes de FiME; además, la altura del vertedero de rebose son medidos a partir del lecho superficial de grava fina que se encuentran en la tabla 16, allí se especifican las características del medio filtrante recomendado para unidades FGD<sub>i</sub>

Tabla 15. Guías de diseño para filtros gruesos dinámicos

<b>Criterios</b>	<b>Valores recomendados</b>
<b>Periodo de diseño (año)</b>	8-12
<b>Periodo de operación (h/d)</b>	24
<b>Velocidad de filtración (m/h)</b>	2-3
<b>Número mínimo de unidades en paralelos</b>	2
<b>Área de filtración por unidad (<math>m^2</math>)</b>	<10
<b>Velocidad superficial del flujo durante el lavado superficial(m/s)</b>	0.15-0.3
<b>Altura del vertedero de rebose(m)</b>	0.03-0.05
<b>Lecho filtrante</b>	
<b>Longitud(m)</b>	0.6
<b>Tamaño de gravas(mm)</b>	Según tabla 17

Fuente: Latorre, et al., 1999

### **Filtración por lecho de arena (FLA)**

Según el RAS, 2000. La filtración lenta es un proceso de tratamiento a baja velocidad con el fin de fomentar un conjunto de procesos físicos y biológicos que permitan reducir la turbiedad y destruir los microorganismos patógenos del agua en su paso por el filtro. Puede emplearse como tratamiento final del agua cruda prefiltrada, para mejorar la calidad bacteriológica y remover las partículas suspendidas más finas; puede utilizarse como tratamiento único de la calidad del agua cruda cuando ésta mantiene una turbiedad no mayor a 15 UNT, bajo color menor a 20 UPC y un NMP de coliformes fecales por debajo de 500.

Este tipo de filtración se caracteriza por ser un sistema sencillo y eficiente para realizar el tratamiento de agua, además presenta un bajo costo de operaciones y mantenimientos lo que hace que sea un sistema correcto en urbanización pequeña y zonas rurales. (Villanueva.S,2013) El uso

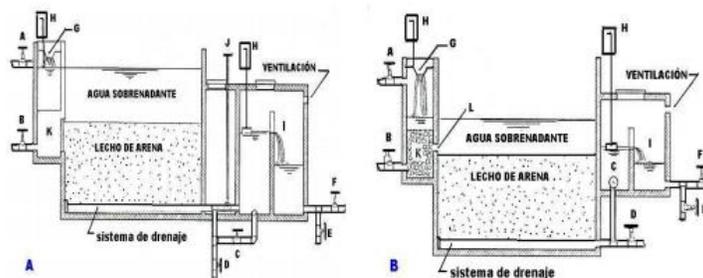
de plantas de filtración lenta debe ser considerado preferentemente en los niveles bajo y medio de complejidad.

La filtración por lecho de arena (FLA) se emplean principalmente en áreas pequeñas o comunidades rurales las cuales se abastecen de fuentes con buenas calidades, como lo es en el caso de este diseño, la sencillez y baja complejidad del sistema permite su operación por mano de obra no especializada.

Los sistemas FLA pueden ser susceptibles a limitantes tales como taponamientos por cargas de contaminantes, sin embargo, al estar combinado con un sistema de filtración gruesa dinámica previa esto reduce la carga contaminante que llegara el FLA, aumentando la eficiencia del sistema global.

Una unidad de FLA está conformada por una estructura que contiene un lecho filtrante, sobre la cual reposa una capa de agua, acompañado de un sistema de drenaje y un sistema de control del flujo, las partículas suspendidas que ingresan la filtro junto con el agua deben pasar por un lecho filtrante por acción de la gravedad, en conjunto con la fuerza ejercida por el mismo peso del agua sobrenadante, esto permite que las partículas atraviesen el lecho y serán retenida, liberando el flujo del agua con menores niveles de turbiedad.

*Ilustración 11. Esquema del filtro lento de arena*



*Fuente: Sánchez 1968*

Una característica importante a la hora de elaborar el diseño de un sistema de filtración lenta con arena, es que los caudales de entrada deben ser homogéneos y deben estar controlados con el fin de disminuir los desniveles en el lecho y garantizar la demanda de oxígeno de este, de igual manera se debe controlar la entrada del flujo para garantizar la presión necesaria que se quiere para generar el paso del flujo a través del lecho filtrante, un sistema eficiente para controlar el caudal es la instalación de un sistema de válvulas a la entrada, por otra parte, si el lecho se encuentra limpio el agua podrá fluir a una tasa de filtración más alta, por esto instalar un sistema de válvulas a la salida del sistema permitirá controlar el caudal de salida y sus tiempos.

El filtro al recibir materia orgánica esto constituye una fuente de nutrientes ayuda al crecimiento de bacterias y otros microorganismos que ayudan a que el material soluble sea removido del agua en el lecho de arena. (Sánchez, 1968)

En los filtros lentos de arena la temperatura juega un papel importante ya que, a bajas temperaturas, la viscosidad del agua aumenta, reduciendo la actividad bioquímica que se produce en los lechos de arena, afectando directamente las eficiencias de remoción de algunos parámetros.

### **Diseños de un sistema (FiME)**

El diseño de los filtros que componen el sistema FiME se utilizará el caudal máximo diario proyectado para el año 2045, el cual, es de 2,41 l/s

$$Q = \frac{2,41l}{s} * \frac{3600s}{1000l} = \frac{8,66m^3}{h} = \frac{0,0024 m^3}{s}$$

### **Diseño del filtro grueso dinámico (FGDi)**

Los principales componentes de un filtro grueso dinámico son:

- Cámara de filtración compuesta por el lecho filtrante y de soporte
- Estructuras de entrada y salida
- Sistema de drenaje y recolección de agua filtrada
- Accesorios de regulación y control de caudal

### ***Dimensionamiento***

- **Numero de filtros:** Según la RAS 2000 título C se deben considerar como mínimo dos unidades de filtración para casos de mantenimiento o falla de alguno de los filtros.

Se proyectan dos unidades cada una con un

$$Q_D = \frac{1,205L}{s} * \frac{3600s}{1h} * \frac{1m^3}{1000L} = 4.33 \frac{m^3}{h}$$

- **Velocidad de filtración:** la velocidad de filtración recomendada por la RAS 2000 título C es de 2m/h
- **Área de filtración:** Con lo cual para el área de filtración se tiene un Af para cada unidad de filtro

$$A_f = \frac{Q}{V} = \frac{4.33m^3/h}{2m/h} = 2.16m^2$$

Donde

Q = caudal máximo diario en m<sup>3</sup>/h

V= velocidad de filtración m/h

- **Relación largo ancho:** de acuerdo con los parámetros establecidos por la RASS título C la relación largo ancho es 5:1

$$A_s = L * B^2 = 2.16m^2$$

$$B = \left( \frac{2.16m^2}{5m} \right)^{1/2} = 0.7m$$

$$L = 0,7m * 5 = 3.3m$$

Es claro que las medidas del área superficial de cada unidad de filtración proyectadas serian: **Largo: 3.3 m y Ancho: 0.7m**

Donde

As = área superficial

B= ancho

L= largo

- **Lecho filtrante:** Para la profundidad o pared de cada unidad de filtración se consideraron los criterios expuestos en el documento Galvis G., La Torre J. (1999) más un borde libre de 0.2 m para una altura total de 0.8 m

*Tabla 16. Estructura del lecho filtrante*

<b>Posición en la Unidad</b>	<b>Espesor de la capa (mm)</b>	<b>Tamaño de la Grava (mm)</b>
<b>Superior</b>	0,20	3,0 - 6,0
<b>Intermedia</b>	0,20	6,0 – 13,0
<b>Inferior, Fondo</b>	0,20	13,0 – 25,0

*Fuente: Galvis G., La Torre J. (1999)*

**Lecho de soporte:** el lecho filtrante se ubicará sobre el lecho de soporte para darle estructura, y este se compondrá por 4 capas de Arena gruesa, grava fina, grava y grava gruesa de acuerdo con los parámetros expuesto en el documento Galvis G., La Torre J. (1999) como se muestra a continuación

Tabla 17. Estructura del lecho de soporte

Capa	Tipo	Diámetro partícula (mm)	Espesor de capa (mm)
Superior	Arena Gruesa	1-2	50
Segunda	Grava Fina	2-5	50
Tercera	Grava	5-10	50
Inferior	Grava Gruesa	10-25	150

*Fuente: Galvis G., La Torre J. (1999)*

**Altura de la cámara de filtración:** la altura de la cámara de filtración estará definida por la suma de las alturas o espesores que componen el lecho filtrante y el lecho de soporte

$$H_f = H_{ls} + H_{lf} + H_{bl}$$

Donde

$H_f$  = altura de la cámara de filtración

$H_{ls}$  = altura del lecho de soporte

$H_{lf}$  = altura del lecho de filtrado

$H_{bl}$  = altura del borde libre

$$H_f = 0,30m + 0,60m + 0,20m$$

$$H_f = 1,1m$$

**Diseño del sistema de drenaje múltiple recolector:** el sistema múltiple recolector se definirá por un drenaje en espina de pescado compuesto por una tubería principal que recibe el fluido por unas tuberías secundarias laterales perforadas, esto con el objetivo de drenar de una forma homogénea la totalidad del agua filtrada, de acuerdo con los

parámetros establecidos en el documento de Galvis G., La Torre J. (1999), será necesario un espacio libre entre tuberías laterales y el borde de las paredes de la cámara de filtrado de 0,2m y un espacio entre laterales de 0,5m.

**Numero de laterales recolectores:** estará definida por la ecuación:

$$Nl = \frac{L - Elb}{El}$$

Donde=

Nl= número de laterales recolectores

L= longitud de la cámara de filtrado

Elb= espacio libre al borde

El=espacio entre laterales

$$Nl = \frac{3,3m - 0,2m}{0,5m}$$

$$Nl = 6,2 \pm 6$$

Será necesario aproximar a 6 laterales recolectores

**Diseño de orificios en laterales recolectores:** teniendo en cuenta el documento de Galvis G., La Torre J. (1999) será necesario considerar los siguientes parámetros

Tabla 18. Parámetros para diseño de orificios laterales recolectores

Ítem	Recolector	Difusor
$R_o = S$ área orificios/ área de lecho	0,0015 – 0,005	0,0015 – 0,005
$R_l = S$ área orificios/ área del lateral	0,3 – 0,5	0,4 – 1,0
$R_p = S$ área de lateral/ área principal	0,3 – 0,5	0,4 – 1,0
Diámetro orificios (mm)	6 - 19	6,0 – 19,0
Espaciamiento entre Orificios (m)	0,1 – 0,3	0,1 – 0,3
Espaciamiento entre laterales (m)	0,5 – 1,0	0,5 – 1,0

Fuente: Galvis G., La Torre J. (1999)

Donde se adopta un  $R_o = 0,002$

La sumatoria de áreas de los orificios estará definida por la siguiente ecuación

$$\sum a_o = R_o * A_L$$

$$\sum a_o = 0,002 * 2.16m^2 = 0,0043m^2$$

Donde

$A_l =$  área del lecho de filtrado

**Área del orificio:** se elige un diámetro de los orificios de  $\frac{3}{4}$  (19,05 mm) a fin de evitar mayores pérdidas en el lecho filtrante, el área de los orificios estará en función de la ecuación:

$$a_o = \frac{\pi * (D_o)^2}{4}$$

Donde

$D_o =$  diámetro de orificios

$$a_o = \frac{\pi * (0,0191m)^2}{4} = 0,000285m^2$$

**Numero de orificios:** se contemplará de acuerdo con la siguiente ecuación

$$\text{Numero de orificios} = \frac{\sum a_o}{a_o}$$

$$\text{Numero de orificios} = \frac{0,0043m^2}{0,000285m^2} = 16$$

Por efectos de diseño y simetría del sistema recolector se proyecta a 18

$$\text{Numero de orificios por lateral} = \frac{No}{NI}$$

$$\text{Numero de orificios por lateral} = \frac{18}{6} = 3$$

Para cada drenaje lateral se requerirá de tres orificios con un diámetro de ¾ de pulgada.

Luego se realiza la comprobación de  $R_o$  con los 18 orificios y cumpla con los criterios de diseño:

$$R_o = \frac{No * Ao}{Af}$$

$$R_o = \frac{18 * 0,000285}{2.16} = 0,0024$$

La comprobación de  $R_o$  dio cercana al valor escogido inicialmente (0,002) lo que demuestra que el dato del nmero de orificios por lateral es correcto (3)

- **Dimensionamiento de laterales:** se tendrá como referencia los valores de  $R_1$  en la tabla 19 donde se selecciona un valor de 0.4

$$R_1 = 0,4 = \frac{\sum a_o}{A_L}$$

Como se determinó un número de 3 orificios por lateral se puede decir que:

$$A_L = \frac{3 * (0,000285)}{0,4} = 0,00214m^2$$

Para hallar el diámetro del lateral se parte de la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{4 * A_l}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,00214m^2}{\pi}} = 0,05217m = 2,05pulg. (2'')$$

Se realiza la comprobación de R<sub>1</sub>

$$R_1 = \frac{\sum a_o}{A_l}$$

$$R_1 = \frac{3 * 0,000285m^2}{0,0021m^2} = 0,40$$

La comprobación de R<sub>1</sub> arrojo el mismo valor seleccionado al inicio, demostrando que el diámetro obtenido 2'' es correcto.

### **Longitud del lateral recolector**

La longitud del lateral (L<sub>l</sub>) estará definida por el ancho de la cámara de filtración menos el espacio libre de las paredes al lateral (0,2 m)

$$L_l = A_{cf} - EL_b$$

$$L_l = 0,7 \text{ m} - 0,2 \text{ m} = 0,5 \text{ m}$$

### Espacio entre orificios del lateral

El espacio entre orificios del lateral ( $E_o$ ) estará definido por el número de orificios por lateral ( $N_o$ ) y la longitud del lateral. ( $L_l$ )

$$E_o = \frac{L_l}{N_o}$$

$$E_o = \frac{0,5m}{3} = 0,16m$$

**Dimensionamiento de la tubería principal:** se tendrá como referencia los valores de  $R_2$  en la tabla 19 donde se selecciona un valor de 0.4

$$R_1 = 0,4 = \frac{\sum A_l}{A_p}$$

Teniendo como base que se tomó un número de laterales de seis (6), se procede a calcular el área de la tubería principal:

$$A_p = \frac{6 * 0,00214}{0.4} = 0.0304m^2$$

Luego para el diámetro tenemos que:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.0304m^2}{\pi}} = 0.1967m = 7,746\text{pulg.}$$

Se redondea por exceso a 8 pulgadas.

Se realiza la comprobación de  $R_2$ :

$$R_2 = \frac{6 * 0,00214}{0.0304\text{m}^2} = 0,4$$

La comprobación de R2 arrojo el mismo valor seleccionado al inicio, demostrando que el diámetro obtenido 8" es correcto

Para la longitud de la tubería principal tiene = 3.3m – 0,1m = 3.2 m

### ***Perdidas de carga***

Teniendo como base que las pérdidas en la unidad se calculan por medio de la expresión (tomada de la Memoria Técnica Samaria 2007) y los datos obtenidos procedemos a plantear las pérdidas de la unidad de la siguiente manera:

$$H_f = h_e + h_p + h_l + h_{lp} + h_g$$

Donde:

H<sub>f</sub>: pérdidas totales (m).

H<sub>e</sub>: pérdidas por entrada al orificio del conducto (m).

H<sub>p</sub>: pérdidas en el conducto principal (m).

H<sub>l</sub>: pérdidas en el conducto lateral (m).

H<sub>lp</sub>: Pérdidas por paso de conducto lateral a principal (m).

h<sub>g</sub>: pérdidas en el medio filtrante (m).

**Perdidas de entrada a los orificios (H<sub>e</sub>):** está definida por la ecuación

$$h_e = 1,5 \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde:

$h_e$  = pérdida por entrada (m)

$V$  = velocidad de flujo en el orificio (m/s)

$g$  = gravedad ( $9,81\text{m/s}^2$ )

$$V = \frac{Q \text{ m}^3/\text{s}}{A_o * N_o}$$

$$V = \frac{0.0024\text{m}^3/\text{s}}{0.000285\text{m}^2 * 18} = 0.469\text{m/s}$$

$$h_e = 1.5 \frac{0.469\text{m}^2/\text{s}^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2} = 0.0168\text{m} \text{ pérdidas orificios}$$

**Perdidas en el lavado:** tomando una velocidad en el lavado de 20 m/h sugerida por: Galvis G.,

La Torre J. (1999)

$$\frac{20\text{m}}{\text{h}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{s}} = 0.0056\text{m/s}$$

*Caudal de lavado:*

$$Q_{\text{lavado}} = V * A_f$$

$$Q_{\text{lavado}} = 0.0056\text{m/s} * 2.15\text{m}^2 = 0.012\text{m}^3/\text{s}$$

$$\text{Velocidad entrada orificios} = \frac{0.012\text{m}^3/\text{s}}{0.000285\text{m}^2 * 18} = 2.34\text{m/s}$$

Donde la pérdida por entrada en el lavado quedaría:

$$h_e = 1.5 \frac{(2.34\text{m/s})^2}{2 * 9.81\text{m/s}^2} = 0.42\text{m}$$

**Las pérdidas en los laterales (H<sub>L</sub>),** es posible calcularlas mediante la siguiente expresión

$$h_L = J * L$$

Donde:

L: es la longitud del lateral (m)

J: Pendiente- perdida de carga por unidad de longitud de conducto (m/m)

Siendo J obtenida a partir de la ecuación de Hazen-williams-perdidas de carga:

$$Q = 0,2785 \times C \times D^{2,63} \times J^{0,54}$$

Donde

Q = Caudal ó flujo volumétrico en [m<sup>3</sup>/s].

D = Diámetro interior de la tubería de cada lateral en [m].

J= Pendiente - Pérdida de carga por unidad de longitud del conducto [m/m].

C= Coeficiente de rugosidad del material

*Tabla 19.* Valores de Coeficiente de rugosidad por material

<b>VALORES DE C</b>	
<b>C</b>	<b>MATERIAL</b>
135 a 150	Fundición Nodular
152	Acero
150	Hormigón Pretensado
140 a 155	Fibrocemento
150	Plástico o Fibra de vidrio
148	Fundición Laminar
150	PVC y PE

*Fuente: Sánchez 1968*

Para determinar el caudal por lateral se dividió el caudal máximo diario por filtro (1,2 L/s) entre el número de laterales para el filtro:

$$Q = \frac{1.2l/s}{6} = 0.2 \frac{L}{s} = 0,0002 \frac{m^3}{s}$$

Despejando la ecuación de Hazen-williams para obtener J, se tendría:

$$J = \left( \frac{Q}{0.2785 * 150 * D^{2,63}} \right)^{1/0,54}$$

$$J = \left( \frac{0.0002}{0.2785 * 150 * 0.05082^{2,63}} \right)^{1/0,54} = 0.0225m/m$$

$$h_L = 0.0225 * 0.5 = 0,011m$$

Para las pérdidas en laterales en el lavado tenemos:

$$Q_{lavado} = \frac{0,012m^3/s}{6} = 0,002m^3/s$$

Caudal de lavado hallado anteriormente y distribuido entre los 6 laterales

$$J = \left( \frac{0,002}{0,2785 * 150 * 0,05082^{2,63}} \right)^{1/0,54} = 0.225m/m$$

$$h_l = 0,225 * 0,5 = 0,112m$$

### **Pérdidas en el conducto principal (Hp)**

Habiendo determinado que el conducto principal será de 3,1 mts y un diámetro de 8" (0,1967 m)

Se tiene en las pérdidas del conducto principal:

$$J = \left( \frac{0,0002}{0,2785 * 150 * 0,1971^{2,63}} \right)^{1/0,54} = 0.0006 \text{ m/m}$$

$$h_p = 0,0006 * 3,50 = 0,002m$$

Las pérdidas en el conducto principal para el momento del lavado seria:

$$J = \left( \frac{0,012}{0,2785 * 150 * 0.1967^{2,63}} \right)^{1/0,54} = 0,0384m/m$$

$$h_p = 0,0384 * 3,50 = 0,1185m$$

### **Pérdidas por paso del conducto lateral al principal (Hlp)**

Determinada mediante la expresión:

$$hlp = 1,5 \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde:

V= velocidad de flujo en el orificio (m/s)

g=gravedad (9,81m/s<sup>2</sup>)

determinando la velocidad del fluido mediante el diámetro de la tubería lateral y el caudal que fluye por el mismo, calculados anteriormente

$$V = \frac{Q_{lateral}}{PI * d^2}$$

$$V = \frac{0.0002}{PI * 0,25 * 0.0508^2} = 0.0989m/s$$

Remplazando V en la ecuación de perdidas tenemos:

$$h_{lp} = 1,5 \times \frac{0,0989^2}{2 \times 9,81 m^2} = 0,0007m$$

en el momento del lavado se tiene:

teniendo claro que el caudal de lavado hallado previamente es:  $0,002m^3/s$

$$V = \frac{0,002}{3,1416 * (0,0508)^2} = 0,988m/s$$

$$h_{lp} = 1,5 \frac{0,988^2}{2 * 9,81} = 0,0748m$$

#### - **Perdidas en el medio filtrante (Hg)**

Las pérdidas se determinan con la siguiente ecuación

$$h_g = \frac{0,0608 * V * l_o}{d^2}$$

Donde:

V= velocidad de filtración (cm/s)

$l_o$ = Espesor de la capa (cm)

d = diámetro de la grava (cm)

sabiendo que la velocidad de filtración seleccionada para el diseño del FGD<sub>i</sub> es de 2m/h, se

tiene:

$$\text{Velocidad de filtración} = 2 \frac{m}{h} \times \frac{100 \text{ cm}}{3600 \text{ Seg}} = 0,0556 \frac{cm}{s}$$

Teniendo clara la estructura y composición del lecho filtrante y el lecho de soporte recomendado por Galvis G., Latorre J. (1999) y especificado en las tablas 21 y 22, se calculan las pérdidas en el medio filtrante remplazando en la ecuación  $h_g$  los valores para cada capa que compone el filtro, teniendo las siguientes pérdidas:

Tabla 20. Pérdidas de carga en el lecho filtrante y de soporte en el proceso de filtrado

<b>Pérdidas en el lecho</b>				
Velocidad lateral diseño	0,0556		cm/s	
<b>Capa</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Tamaño de Grava (mm)</b>	<b>Diámetro de partícula (cm)</b>	<b>hg operación (cm)</b>
<b>Superior</b>	0,20	3.0-6.0	0,45	0,003336
<b>Intermedia</b>	0,20	6.0-13.0	0,95	0,000749
<b>Inferior</b>	0,20	13.0-25.0	1,90	0,000187
<b>Soporte superior: Arena Gruesa</b>	0,05	1-2	0,15	0,007506
<b>Soporte segundo: Grava Fina</b>	0,05	2-5	0,35	0,001379
<b>Soporte Tercera: Grava</b>	0,05	5-10	0,75	0,000300
<b>Soporte inferior: Grava Gruesa</b>	0,15	10-25	1,75	0,000165
<b>Total</b>	0,90			<b>0,013622</b>

Fuente: Autores.

Las pérdidas totales en el proceso de filtrado es 0,0136 cm = 0,000136 m

Para las pérdidas en el lecho filtrante en el momento del lavado se estableció previamente que la velocidad de lavado sería 20 m/h. se tiene entonces que:

$$\text{Velocidad de lavado} = 20 \frac{\text{m}}{\text{h}} \times \frac{100 \text{ cm}}{3600 \text{ Seg}} = 0,556 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Las pérdidas en el momento de lavado para el lecho filtrante de acuerdo con la ecuación  $h_g$  sería:

Tabla 21. Pérdidas de carga en el lecho filtrante y de soporte en el proceso de lavado

Pérdidas en el lecho				
Velocidad lateral lavado	0,556		cm/s	
Capa	Espesor (m)	Tamaño de Grava (mm)	Diámetro de partícula (cm)	hg operación (cm)
<b>Superior</b>	0,20	3.0-6.0	0,45	0,033361
<b>Intermedia</b>	0,20	6.0-13.0	0,95	0,007485
<b>Inferior</b>	0,20	13.0-25.0	1,90	0,001871
<b>Soporte superior: Arena Gruesa</b>	0,05	1-2	0,15	0,075062
<b>Soporte segundo: Grava Fina</b>	0,05	2-5	0,35	0,013787
<b>Soporte Tercera: Grava</b>	0,05	5-10	0,75	0,003002
<b>Soporte inferior: Grava Gruesa</b>	0,15	10-25	1,75	0,001654
<b>Total</b>	0,90			<b>0,136223</b>

Fuente: Autores.

Las pérdidas totales en el proceso de lavado es 0,1362 cm = 0,001362 m

### Perdida de cargas Totales

Habiendo hallado todas las pérdidas tanto en el proceso de filtrado como de lavado, se tiene que la sumatoria y totalidad de las pérdidas son:

$$H_f = h_e + h_l + h_p + h_{lp} + h_g$$

Las Pérdidas de carga totales en el proceso de filtrado serian:

$$H_f = 0,0168m + 0,011m + 0,002m + 0,0007m + 0,000136m$$

$$\mathbf{H_f = 0,0309m}$$

Las Pérdidas de carga totales en el proceso de lavado serian:

$$H_f = 0,42m + 0,112m + 0,1185m + 0,0748m + 0,001352m$$

$$H_f = 0,7271\text{m}$$

### Diseño del filtro lento de arena (FLA)

#### *Dimensionamiento*

- **Numero de filtros:** Según la RAS 2000 titulo C se deben considerar como mínimo dos unidades de filtración para casos de mantenimiento o falla de alguno de los filtros.

Se proyectan dos unidades cada una con un

$$Q_D = \frac{1,205L}{s} * \frac{3600s}{1h} * \frac{1m^3}{1000L} = 4,33 \frac{m^3}{h}$$

- **Velocidad de filtración:** la velocidad de filtración recomendada por la RAS 2000 titulo C es de 0,15 m/h
- **Área de filtración:** Con lo cual para el área de filtración se tiene un Af para cada unidad de filtro

$$A_f = \frac{Q}{V} = \frac{4,33 \text{ m}^3/h}{0,15 \text{ m/h}} = 29,86 \text{ m}^2$$

Donde

Q = caudal máximo diario en m<sup>3</sup>/h

V= velocidad de filtración m/h

### Cámara de filtración

Para determinar las dimensiones de largo y ancho de cada unidad de filtrado se hace necesario determinar el coeficiente mínimo de costo (K), que estará definido por la siguiente expresión.

$$K = \frac{2x N}{N + 1}$$

Donde

N: es el número de unidades de filtrado

$$K = \frac{2x 2}{2 + 1} = \frac{4}{3} = 1,33$$

La Longitud (L) de la unidad de filtrado se definirá a partir de la expresión

$$L = (Af \times K)^{1/2}$$

$$L = (29,85 \text{ m}^2 \times 1,33)^{1/2}$$

$$L = 6,52 \text{ mts Aprx.} = 7 \text{ mts}$$

EL ancho (B) de la unidad de filtrado se definirá a partir de la expresión

$$B = \left(\frac{Af}{K}\right)^{1/2}$$

$$B = \left(\frac{29,85 \text{ m}^2}{1,33}\right)^{1/2}$$

$$B = 4,26 \text{ mts Aprx.} = 4,3 \text{ mts}$$

Para la profundidad o pared de cada unidad de filtración se consideraron los criterios expuestos en el documento Galvis G., La Torre J. (1999) donde se establece que la cámara de filtrado se compondrá por un lecho filtrante de arena de 0,80 mts y un lecho de soporte de no mayor a 0,3m de espesor y un borde libre de 0.2 m. para un total de 1,3 mts de altura.

El medio filtrante debe estar compuesto por granos de arena duros y redondeados, libres de arcilla y materia orgánica. La arena no debe contener más de 2% de carbonato de calcio y magnesio.

Tabla 22. Especificaciones lecho filtrante de arena

	<b>Componente</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valor</b>
	Espesor de Lecho	Mts	0,80
	Coefficiente de Uniformidad	-	3,00
Arena	Diámetro Efectivo D <sub>10</sub>	Mm	0,15 – 0,35
	Porosidad	%	0,40
	Coefficiente de Esfericidad	-	0,80
	<hr/>		
Lecho de Soporte	Arena Gruesa: D 1,0 – 1,4 mm	Mts	0,05
	Grava: D 2,0 – 9,0 mm	Mts	0,05
	Grava: D 9,0 – 19,0 mm	Mts	0,20

*Fuente: Galvis G., La Torre J. (1999)*

- **Diseño del sistema de drenaje múltiple recolector:**

El sistema múltiple recolector se definirá por un drenaje en espina de pescado compuesto por una tubería principal que recibe el fluido por unas tuberías secundarias laterales perforadas, esto con el objetivo de drenar de una forma homogénea la totalidad del agua filtrada, de acuerdo con los parámetros establecidos en el documento de Galvis G., La Torre J. (1999), será necesario un espacio libre entre tuberías laterales y el borde de las paredes de la cámara de filtrado de 0,2m y un espacio entre laterales de 0,6 m.

- **Numero de laterales recolectores:** estará definida por la ecuación:

$$Nl = \frac{L - Elb}{El}$$

Donde=

Nl= número de laterales recolectores

L= longitud de la cámara de filtrado

Elb= espacio libre al borde

El=espacio entre laterales

$$Nl = \frac{7,0m - 0,2m}{0,6m}$$

$$Nl = 11,33 \pm 11$$

### Diseño de orificios en laterales recolectores:

Al igual que en el diseño del FGD<sub>i</sub> se tendrán en cuenta los valores establecidos en el documento de Galvis G., La Torre J. (1999), expuesto anteriormente en la tabla 19 de parámetros para diseño de orificios laterales recolectores.

Donde se adopta un  $R_o = 0,0015$

La sumatoria de áreas de los orificios estará definida por la siguiente ecuación

$$\sum a_o = R_o * A_L$$

$$\sum a_o = 0,0015 * 29,86^2 = 0,0448m^2$$

Donde

$A_L$  = área del lecho de filtrado

**Área del orificio:** se elige un diámetro de los orificios de 5/8 (15,88 mm), el área de los orificios estará en función de la ecuación:

$$a_o = \frac{\pi * (D_o)^2}{4}$$

Donde

$D_o$  = diámetro de orificios

$$a_o = \frac{\pi * (0,0158\text{m})^2}{4} = 0,000198\text{m}^2$$

**Numero de orificios:** se contemplará de acuerdo con la siguiente ecuación

$$\text{Numero de orificios} = \frac{\sum a_o}{a_o}$$

$$\text{Numero de orificios} = \frac{0,0448\text{m}^2}{0,000198\text{m}^2} = 226,2 \text{ Aprox. } 226$$

Para determinar el número de orificios por lateral se contemplará el número de orificios calculados y el número de laterales calculado

$$\text{Numero de orificios por lateral (NoI)} = \frac{No}{NI}$$

$$\text{Numero de orificios por lateral} = \frac{226}{11} = 20,54 \text{ Aprox. } 21$$

Luego se realiza la comprobación de  $R_o$  con los 21 orificios y cumpla con los criterios de diseño:

$$R_o = \frac{No * A_o}{Af}$$

$$R_o = \frac{21 * 0,000198}{29.85} = 0,00146$$

La comprobación de  $R_o$  dio cercana al valor escogido inicialmente (0,0015) lo que demuestra que el dato del nmero de orificios por lateral es correcto (21)

### Longitud del lateral recolector

La longitud del lateral ( $L_l$ ) estará definida por el ancho de la cámara de filtración menos el espacio libre de las paredes al lateral (0,2 m)

$$L_l = A_{cf} - EL_b$$

$$L_l = 4,3 \text{ m} - 0,2 \text{ m} = 4,1 \text{ m}$$

El espacio entre orificios del lateral se definirá mediante la expresión

$$\text{Espacio entre } orificios = \frac{L_l}{N_{ol}}$$

$$\text{Espacio entre } orificios = \frac{4,1 \text{ m}}{21} = 0,195 \text{ m}$$

**Dimensionamiento de laterales:** se tendrá como referencia los valores de  $R_1$  en la tabla 19 donde se selecciona un valor de 0.4

$$R_1 = 0,4 = \frac{\sum a_o}{A_L}$$

Como se determinó un número de 21 orificios por lateral se puede decir que:

$$A_L = \frac{21 * (0,000198m^2)}{0,4} = 0,01039m^2$$

Para hallar el diámetro del lateral se parte de la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{4 * A_l}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0,01339m^2}{\pi}} = 0,11503m = 4,59'' = 6''$$

Por valores comerciales de venta de tubería en PVC se aproxima a un lateral de 6'' = 0,1524 m

### **Área del lateral Ajustada:**

Debido a que se proyectó el diámetro de la tubería a 6'' es necesario ajustar el área del lateral.

$$A_L = \pi * 0,25 * D^2$$

$$A_L = \pi * 0,25 * 0,1524^2 = 0,018m^2$$

### **Dimensionamiento de la tubería principal:**

Para el dimensionamiento de la tubería del recolector principal en el documento de *Galvis G., La Torre J. (1999)* se sugiere un diámetro de 8'' (0,2032m) la longitud de la tubería principal será la totalidad de la longitud de la cámara de filtración menos 0,10 mts de distancia a una de las paredes transversales del filtro (6,9mts).

### ***Perdidas de carga***

Teniendo como base que las pérdidas en la unidad se calculan por medio de la expresión (tomada de la Memoria Técnica Samaria 2007) y los datos obtenidos procedemos a plantear las pérdidas de la unidad de la siguiente manera:

$$H_f = h_e + h_p + h_l + h_{lp} + h_g$$

Donde:

H<sub>f</sub>: pérdidas totales (m).

H<sub>e</sub>: pérdidas por entrada al orificio del conducto (m).

Hp: pérdidas en el conducto principal (m).

Hl: pérdidas en el conducto lateral (m).

Hlp: Pérdidas por paso de conducto lateral a principal (m).

hg: pérdidas en el medio filtrante (m).

### Numero de orificios ajustado

$$No = Ol * Nl$$

$$No = 21 * 11 = 231$$

Donde:

Ol: Orificios por lateral

NL: Numero de laterales

- **Pérdidas de entrada a los orificios (He):** está definida por la ecuación

$$h_e = 1,5 \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde:

h<sub>e</sub>= pérdida por entrada (m)

V= velocidad de flujo en el orificio (m/s)

g=gravedad (9,81m/s<sup>2</sup>)

$$V = \frac{Q \text{ m}^3/\text{s}}{A_o * N_o}$$

$$V = \frac{0.0024 \text{ m}^3/\text{s}}{0.000198 \text{ m}^2 * 231} = 0.053 \text{ m/s}$$

$$h_e = 1.5 \frac{(0,053 \frac{m}{s})^2}{2 * 9.81 m/s^2} = 0,0002 m$$

Perdidas en el lavado: tomando una velocidad en el lavado de 20 m/h sugerida por: Galvis G., La Torre J. (1999)

$$\frac{20m}{h} * \frac{1h}{3600s} = 0.0056m/s$$

*Caudal de lavado:*

$$Q_{lavado} = V * Af$$

$$Q_{lavado} = 0.0056m/s * 29,86m^2 = 0.1659m^3/s$$

$$Velocidad\ entrada\ orificios = \frac{0.1659m^3}{\frac{s}{0.000198m^2 * 231}} = 3,62m/s$$

Donde la pérdida por entrada en el lavado quedaría:

$$h_e = 1.5 \frac{(3,62m/s)^2}{2 * 9.81m/s^2} = 1,0061m$$

**Las pérdidas en los laterales (H<sub>L</sub>)**, es posible calcularlas mediante la siguiente expresión

$$h_L = J * L$$

Donde:

L: es la longitud del lateral (m)

J: Pendiente- perdida de carga por unidad de longitud de conducto (m/m)

Siendo J obtenida a partir de la ecuación de Hazen-williams-perdidas de carga:

$$Q = 0,2785 \times C \times D^{2,63} \times J^{0,54}$$

Donde

Q = Caudal ó flujo volumétrico en [m<sup>3</sup>/s].

D = Diámetro interior de la tubería de cada lateral en [m].

J= Pendiente - Pérdida de carga por unidad de longitud del conducto [m/m].

C= Coeficiente de rugosidad del material (150 para PVC)

Para determinar el caudal por lateral se dividió el caudal máximo diario por filtro (1,2 L/s) entre el número de laterales para el filtro:

$$Q = \frac{1,2l/s}{11} = 0,1093 \frac{L}{s} = 0,000109 \frac{m^3}{s}$$

Despejando la ecuación de Hazen-williams para obtener J, se tendría:

$$J = \left( \frac{Q}{0,2785 * 150 * D^{2,63}} \right)^{1/0,54}$$

$$J = \left( \frac{0,000109}{0,2785 * 150 * 0,1524^{2,63}} \right)^{1/0,54} = 0,00068m/m$$

$$h_L = 0.00068 * 4,1 = \mathbf{0,0028m}$$

Para las pérdidas en laterales en el lavado tenemos:

$$Q_{lavado} = \frac{0,1659m^3/s}{11} = 0,015m^3/s$$

Caudal de lavado hallado anteriormente y distribuido entre los 6 laterales

$$J = \left( \frac{0,015}{0,2785 * 150 * 0,1524^{2,63}} \right)^{1/0,54} = 0.094m/m$$

$$h_l = 0,094 * 4,1 = \mathbf{0,385m}$$

- **Pérdidas en el conducto principal (Hp)**

Habiendo determinado que el conducto principal será de 6,9 mts y un diámetro de 8"

(0,2032m)

Se tiene en las pérdidas del conducto principal:

$$J = \left( \frac{0,000109}{0,2785 * 150 * 0,2032^{2,63}} \right)^{1/0,54} = 0.00032 m/m$$

$$h_p = 0,00032 * 6,9 = \mathbf{0,0022m}$$

Las pérdidas en el conducto principal para el momento del lavado seria:

$$J = \left( \frac{0,1659}{0,2785 * 150 * 0.2032^{2,63}} \right)^{1/0,54} = 0,4860m/m$$

$$h_p = 0,4860 * 6,9 = 3,31m$$

- **Pérdidas por paso del conducto lateral al principal (Hlp)**

Determinada mediante la expresión:

$$hlp = 1,5 \frac{V^2}{2 * g}$$

Donde:

V= velocidad de flujo en el orificio (m/s)

g=gravedad (9,81m/s<sup>2</sup>)

determinando la velocidad del fluido mediante el diámetro de la tubería lateral y el caudal que fluye por el mismo, calculados anteriormente

$$V = \frac{Q_{lateral}}{PI * d^2}$$

$$V = \frac{0.0001093}{PI * 0,25 * 0.1524^2} = 0.0060m/s$$

Remplazando V en la ecuación de perdidas tenemos:

$$hlp = 1,5 * \frac{0.0060^2}{2 * 9.81m^2} = 0,000027m$$

en el momento del lavado se tiene:

teniendo claro que el caudal de lavado hallado previamente es: 0,015m<sup>3</sup>/s

$$V = \frac{0,015}{3.1416 * 0,25 * (0.1524)^2} = 0,826m/s$$

$$h_{lp} = 1,5 \frac{0,826^2}{2 * 9,81} = 0,052m$$

### Perdidas en el medio filtrante (Hg)

Las pérdidas se determinan con la siguiente ecuación

$$h_g = \frac{0,0608 * V * l_o}{d^2}$$

Donde:

$V$  = velocidad de filtración (cm/s)

$l_o$  = Espesor de la capa (cm)

$d$  = diámetro de la grava- arena (cm)

Sabiendo que la velocidad de filtración seleccionada para el diseño del FGD<sub>i</sub> es de 0,15m/h, se tiene:

$$\text{Velocidad de filtración} = 0,15 \frac{m}{h} \times \frac{100 \text{ cm}}{3600 \text{ Seg}} = 0,0040 \frac{cm}{s}$$

Teniendo clara la estructura y composición del lecho filtrante y el lecho de soporte recomendado por Galvis G., La Torre J. (1999) para los filtros lentos de arena, se calculan las pérdidas en el medio filtrante remplazando en la ecuación  $h_g$  los valores para cada capa que compone el filtro, teniendo las siguientes pérdidas:

Tabla 23. Pérdidas de carga en el lecho filtrante y de soporte en el proceso de filtrado- FLA

<b>Pérdidas en el lecho</b>				
Velocidad lateral diseño	0,0040			cm/s
<b>Capa</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Tamaño de Grava (mm)</b>	<b>Diámetro de partícula (cm)</b>	<b>hg operación (cm)</b>
<b>Arena</b>	0,80		0,03	0,313458
<b>Arena Gruesa</b>	0,05	1-1.4	0,12	0,000850
<b>Grava delgada</b>	0,05	2-9	0,55	0,000040
<b>Grava gruesa</b>	0,20	9-19	1,40	0,000025
<b>Total</b>	1,10			<b>0,314374</b>

*Fuente: Autores.*

Las pérdidas totales en el proceso de filtrado es 0,314 cm = **0,0031 m**

Para las pérdidas en el lecho filtrante en el momento del lavado se estableció previamente que la velocidad de lavado sería 20 m/h. se tiene entonces que:

$$\text{Velocidad de lavado} = 20 \frac{\text{m}}{\text{h}} \times \frac{100 \text{ cm}}{3600 \text{ Seg}} = 0,556 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

Las pérdidas en el momento de lavado para el lecho filtrante de acuerdo con la ecuación  $h_g$  sería:

Tabla 24. Pérdidas de carga en el lecho filtrante y de soporte en el proceso de lavado- FLA

<b>Pérdidas en el lecho</b>				
Velocidad lateral lavado	0,556			cm/s
<b>Capa</b>	<b>Espesor (m)</b>	<b>Tamaño de Grava (mm)</b>	<b>Diámetro de partícula (cm)</b>	<b>hg operación (cm)</b>
<b>Arena</b>	0,80	0.15-0.35	0,03	43,235556
<b>Arena Gruesa</b>	0,05	1-1.4	0,12	0,117284
<b>Grava delgada</b>	0,05	2-9	0,55	0,005583
<b>Grava gruesa</b>	0,20	9-19	1,40	0,003447
<b>Total</b>	1,10			<b>43,361869</b>

*Fuente: Autores*

Las pérdidas totales en el proceso de lavado es 43,36 cm = **0,43 m**

### **Perdida de cargas Totales**

Habiendo hallado todas las pérdidas tanto en el proceso de filtrado como de lavado, se tiene que la sumatoria y totalidad de las pérdidas son:

$$H_f = h_e + h_l + h_p + h_{lp} + h_g$$

Las Pérdidas de carga totales en el proceso de filtrado serian:

$$H_f = 0,0002\text{m} + 0,0028\text{m} + 0,0022\text{m} + 0,000027\text{m} + 0,0031\text{m}$$

$$\mathbf{H_f = 0,0084 m}$$

Las Pérdidas de carga totales en el proceso de filtrado serian:

$$H_f = 1,0061\text{m} + 0,385\text{m} + 3,31\text{m} + 0,0522\text{m} + 0,43\text{m} \quad \mathbf{H_f = 5,23 m}$$

## Desinfección

La desinfección es un proceso importante en la potabilización de agua ya que permite eliminar microorganismos que son peligrosos para el organismo humano y que pueden ocasionar enfermedades, además la desinfección controla el desarrollo de algas microscópicas que ocasionan en el agua turbiedad.

Según el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS – 2000 para la desinfección y el tratamiento de aguas se puede emplear:

- Cloro gaseoso generado a partir de la vaporización de cloro líquido almacenado bajo presión en cilindros.
- Hipoclorito de sodio (líquido).
- Hipoclorito de calcio (sólido en forma granular).

Según la Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento en el manual de la cloración (1984), los hipocloritos son sales del ácido hipocloroso; se comercializan en forma seca o líquida. Su disolución en el agua da lugar a un equilibrio similar al originado por el cloro gas. La principal diferencia es el valor del pH resultante. Las soluciones de hipocloritos contienen un exceso de álcali, lo que tiende a incrementar el pH.

El hipoclorito de sodio es la forma más frecuente de comercialización como producto líquido. Este producto tiene un poder oxidante equivalente al cloro gas, y pueden ser utilizados para los mismos fines en el tratamiento del agua. La elección del producto más conveniente depende de aspectos técnicos y económicos. Los hipocloritos en el campo de la desinfección y para pequeñas instalaciones, proporcionando resultados similares a los obtenidos con el uso del

cloro gas. Aunque no se puede establecer con carácter terminante, la experiencia aconseja utilizar el hipoclorito para los pequeños abastecimientos de hasta 2.000 personas.

Según Barrenechea et al, (2004) el hipoclorito de sodio es de fácil aplicación y bajo costo, tiene un contenido de cloro activo de 10% a 15%, su eficiencia bactericida es idéntica a la del cloro y producen reacciones similares en el agua, el hipoclorito de sodio se emplea en plantas pequeñas, requiere cortos periodos de contacto y es muy efectivo para bacterias y virus; además su estabilidad depende de las condiciones de almacenamiento, en especial, de su contacto con la luz. Por ser una solución, la estabilidad es menor y puede llegar a los tres meses.

Debido a que el agua cruda a tratar de la fuente de captación Quebrada el Tigre posee una concentración de calcio que excede lo permitido por la resolución 2115 de 2007 (26,1 mg Ca/l por encima de lo permitido) se eligió agente desinfectante el Hipoclorito de Sodio al 13% con el fin de evitar incremento en la concentración de Calcio. La solución desinfectante será dosificada mediante una bomba dosificadora electromagnética por pulsos, y su aplicación será a la salida del Filtro lento de arena, en un canal de que tendrá un resalto hidráulico para asegurar una mezcla rápida, posterior a esto el agua llegará a una cámara de contacto, la cual asegurará el tiempo de retención hidráulico necesario para garantizar la efectividad del proceso de desinfección.

### **Dosificación del Hipoclorito de Calcio**

La dosificación de hipoclorito de calcio al 13% se hará en función del caudal medio diario (2,41 L/s) y la dosis media sugerida en el documento de *Galvis G., La Torre J. (1999)* es de 2mg/l, teniendo claro que la densidad del hipoclorito de sodio es de 1,11 g/ml (kg/l). entonces se tiene que:

$$2,41 \frac{L}{s} \times 2 \frac{mg}{l} \times \frac{60seg}{min} \times \frac{1g}{1000mg} \times \frac{1ml}{1,11g} = \mathbf{0,26 ml/min}$$

$$\frac{0,26 ml/min}{0,13} = \mathbf{2,004 \frac{ml}{min}}$$

La bomba dosificadora deberá enviar pulsos dosificando 2,004 ml/min

### **Diseño de la cámara de contacto**

De acuerdo con la resolución 0330 del 2017 en el artículo 121, el tiempo de contacto debe ser mínimo 20 min, siendo este el valor elegido se tiene que el volumen de la cámara será:

$$V. \text{ camara contacto} = \frac{\text{Caudal diseño } \frac{1}{s} * 20 \text{ min} * 60 \text{ seg/min}}{\text{Peso especifico agua } \frac{kg}{m^3}}$$

$$V. \text{ camara contacto} = \frac{2,41 \frac{1}{s} * 20 \text{ min} * 60 \text{ seg/min}}{999,1 \frac{kg}{m^3}}$$

$$V. \text{ camara contacto} = \mathbf{2,9 m^3}$$

Para el dimensionamiento de la cámara de contacto se eligen parámetros sugeridos en la resolución 0330 del 2017, siendo la profundidad de la cámara 1mt y el ancho 1,5mts, el largo de la cámara será definida por la ecuación:

$$\text{Largo de la camara} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Ancho} \times \text{Profundo}}$$

$$\text{Largo de la camara} = \frac{2,9 m^3}{1 \text{ mt} \times 1,5 \text{ mt}}$$

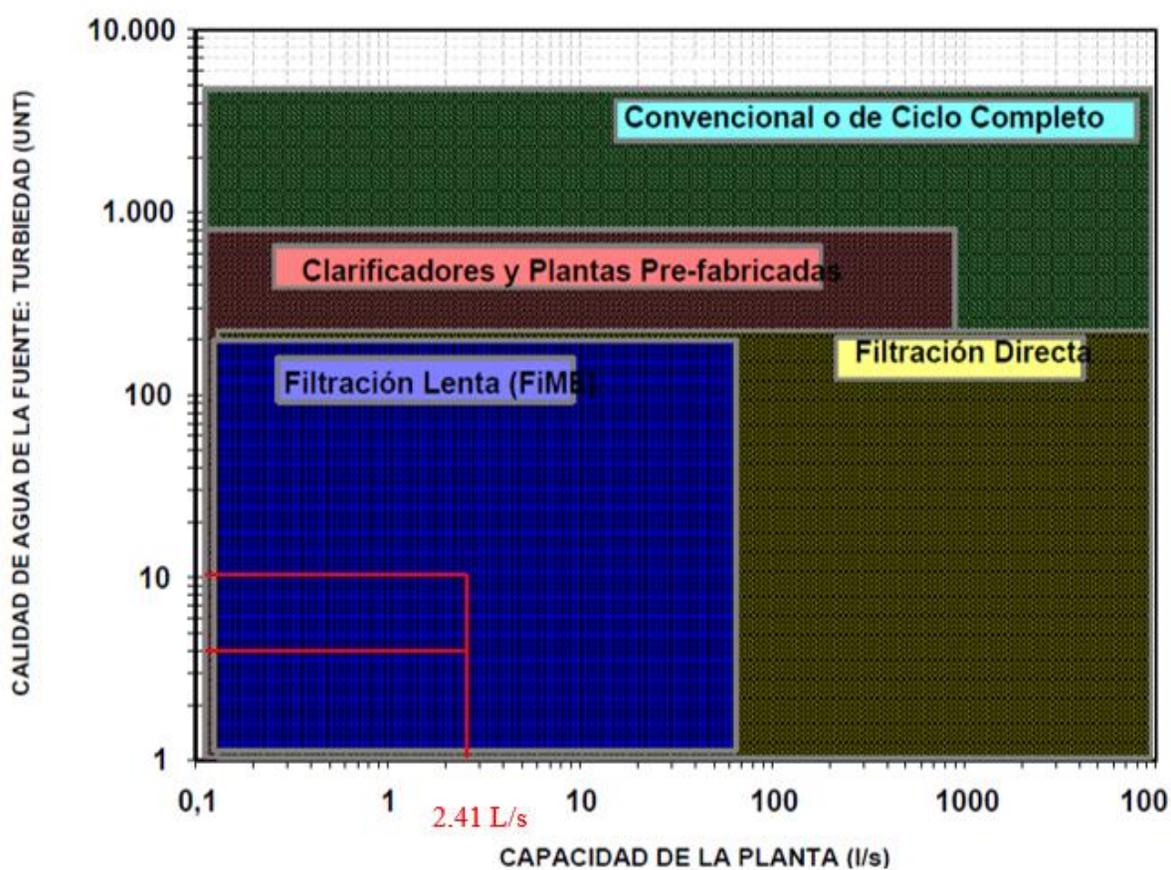
$$\text{Largo de la camara} = \mathbf{1,93 Mts}$$

## Valoración técnica y económica del sistema

### valoración técnica

Un sistema FiME se adecua a las características de capacidad y remoción de turbiedad necesarias para garantizar las condiciones de potabilización en la zona de estudio, como se muestra en la ilustración 12 de acuerdo al criterio establecido por la Universidad Del Valle, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, EIDENAR, Área de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; los requerimientos son un caudal de 2,41 L/s, se espera una turbiedad máxima de 10 UNT, sin embargo, el sistema FiME soporta un caudal máximo de 70 l/s y una turbiedad de 110 UNT.

Ilustración 12. Valoración técnica del sistema FiME



*Fuente: la Universidad Del Valle, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, EIDENAR, Área de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*

Un sistema FiME no requiere energía por lo cual se ajusta mejor a las características de la zona veredal, ya que el predio destinado para la instalación del sistema se encuentra retirado del centro poblado, además las pendientes de la zona permiten la instalación de un sistema por gravedad.

*Tabla 25.* Aspecto para tener en cuenta en la valoración técnica del sistema de filtración en múltiples etapas

<b>Valoración técnica del sistema FiME</b>					
<b>Aspecto</b>		<b>Descripción</b>			
<b>Eficiencia de remoción</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Valores para el agua a tratar</b>	<b>Remoción %</b>		
			<b>FGDI</b>	<b>FLA</b>	
				<b>A</b>	<b>B</b>
	<b>Turbiedad</b>	1,15 UNT	30-50	<1	<1
	<b>Color</b>	30 UPC	10-25	25-30	30-100
	<b>Coliformes</b>	1800 UFC/100ml	50-80	90-99.9	95-100
	<b>Sólidos suspendidos</b>	—	70-80	--	--
	<b>Hierro</b>	0,02 mg/l Fe	40-70	30-90	60
	<b>Magnesio</b>	—	40-70	30-90	60
<i>Fuente: vis Cataño, Latorre Montero, &amp; Visscher, 1999)</i>					
<b>Funcionamiento</b>	Los filtros que componen los sistemas FiME están diseñados para un periodo de funcionamiento de 24 horas, es decir, una producción continua.				
<b>Operación y mantenimiento</b>	La operación del sistema puede ser realizado por personal no especializado, aspecto a tener en cuenta ya que el sistema será operado por el fontanero que destine la asociación.				

---

<b>Confiabilidad</b>	El riesgo por fallas mecánicas es casi nulo y al combinar dos clases de filtros se garantiza la calidad del agua tratada si existe una variación en las condiciones del agua cruda.
<b>Limpieza</b>	La limpieza que se debe llevar a cabo es sencilla no requiere ni personal ni maquinaria especializada.
<b>Requerimiento de área</b>	Al tratarse de filtración lenta requiere cantidades significativas de terreno, sin embargo, se ajusta a los espacios de las zonas rurales
<b>Aplicabilidad</b>	El filtro FiME puede aplicarse a calidades de agua relativamente buenos, no puede tratar agua contaminada con sustancias nocivas, sin embargo, se ajusta a los requerimientos del agua a tratar de la quebrada el Tigre y el salitre
<b>Limitantes</b>	El mantenimiento y lavado del filtro debe ser realizado adecuadamente ya que por lo contrario puede generar taponamientos en el lecho
<b>Presencia de hierro</b>	Si el agua a tratar contiene valores superiores a 1,0mg/L de hierro podrán generar colmatación en el filtro y reducir significativamente la tasa de filtración.

---

*Fuente: Autores*

## Valoración económica

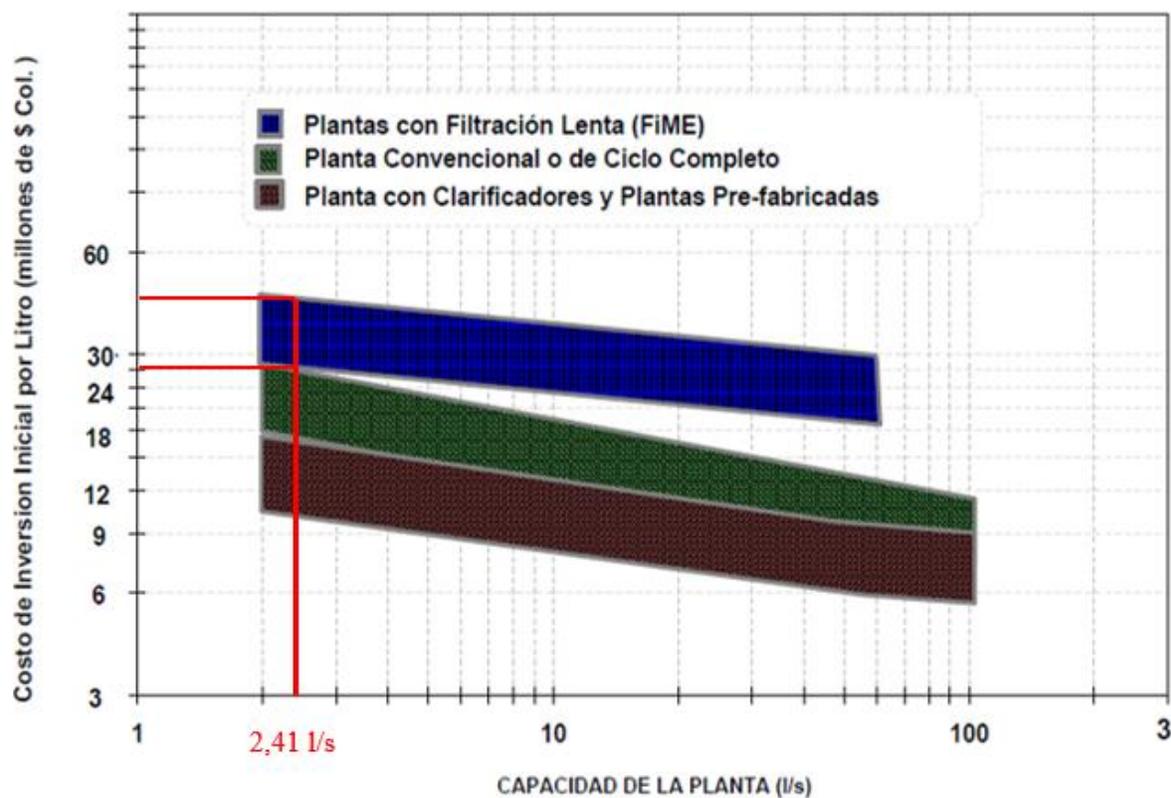
Tabla 26. Aspectos para tener en cuenta en la valoración Económica del sistema de filtración en múltiples etapas

<b>Valoración económica de un sistema FiME</b>	
<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
<b>Costos de operación y mantenimiento</b>	Al ser un sistema tan sencillo no requiere procesos complejos de mantenimiento ni operación, lo cual se verá reflejado en bajos costos.
<b>Costos en personal</b>	Los sistemas FiME no requieren persona especializado por ello el fontanero que actualmente opera el sistema de acueducto puede operarlo, después de recibir una capacitación.
<b>Costos adicionales al sistema</b>	Los sistemas no requieren adición de coagulantes por lo cual no se van a generar gastos adicionales al sistema
<b>Costos en infraestructura</b>	Los materiales con los cuales se construye esta clase de filtros son de fácil acceso, son comunes de una típica construcción como cemento, arena, ladrillos, gravas, tuberías.
<b>Costos en predios</b>	Los sistemas FiME por ser sistemas de filtración lenta requieren mayores cantidades de espacio lo cual se verá reflejado en costos adicionales

*Fuente: Autores*

En la siguiente ilustración se muestra una valoración económica de sistemas diferentes de potabilización, en los cuales se encuentra el sistema FiME realizados por la Universidad Del Valle, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, EIDENAR, Área de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, en la cual se relaciona los caudales de diseño en L/s con los costos aproximados en pesos colombianos por su construcción y puesta en marcha

Ilustración 13. Costos estimados para la construcción y puesta en marcha de un sistema FiME



Fuente: la Universidad Del Valle, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, EIDENAR, Área de Ingeniería Sanitaria y Ambiental

la Universidad Del Valle, Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente, EIDENAR, Área de Ingeniería Sanitaria y Ambiental Basado en la información anterior se estima un costo máximo aproximado de \$45'000.000 y costo mínimo de \$25'000.000, teniendo en cuenta que solo se diseñaron dos sistemas de los tres sistemas FiME, se toma un valor de \$25'000.000 para la construcción y puesta en marcha de un sistema para un caudal de 2,41 l/s.

## Conclusiones

- Los sistemas FiME es una alternativa de potabilización que se ajusta a los requerimientos de las zonas rurales o zonas de baja complejidad, siempre y cuando cuente con calidades aceptables del afluente, bajos caudales y cumplan con las condiciones adecuadas de mantenimiento y operación, además, el filtro FiME se complementa con un proceso de desinfección.
- Mediante la identificación del área de estudio y la caracterización físico- Química y microbiológica de las fuentes de abastecimiento quebrada El Tigre y El Salitre se determinó que un sistema FIME por gravedad constituye la mejor opción de potabilización de agua para la zona veredal, pues las condiciones del terreno, caudal y calidad de agua cruda a tratar son las más favorables para este tipo de sistemas.
- Se concluye que los sistemas FiME sugieren menos costos de operación y mantenimiento, esto derivado de su simplicidad, El sistema no requiere energía Eléctrica lo cual reduce los costos de operación.
- Dado que la calidad del afluente es aceptable esto permite obviar el diseño del filtro grueso ascendente debido a que el sistema FiME puede operar con la eficiencia requerida combinando el filtro grueso dinámico y el filtro lento de arena.
- La eficiencia de un sistema FIME a nivel teórico,, permite que las concentraciones de los parámetros elevados evidenciados en las fuentes de abastecimiento quebrada El tigre y El Salitre, se encuentren dentro de lo establecido por la resolución 2115 de 2007 posterior a su tratamiento, además de garantizar el suministro de agua potable inocua a la comunidad.

- Debido a que no se contaban con datos de censos anteriores específicos en la zona veredal para realizar la proyección de la zona, se utilizó el método lineal o aritmético para la proyección de la población de toda la zona rural del municipio, con el cual se determinó la tasa de crecimiento, este comportamiento se asimiló para el crecimiento específico de la zona veredal del área de estudio.
- El sistema de filtración por múltiples etapas FIME permite retener gran parte del material orgánico y sólidos suspendidos en el agua cruda a tratar, por lo cual queda descartada la posibilidad de formación de trihalometanos THM y cloraminas como efecto secundario del proceso de desinfección con hipoclorito de sodio.

### **Recomendaciones**

- Es necesario realizar mantenimiento a los filtros gruesos dinámicos cuando el lecho filtrante se colmata de partículas y genera que el flujo se rebose y se pierda.
- Se recomienda instalar una estructura para el control de ingreso de aguas lluvias como un techo, para evitar el aumento del caudal en tiempo de lluvia debido a que el sistema fue diseñado bajo parámetros ya establecidos de caudal y un aumento significaría un desequilibrio en la tasa de filtración y la calidad de agua tratada.

### **Referencias y bibliografías**

- Arboleda, J.(Ed). (2000). *Teoría y Práctica de la Purificación del Agua*. Bogotá D.C,Colombia: Editorial NOMOS S.A.
- Asociación de usuarios del servicio de acueducto de las veredas Las Mercedes, San Agustin, San Pablo, Parte Alta de San Jose y Baquero del municipio de Nocaima, NIT: 832.010.951-0”
- DANE: Cobertura Urbana - Rural. Acueducto por departamento 2010 – 2017.
- Decreto 1575 del 2007.Ministerio De La Protección Social
- Departamento Nacional de Planeación, (2014), Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural (conpes 3810 de 2014)

- Fandiño J & Camargo C. 2013. *Evaluación y Optimización de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Purificación en el departamento de Tolima*. Universidad Católica de Colombia Facultad de Ingenierías Programa de Ingeniería Civil.
- González.C.(2011). *Monitoreo de la calidad del agua. La turbidez en el agua*. Servicio de Extensión Agrícola.
- Hernandez.S.(2009). *Pre-diseño hidráulico de la vereda de santa lucia cabrera Cundinamarca*. Universidad de la Salle programa de ingeniería civil Bogotá D.C.
- IDEAM. (2007). *Turbiedad por nefelometría (METODO B)*. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia.
- Informe de Rendición de Cuentas. Vigencia 2017 y presentación realizada al equipo de trabajo por parte del MVCT. 7 de mayo de 2018. Bogotá, D.C
- Martinez N (2017). *Findeter: Informe sectorial: Agua potable y Saneamiento básico*. Agosto 2017
- Ministerio de la protección social, ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, resolución 2115 del 2007.Ministerio de salud y protección social, Resolución 0330 del 2017
- Ministerio De Vivienda, Ciudad Y Territorio, Plan director agua y saneamiento básico visión estratégica 2018 – 2030
- Neira.M.(2006). *Dureza En Aguas De Consumo Humano Y Uso Industrial, Impactos Y Medidas De Mitigación*. Estudio De Caso: Chile. Universidad De Chile Facultad De Ciencias Físicas Y Matemáticas Departamento De Ingeniería Civil. Santiago De Chile.
- Ordóñez et al., (2017). *La filtración gruesa, aplicada al tratamiento de aguas superficiales*. Universidad de Cuenca. Escuela de Ingeniería Civil. Cuenca-Ecuador.

- Pérez.J.(1997). *Manual de potabilización de aguas. Universidad nacional - facultad de minas. tratamiento de aguas.*
- Pfammatter.R.(1992). *Experiencia Colombiana con el Filtro Grueso Dinámico, su Operación y Mantenimiento.* Centro inter-regional de abastecimiento y remoción de agua. Cali-Colombia.
- Plan de ordenamiento territorial, Nocaima Cundinamarca, sector social
- República de Colombia Ministerio de Desarrollo Económico Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico (2000)
- Resolución 082 del 2009 Ministerio De La Protección Social
- Resolución 4716 de 2010, Ministerio De La Protección Social Ministerio De Ambiente, Vivienda Y Desarrollo Territorial
- Resolución 493 de 2010, Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
- Romero Rojas, Jairo Alberto. *Purificación del agua*, ED. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá 2002. p. 195 – 209
- Ruiz,C. (2017). Contraloría general de la república: Gestión y resultados del sector de agua potable y saneamiento básico con énfasis en los recursos del sistema general de participaciones 1994-2017, Dirección de Estudios Sectoriales
- *Teoría y diseño de plantas de tratamiento de agua potable*, Editor Departamento de Publicaciones de la Universidad Católica de Chile, 1963. Universidad de Texas 26 febrero 2008.
- Theoduloz, G. A. (2011). Procesos de Tratamiento de Agua Potable.

- Vega.H.(2013). *Evaluación Del Sistema De Filtración En Múltiples Etapas Fime En Tanques Plásticos Con Pre-Sedimentación Y Retro-Lavado En La Hacienda Majavita (Socorro, Santander)*. Universidad De Manizales Facultad De Ciencias Contables Económicas Y Administrativas. Socorro.
- Sánchez et al, (1968). *Filtración en Múltiples Etapas*. Thematic Overview. Copyright © IRC Centro Internacional En Agua y Saneamiento (2006). Traducción española por CINARA (2007).
- Galvis et al. (1999). *Filtración en múltiples etapas. Tecnología innovativa para el tratamiento de agua*. Santiago de Cali. Artes Gráficas de Univalle. Universidad del Valle  
Cinara, Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico, Cali, Colombia.
- Asociación Española de Abastecimiento de Agua y Saneamiento, (1984). *Manual de cloración*. Madrid.
- Fustamante.N, (2017). *Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable*. Alemania. Programa Buena Gobernanza (PROAGUA).
- Vargas et al,(2004).*Tratamiento de agua para consumo humano Plantas de filtración rápida Manual I: Teoría Tomo I*. Lima, Perú.

## Anexos

A continuación, se enumeran los anexos adjuntos al documento:

**ANEXO 1.** Memoria de cálculo FIME

**ANEXO 2.** Planos detalle 2D

**ANEXO 3.** Plano- PTA Nocaima 3D

**ANEXO 4.** Plano-Vertedero de entrada 3D

**ANEXO 5.** Plano- Filtro Grueso Dinámico 3D

**ANEXO 6.** Plano- Vertedero Intermedio 3D

**ANEXO 7.** Plano- Filtro lento de Arena 3D

**ANEXO 8.** Plano- Resalto Hidráulico 3D

**ANEXO 9.** Plano- Cámara de contacto 3D

**ANEXO 10.** Resultados Físico-químicos Laboratorio e Innovación Ambiental de la CAR

**NOTA:** Los planos 3D requieren de autorización de confiabilidad en el documento de formato Adobe Acrobat Reader para su visualización.

