

**DISEÑO A ESCALA REAL DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES
ETAPAS (FIME): ESTRATEGIA PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE LA
COMUNIDAD RURAL DE GUAMAL EN SUPÍA, CALDAS**

LAURA GÓMEZ GIRALDO

MELISA MORENO MORENO

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
INGENIERÍA AMBIENTAL
MANIZALES**

2017

**DISEÑO A ESCALA REAL DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES
ETAPAS (FiME): ESTRATEGIA PARA LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA DE LA
COMUNIDAD RURAL DE GUAMAL EN SUPÍA, CALDAS**

LAURA GÓMEZ GIRALDO

MELISA MORENO MORENO

Trabajo de grado para obtener el título de Ingenieras Ambientales

Asesor: ALEJANDRO RINCÓN SANTAMARÍA

Ingeniero Químico

Semillero Tecnologías Avanzadas de Saneamiento Ambiental -TASA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

INGENIERÍA AMBIENTAL

MANIZALES

2017

Agradecimientos

Las autoras expresan sus más sinceros agradecimientos a:

Al tutor Alejandro Rincón Santamaría, por su apoyo incondicional y sus valiosos aportes durante todo el desarrollo del presente trabajo.

Al docente Mario Montoya por guiarnos en la fase de diseño, gracias a su amplio conocimiento en las área de hidráulica y mecánica de fluidos.

A la docente Yenny Carolina Ramírez Jiménez por su disposición para orientarnos en la interpretación de los lineamientos de diseño.

A Camilo Lepineux Pérez por apoyarnos en la ejecución del diseño de todo el sistema FiME a través de diferentes Softwares.

A nuestros padres quienes con su apoyo nos ayudaron a culminar nuestra carrera profesional con éxito.

Abreviaturas

CINARA: Instituto de Investigación y Desarrollo en Abastecimiento de Agua, Saneamiento Ambiental y Conservación del Recurso Hídrico

CONPES: Coordinación Nacional para la Planeación de la Educación Superior

CRA: Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística

DBO5: Demanda Bioquímica de Oxígeno

Fe: Hierro

FG: Filtración Gruesa en Grava

FGA: Filtro Grueso Ascendente

FGAC: Filtro Grueso Ascendente en Capas

FGAS: Filtro Grueso Ascendente en Serie

FGDi: Filtro Grueso Dinámico

FGH: Filtro Grueso Horizontal

FGHS: Filtro Grueso Horizontal en Serie

FiME: Filtración en Múltiples Etapas

FIR: Filtración Rápida en Arena

FLA: Filtro Lento en Arena

FONADE: Fondo Financiero de Proyectos de Desarrollo

IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia

IRC: Centro Internacional de Agua y Saneamiento

IRCA: Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano

MADS: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

MAVDT: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial

OMS: Organización Mundial de la Salud

PDA: Plan Departamental de Agua

PROSAD: Programa de pesquisa en Saneamiento Básico

SD: Sólidos Disueltos

SS: Sólidos Suspendidos.

SIVICAP: Sistema de Vigilancia de la Calidad del Agua Potable para consumo humano

TiO₂: Óxido de Titanio

UFC: Unidades Formadoras de Colonia

UNICEF: Fondo de Naciones Unidas para la Infancia

UNT: Unidades Nefelométricas

UPC: Unidades Platino-Cobalto

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I:	11
GENERALIDADES	11
1.1. RESUMEN	12
ABSTRACT	13
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.3. JUSTIFICACIÓN	17
1.4. OBJETIVOS	19
1.4.1. OBJETIVO GENERAL	19
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.5. MARCO TEÓRICO	20
CAPITULO II:	25
ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO	25
2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA	26
2.2. HISTORIA DE LA COMUNIDAD DE GUAMAL	27
2.3. COMPONENTE SOCIAL	29
2.3.1. DEMOGRAFÍA	29
2.3.2. SALUD	30
2.3.3. EDUCACIÓN	31
2.4. COMPONENTE AMBIENTAL	32
2.4.1. CLIMA E HIDROLOGÍA	32
2.5. COMPONENTE ECONÓMICO	33
2.6. COMPONENTE CULTURAL	33

2.6.1. FIESTAS Y TRADICIONES	33
2.7. ANTECEDENTES	34
<u>CAPITULO III:</u>	37
<u>LINEAMIENTOS DE DISEÑO</u>	37
3.1. CONSIDERACIONES GENERALES DEL SISTEMA FIME	38
3.2. LIMITACIONES DE LOS FIME	40
3.3. CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DEL AGUA REQUERIDAS EN LA UNIDAD FLA	43
3.4. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO DEL SISTEMA FIME	47
3.5. CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS FIME	48
<u>CAPITULO IV:</u>	53
<u>DIMENSIONAMIENTO</u>	53
4.1. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DIMENSIONAMIENTO	54
4.1.1. PROYECCIÓN DE POBLACIÓN	54
4.1.2. CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FÍSICA DEL AGUA DE LA QUEBRADA JAGUAL	56
4.1.3. DETERMINACIÓN DEL MODELO DE TRATAMIENTO DE AGUA POR EL SISTEMA FIME	58
4.1.4. CAUDAL DE DISEÑO Y DE LA FUENTE DE ABASTECIMIENTO	59
4.2. DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO FIME	63
4.2.1. DIMENSIONAMIENTO FILTRO GRUESO DINÁMICO (FGDI)	63
4.2.2. DIMENSIONAMIENTO FILTRO GRUESO ASCENDENTE EN CAPAS	73
4.2.3. DIMENSIONAMIENTO FILTRO LENTO EN ARENA	78
<u>CAPITULO V:</u>	85

<u>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u>	85
5.1. CONCLUSIONES	86
5.2. RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	87
5.3. OTRAS RECOMENDACIONES	88
<u>6. BIBLIOGRAFÍA</u>	89
<u>7. ANEXOS</u>	95
7.1. IMÁGENES DEL DISEÑO DE LA UNIDAD FGDI	95
7.2. IMÁGENES DEL DISEÑO DE LA UNIDAD FGAC	97
7.3. IMÁGENES DEL DISEÑO DE LA UNIDAD FLA	98

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. EFICIENCIA DE REMOCIÓN EN UNIDADES FIME _____	22
TABLA 2. VALORES MÁXIMOS ACEPTABLES DE CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO _____	24
TABLA 3. POBLACIÓN ÉTNICA MUNICIPIO DE SUPÍA, CALDAS _____	29
TABLA 4. CARACTERIZACIÓN FUENTE DE ABASTECIMIENTO – AÑO 2014	35
TABLA 5. PARÁMETROS DE LA CARACTERIZACIÓN DEL AÑO 2014 QUE INCUMPLEN LA RESOLUCIÓN 2115 DE 2007 _____	36
TABLA 6. CONSIDERACIONES GENERALES DEL SISTEMA FIME _____	38
TABLA 7. LIMITACIONES DEL FGDI _____	40
TABLA 8. LIMITACIONES DEL FLA _____	41
TABLA 9. CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DEL AGUA EN LA UNIDAD FLA ____	43
TABLA 10. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO DEL SISTEMA FIME _____	47
TABLA 11. CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS FIME _____	48
TABLA 12. CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FÍSICA FUENTE DE ABASTECIMIENTO – AÑO 2016 _____	57
TABLA 13. PROFUNDIDAD DE SECCIONES DEL PERFIL _____	59
TABLA 14. CAUDAL UTILIZADO PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA FIME ____	62
TABLA 15. DISTRIBUCIÓN Y DIÁMETROS DE TUBERÍAS DE LA UNIDAD FGDI _____	72
TABLA 16. DISTRIBUCIÓN Y DIÁMETROS DE TUBERÍAS DE LA UNIDAD FGAC _____	77
TABLA 17. DISTRIBUCIÓN Y DIÁMETROS DE TUBERÍAS DE LA UNIDAD FLA _____	83

LISTA DE IMÁGENES

IMAGEN 1. DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA DE SUPÍA CALDAS	26
IMAGEN 2. CEIBA DE LA COMUNIDAD DE GUAMAL	28
IMAGEN 3. PARQUE VEREDA GUAMAL, SUPÍA CALDAS	30
IMAGEN 4. PUESTO DE SALUD VEREDA GUAMAL	31
IMAGEN 5: INSTITUCIÓN EDUCATIVA CAÑAMOMO Y LOMAPRIETA, SEDE GUAMAL	32
IMAGEN 6: CARNAVAL NEGROIDE	34
IMAGEN 7: FIESTAS EN HONOR A SANTA LUCÍA	34
IMAGEN 8. MODELO PARA LA SELECCIÓN DEL TIPO DE SISTEMA PARA FILTRO GRUESO	58
IMAGEN 9. VERTEDERO TRIANGULAR DEL CANAL DE ENTRADA	66

CAPITULO I:

GENERALIDADES

1.1. RESUMEN

“La escasez del recurso hídrico, la dificultad de acceder al mismo y la mala calidad van de la mano de la pobreza y de las enfermedades” (Defensoria del Pueblo, s.f), por lo que el acceso a agua potable y saneamiento básico son determinantes de la calidad de vida de las personas. En Colombia el acceso a agua potable aún presenta muchos rezagos, especialmente en las comunidades rurales, donde en muchos casos no existe la provisión de este recurso y tampoco la cobertura de acueducto. El deterioro de la calidad de las fuentes hídricas en zonas rurales está asociado principalmente a actividades de agricultura, ganadería y minería, las cuales a su vez han impactado de manera importante la salud de las personas.

En el presente estudio se plantea el diseño a escala real de un sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME), como una alternativa efectiva y sencilla para la potabilización del agua en la vereda Guamal en el municipio de Supía, Caldas; la cual pretende bajo ciertos criterios de diseño, crear las condiciones necesarias que permitirían erradicar principalmente dos agentes que generan perjuicio para la salud, como lo son los sólidos disueltos (SD) y los patógenos. El dimensionamiento del sistema conllevó inicialmente a un exhaustivo análisis de información secundaria que permitiera definir los lineamientos de diseños que resultarían más funcionales para las condiciones de la vereda. Además a través de los softwares SolidWorks, Sketchup y Lumion fueron plasmados estos diseños.

Palabras Claves: Potabilización, saneamiento básico, dimensionamiento, FiME.

ABSTRACT

“The scarcity of the water resource, the difficulty of access to it and the poor quality go hand in hand with poverty and diseases” (Defensoria del Pueblo, s.f), so that access to drinking water and basic sanitation are determinants of the quality of life of people. In Colombia, access to drinking water still lags many times, especially in rural communities, where in many cases there is no provision for this resource and neither does the coverage of aqueducts. The deterioration of the quality of water sources in rural areas, has been one of the main causes of deficiencies in the supply of water suitable for human consumption and is mainly associated with activities of agriculture, cattle raising and mining, which in turn have had an important impact on the health of people.

In the present study the real-scale design of a FiME system, as an effective and simple alternative for the potabilization of water in the Guamal village in the municipality of Supía, Caldas; Which intends, under certain design principles, to create the necessary conditions that would enable the eradication of two main agents that cause damage to health, such as dissolved solids and pathogens. The sizing of the system initially entailed to an exhaustive analysis of secondary information which would allow the defining the most functional design guidelines for the conditions of the village. Besides the designs were shaped in the following softwares; SolidWorks, Sketchup and Lumion.

Keywords: Purification, basic sanitation, sizing, FiME.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El acceso al servicio de agua potable es uno de los fines principales del estado según la Constitución Política de Colombia. En ésta, se menciona que no sólo debe brindarse a las comunidades agua de calidad, sino que además el servicio se preste de manera continua (UNICEF, 2006). Sin embargo, la calidad de este servicio en las zonas rurales aún es insuficiente, ya que conforme al censo realizado por el DANE para el año 2005, el Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para Consumo Humano (IRCA) para la zona rural obtuvo un valor del 49,8% clasificado como nivel de riesgo alto (DNP, 2014), siendo Supía uno de los 24 municipios del Departamento de Caldas que presenta nivel de riesgo alto en su zona rural con un valor del IRCA del 79,22% (MPS, 2014).

Como resultado del informe del Estado de la Vigilancia de la Calidad de Agua para Consumo Humano para el año 2014, se encontró que: “para el área rural, de aproximadamente 11,3 millones de habitantes se vigiló a 8,1 millones (71,6%), faltando por cobijar 3,2 millones como porcentaje restante. El consumo de agua potable lo tuvo 1,7 millones de habitantes (21,0%), utilizó agua segura 1,4 millones (17,2%), empleó agua baja en tratamiento o protección 3,3 millones (40,7 %) y recurrió al agua directa de la fuente 1,7 millones (21,0%)” (Instituto Nacional de Salud, 2015).

La falta de acceso a agua potable se ve reflejado en el incremento de enfermedades como diarrea, cólera, Hepatitis A, Fiebre tifoidea, Paratifoidea, Dengue, Malaria, entre otros y en los índices de morbilidad y mortalidad, principalmente en menores de 5 años y adultos mayores; motivos por los cuales aumenta la brecha social y de desarrollo por el desmejoramiento en la calidad de vida (Instituto Nacional de Salud, 2015).

Si bien se ha avanzado en la cobertura de acueducto y alcantarillado en el país, la calidad del agua en varias ocasiones no es apta para el consumo humano,

principalmente para el área rural y esto puede atribuirse a que desde la década de los ochenta, el suministro de agua potable y las soluciones de saneamiento básico, pasaron a ser responsabilidad de las administraciones municipales, quienes en ocasiones no cuentan con la capacidad institucional ni financiera que les permita desarrollar proyectos de construcción, ampliación u optimización de éstos servicios (DNP, 2014).

Lo anterior pone en evidencia la gran necesidad que existe en las zonas rurales de brindar acceso a agua de calidad que cumpla con los parámetros aceptables establecidos en la normatividad colombiana.

El uso que se le puede dar al agua se determina fundamentalmente por la calidad de ésta. Con el fin de evitar enfermedades o reacciones adversas frente a su consumo, el agua debe contar con ciertas características, dentro de las que se encuentran (Gonzales Bedoya, 2015):

- Estar exenta de organismos capaces de originar enfermedades, y de cualquier mineral o sustancia orgánica que pueda producir efectos fisiológicos perjudiciales.
- Desde el punto de vista estético, el agua debe estar exenta de turbiedad, color, olor y sabor perceptible.
- La temperatura del agua debe ser razonable.

Dicho lo anterior, se evidencia la susceptibilidad ante la que se encuentra la comunidad de Guamal, (Vereda de Supía, Caldas) de contraer enfermedades asociadas al consumo de agua, pues como se evidencia en las tablas 4 y 12 correspondientes a las caracterizaciones para los años 2014 y 2016 respectivamente, las características microbiológicas del agua que se consume en esta vereda no cumplen con los límites aceptables por la normativa vigente.

En general las tecnologías que se emplean en potabilización para pequeñas comunidades deber ser diferentes a las empleadas en grandes centros urbanos.

Una opción son los tratamientos pasivos, en los cuales el consumo de insumos químicos y de energía eléctrica son despreciables o nulos; esto implica la reducción de costos de operación y mantenimiento. A través de este tipo de tecnologías se puede dar cumplimiento con las características que debe tener el agua para considerarse potable. A su vez, una opción de tratamiento pasivo para potabilización para pequeñas comunidades es la Filtración en Múltiples Etapas (FIME).

Según el trabajo desarrollado por el CINARA, "Filtración En Múltiples Etapas, Tecnología Innovativa para el Tratamiento de Aguas", a través de la implementación de la tecnología en mención, se logra obtener eficiencias globales de remoción en microorganismos de 5,0 y 6,0 unidades Log; lo que demuestra el gran potencial de este sistema de tratamiento para resolver problemas en aguas crudas con alta contaminación fecal (Galvis Cataño, Latorre Montero, & Visscher, 1999).

El planteamiento de este proyecto de investigación es motivado por el incumplimiento de las características microbiológicas del agua que se consume en la vereda, frente a la resolución 2115 de 2007, pues solo se cuenta con un desarenador.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En el presente trabajo se propone el diseño a escala real de un sistema FiME para potabilizar el agua proveniente de la quebrada Jagual, afluente del Río Arcón, que abastece a la vereda Guamal en el municipio de Supía, Caldas. El adecuado diseño del sistema FiME permitirá:

- Asegurar calidad en el servicio.
- Reducir la presencia de SD y patógenos, para así disminuir la posibilidad de riesgo por enfermedades.
- Mejorar la apariencia del agua y reducir la turbiedad de la misma.

Además, las principales ventajas que presenta el sistema son:

- No demanda insumos químicos para su operación, por lo que no se correría el riesgo de vertimientos con sustancias indeseables que puedan provocar un impacto ambiental sobre los recursos naturales de la comunidad (Vargas, Hincapie , Galvis, & Fernández, 1999).
- No requiere energía eléctrica para su operación.
- No requiere de personal muy calificado para su operación y mantenimiento.

El dimensionamiento del sistema estará guiado tanto por las condiciones geográficas y demográficas, como por las características que componen la quebrada; lo que a su vez permitirá predecir los cambios que se podrían generar en la calidad del agua, principalmente a través de las eficiencias de remoción. La consolidación del diseño también pretende asegurar de una manera teórica, la eficacia del sistema con una proyección a doce (12) años, bajo las respectivas directrices de mantenimiento que requiere el sistema.

Esta iniciativa de diseño responde a una problemática que vive Colombia en gran parte de sus zonas rurales donde el agua no es potable, por lo que la propuesta investigativa busca convertirse en un insumo que genere un impacto social, a través

del afianzamiento de temas asociados al saneamiento básico en pequeñas comunidades rurales; especialmente en este caso, en la vereda de Guamal.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de tratamiento de potabilización de agua a escala real, utilizando la tecnología “Filtración en Múltiples Etapas”, para la vereda el Guamal en Supía Caldas.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar características de la vereda relacionadas con su población y región geográfica, al igual que información sobre la fuente hídrica de la que se abastece la comunidad.
- Analizar las características y lineamientos de diseño, construcción, operación y mantenimiento de la tecnología de potabilización por Filtración en Múltiples Etapas.
- Definir las dimensiones de estructura y las características de operación de un sistema FiME para la vereda el Guamal.

1.5. MARCO TEÓRICO

Colombia hace parte de los países más ricos en disponibilidad del recurso hídrico, según el informe de Agua para el siglo XXI para América del Sur (Urbano Jáuregui, Planas, Gaviño Novillo, & Mendiburo, 2000), reportando un consumo básico de agua de aproximadamente 108 L/habitante-día (Resolución CRA 750, 2016). La calidad y cantidad del agua en la mayoría de las poblaciones rurales es inadecuada y esto se debe en parte a que “en términos hidrológicos el territorio nacional no es homogéneo, ya que las cinco áreas hidrográficas del país albergan sensibles diferencias que repercuten en la vulnerabilidad tanto del sistema natural como de la estructura socioeconómica” (IDEAM, 2015). La anterior situación se hace preocupante considerando que el acceso a agua potable es un derecho que tiene conexidad con otros como lo son la vida, la dignidad humana y la salud (Corte Constitucional, Sentencia T-055/11, 2011).

Actualmente existen muchos sistemas que permiten potabilizar el agua, utilizando desde coagulantes naturales, hasta sofisticadas tecnologías como el uso de TiO_2 para provocar una fotocatalisis heterogénea (Ramírez Arias, 2013). La elección de un tipo de sistema para la potabilización del agua, debe estar de acuerdo con sus características y las capacidades de operación y mantenimiento de la población beneficiada.

➤ **Sistemas de tratamiento para la potabilización de aguas superficiales**

Ante la necesidad de brindar a la población agua de buena calidad, que pueda ser consumida sin representar ningún riesgo para la salud, se han desarrollado diferentes procesos para potabilizar del agua, en donde existen técnicas variadas respecto a su costo de funcionamiento, brindando resultados óptimos. Los tratamientos utilizados con este fin pueden clasificarse en físicos, químicos y biológicos; esto de acuerdo a los procesos u operaciones unitarias que incluyan. Los biológicos, por

ejemplo, incluyen la utilización de organismos vivos, como las algas y microorganismos (Vargas L. d., 2004).

Entre las tecnologías de potabilización para pequeñas poblaciones, está la Filtración en Múltiples Etapas (FiME); un sistema de tratamiento de agua superficial desarrollado por el Instituto CINARA en 1990. Esta tecnología de tratamiento surge a partir de las dificultades encontradas en la aplicación de la FLA como sistema de tratamiento único para potabilizar el agua. El FLA presentaba dos limitantes principales: en primer lugar, la pobre calidad del agua de la fuente podía exceder la capacidad de tratamiento, además la alta turbiedad del agua ocasionaba taponamientos prematuros de los filtros y los altos niveles de color excedían la capacidad de remoción; y en segundo lugar, el tratamiento requería de un caudal continuo de agua que asegurara el suministro de oxígeno y nutrientes. Además, el tratamiento también se afectaba negativamente por las bajas temperaturas, la baja concentración de nutrientes y los bajos niveles de oxígeno disuelto (Sánchez L. D., Sánchez, Galvis, & Latorre, 2007).

La FiME permite potabilizar agua con niveles de contaminación altos, lo que fue evidenciado en trabajos de investigación desarrollados por el CINARA¹. Esta tecnología ha sido desarrollada con éxito desde los años ochenta en Colombia, principalmente en comunidades rurales y pequeños y medianos municipios para el tratamiento de agua de consumo humano (Paramasivam, Raman, Heijnen, & Visscher, 1992).

El concepto de Múltiples Etapas de tratamiento desarrollado en el FiME, implica tener principalmente tres fases: Filtración Gruesa Dinámica (FGDi), Filtro Grueso Ascendente (FGA) y Filtro Lento en Arena (FLA). En estas fases de manera progresiva el agua contaminada atraviesa las diferentes unidades, logrando su

¹ Véase en:

-Evaluación del Sistema de Filtración en Múltiples Etapas FiME en tanques plásticos con pre-sedimentación y retro-lavado en la hacienda Majavita (Socorro, Santander).

-La Filtración en Múltiples Etapas en el Tratamiento de Agua para Consumo Humano. El caso de Mondomo (Colombia).

potabilización, con la opción de obviar la etapa de FG, de acuerdo a la calidad del agua a tratar. Cada una de estas unidades está compuesta por un lecho filtrante, una capa de agua sobrenadante, un sistema de distribución y drenaje y un sistema de dispositivos para el control del flujo (Sánchez T, Latorre Montero , & Díaz, 2011).

En la tabla 1 se muestran los valores de remoción esperados en unidades FiME.

Tabla 1. Eficiencia de remoción en unidades FiME

Parámetro	Valores para el agua a tratar	Remoción (%)			
		FGDi	FGA	FLA	
				a	b
Turbiedad	1.15 UNT	30-50	50-90	< 1	< 1
Color	30 UPC	10-25	20-25	25-30	30-100
Coliformes totales	1800 UFC/100ml	50-80	0,65-2,5	90-99,9	95-100
Sólidos suspendidos	-	70-80	50-95	-	-
Hierro	0.02 mg/ L Fe	40-70	~50	30-90	60
Manganeso	-	40-70	~50	30-90	60

Fuente: (Galvis Cataño, Latorre Montero, & Visscher, 1999)

*Las condiciones a y b se explican a continuación

Debe mencionarse que existen limitantes de la aplicación del FLA (Fase principal del sistema de tratamiento FiME), las cuales se encuentran relacionadas en la tabla anterior:

- a. Puede presentarse colmatación del lecho filtrante debido a: altas concentraciones de SS, florecimiento de algas en los FLA, concentraciones mayores a 1mg/L de hierro y/o manganeso.

- b. Pueden presentarse condiciones que inhiban o reduzcan la eficiencia del sistema como: bajas temperaturas, limitada disponibilidad de nutrientes para microorganismos activos en los lechos filtrantes y bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua, que conllevan a generar condiciones anaeróbicas en el sistema, lo que incita a presentar irregularidades en la calidad del agua.

➤ **Calidad del agua tratada**

El agua producida en un sistema de potabilización no debe contener microorganismos patógenos, ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud. Por tanto, el agua para consumo humano debe cumplir los requisitos de calidad microbiológicos, organolépticos y físicoquímicos exigidos en el Decreto 1575 de mayo 9 de 2007 de los Ministerios de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o en su defecto el que lo reemplace o modifique. La calidad del agua no debe deteriorarse ni estar por debajo de los límites aceptables, durante su conducción a través del sistema de distribución hasta llegar al consumidor final (Ministerio de Desarrollo Económico, 2000).

➤ **Referentes normativos**

En la resolución 2115 del 22 de junio de 2007 del MAVDT, capítulos II y III, se especifican los valores máximos aceptables de las características químicas, físicas y microbiológicas del agua para consumo humano, siendo evidenciados los parámetros de interés para este estudio en la tabla 2.

Tabla 2. Valores máximos aceptables de características físicas y microbiológicas de agua para consumo humano

Parámetro	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	(UPC)	15
Turbiedad	(UNT)	2
Coliformes totales	*(UFC)/100cm ³	0
Escherichia coli		0

Fuente: Resolución 2115 de 2007.

*Técnica de Filtración por Membrana

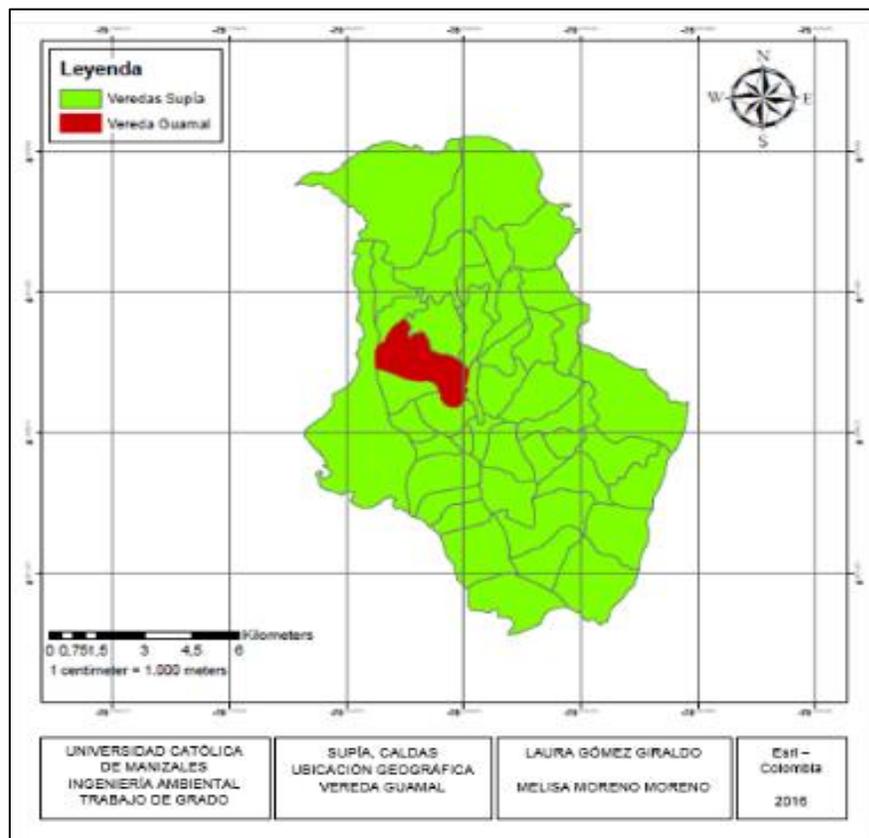
CAPITULO II:

ZONA DE INFLUENCIA DEL PROYECTO

2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El área de influencia del proyecto corresponde a la vereda Guamal, ubicada a cinco minutos de la cabecera municipal de Supía (Ver imagen 1); en latitud 5,45333 y longitud -75,6608. Este municipio, se sitúa en el noroccidente del departamento de Caldas y cuenta una extensión total de 12,140 hectáreas, de las cuales el 1,46% es suelo urbano y el 98,54% restante es suelo rural. Supía “limita al norte con el municipio de Caramanta (Antioquia), al sur con los municipios de la Merced y Riosucio, al oriente con los municipios de Marmato y la Merced y al occidente con el municipio de Riosucio” (Ramírez Gómez , 2013).

Imagen 1. División político-administrativa de Supía Caldas



Fuente: Elaboración propia

2.2. HISTORIA DE LA COMUNIDAD DE GUAMAL

La historia de la comunidad de Guamal, data dos siglos y medio atrás. En 1717 época de asentamiento de ésta comunidad, la Señora María Josefa Moreno de Franco y Borja, instala en el sitio llamado El Molino una partida de 40 esclavos, esto en aras de explotar minas auríferas de su propiedad; esclavos que más tarde, en 1749 pasan a ser propiedad de Simón Pablo Moreno de la Cruz. Al morir Moreno de la Cruz, los esclavos son heredados por sus hijos, Ana Josefa y Sebastián Moreno. Para ese entonces quienes ya eran sus amos, “administraron con cierta liberalidad sus minas y concedieron a los esclavos garantías en las “sacas” del oro, sobre todo en el río que bordea el lindero de la comunidad” (Zapata Bonilla, 2012).

La comunidad de Guamal tiene una parroquia de gran reconocimiento en el municipio; pues conserva actualmente reliquias, dentro de las que cabe mencionar el crucifijo que data de 1798, las imágenes de Santa Ana patrona de la comunidad, San Joaquín y la niña María traídos desde Quito, Ecuador desde 1820 (Alcaldía de Supía Caldas, 2011).

Unos de los símbolos principales de Guamal fue la Ceiba. Este género botánico de la naturaleza, fue plantado en el centro de esta comunidad el 21 de mayo de 1851 como símbolo de libertad y estuvo en este punto hasta el año de 1986; pues debió derribarse por el peligro que representaba al secarse totalmente. Actualmente existe en este mismo punto una nueva Ceiba, que fue sembrada el 9 de febrero de 1987 (Zapata Bonilla, 2012).

Imagen 2. Ceiba de la comunidad de Guamal



Fuente:

<http://www.supiaturistico.com/es/lugares/comunidad-guamal-860>

2.3. COMPONENTE SOCIAL

2.3.1. Demografía

La vereda Guamal es un asentamiento afrocolombiano que se encuentra ubicado en territorio del Resguardo Indígena Cañamomo y Lomaprieta. Esta cuenta con aproximadamente 1439 habitantes, de acuerdo al censo de comunidades realizado por el resguardo (Resguardo Indígena de Cañamomo y Lomaprieta, 2015); lo que equivale a un poco más de la mitad de la población total negra, mulato o afrocolombiana en Supía acorde a la proyección del DANE para el año 2015 (véase en tabla 3).

Tabla 3. Población étnica municipio de Supía, Caldas

Tipo de población	Cantidad de población
Indígena	7.837
Negro, mulato o afrocolombiana	2.716
Rom	-
Raizal	6
Palenquera o de basilio	-

Fuente: DANE, 2015

Imagen 3. Parque vereda Guamal, Supía Caldas



Fuente: <http://www.panoramio.com/>

2.3.2. Salud

En la vereda Guamal existe un puesto de salud, que además de brindar atención a los habitantes de ésta comunidad, se encuentra habilitado para atender a personas de las veredas cercanas como Santa Anita, Santa Ana, Bajo Sevilla, Alto Sevilla, Santa Cruz, San Cayetano, San Marcos y Jagual (Alcaldía Supía Caldas, 2008).

Imagen 4. Puesto de salud vereda Guamal



Fuente: Ligia Moreno Moreno

2.3.3. Educación

En la vereda se encuentra una de las ocho sedes de la Institución Educativa Cañamomo y Lomaprieta (INECAL). En esta sede para inicios de actividades académicas en el año 2016, se tenía registro de un total de 253 estudiantes. A ésta Institución Educativa no sólo asisten habitantes de la vereda Guamal, sino que también confluyen personas de veredas tales como San Cayetano, Santacruz, Santa Ana, Santa Anita; pues ésta institución es la más cercana para estas veredas.

El INCECAL tiene carácter público mixto; allí se implementa calendario con jornada mañana completa, atendiendo los niveles de preescolar, básica primaria, básica secundaria y media (Alcaldía de Supía Caldas, 2016).

Imagen 5: Institución Educativa Cañamomo y Lomaprieta, sede Guamal



Fuente: Aurora Moreno Moreno

2.4. COMPONENTE AMBIENTAL

2.4.1. Clima e hidrología

De acuerdo con el Diagnóstico Ambiental de Caldas-Plan de Acción 2013-2015, Guamal se caracteriza por ser heterogénea desde el punto de vista topográfico y climático (Corpocaldas, 2007), presentando una temperatura media de 26°C (Alcaldía de Supía Caldas, 2007). La fuente de abastecimiento de agua para consumo humano en la comunidad, proviene de la Quebrada Jagual, afluente del río Arcón.

2.5. COMPONENTE ECONÓMICO

Las principales actividades que desarrollan sus habitantes son: la minería aurífera artesanal, siembra de caña de azúcar, trabajo de barro en los tejares y ladrilleras y el mototaxismo. (Resguardo Indígena Cañamomo y Lomapieta, 2009)

2.6. COMPONENTE CULTURAL

2.6.1. Fiestas y tradiciones

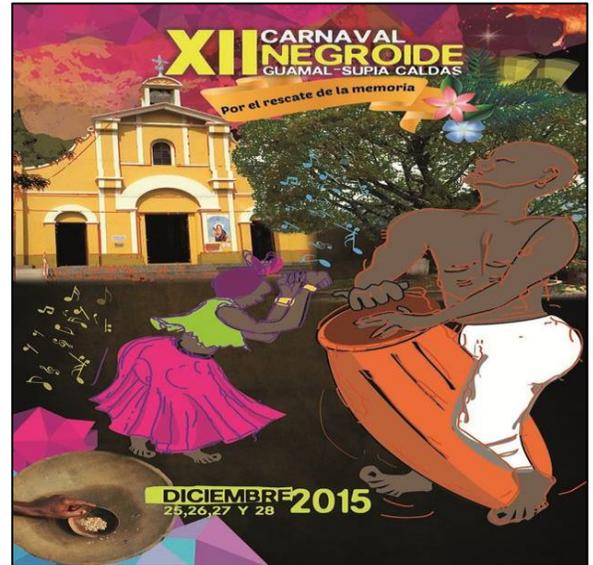
Dentro de las principales fiestas que se llevan a cabo en esta comunidad, son las fiestas de Santa Lucía y el Carnaval Negroide. La fiesta en honor a la virgen de Santa Lucía, se lleva a cabo el 13 de Diciembre de cada año; “a este evento religioso asisten habitantes de los municipios vecinos de Supía, Riosucio y Marmato, es especialmente concurrida por personas con limitaciones visuales”. Durante todo ese día se realizan celebraciones litúrgicas cada media hora, desde la 8 de la mañana hasta las ocho de la noche. Por otro lado, se encuentra el carnaval Negroide, durante su celebración, cada dos años en el mes de Diciembre, “se hacen evidentes los procesos de recuperación de las costumbres de la comunidad Afrocolombiana de la vereda de Guamal. La programación incluye actividades culturales y sociales” (Alcaldía de Supía Caldas, 2016).

Imagen 7: Fiestas en honor a Santa Lucía



Fuente: William Nieto

Imagen 6: Carnaval Negroide



Fuente: Junta Organizadora Carnaval Negroide Guamal, 2015

2.7. ANTECEDENTES

Actualmente la comunidad de Guamal no cuenta con un sistema que permita proporcionar un tratamiento al agua que consumen; pues se cuenta solamente con una unidad de desarenación, lo que explica que, el agua de la cual se abastecen no está dentro de los parámetros establecidos en la normatividad colombiana vigente (Resolución 2115 de 2007).

Como una propuesta para potabilizar el agua en la vereda, en el año 2013 la Secretaría de Integración y Desarrollo Social del Departamento, con ayuda del Plan Departamental de Aguas (PDA) y el Gobierno Nacional, propusieron un proyecto para brindar el servicio de agua potable a esta comunidad; sin embargo, ésta se opuso a su desarrollo, debido entre otros aspectos, a los costos que esto acarrearía; pues en esta vereda sólo se paga tres mil pesos mensuales por familia para el

mantenimiento del acueducto, ya que el agua como se mencionaba anteriormente, no recibe ningún tratamiento previo a su consumo, situación que puede evidenciarse en la caracterización (véase tabla 4) (FONADE, 2013).

Tabla 4. Caracterización fuente de abastecimiento – año 2014

DATOS DE LA MUESTRA			
FECHA: 15 de Diciembre de 2014		HORA: 7:05 a.m.	
SITIO TOMA DE MUESTRA O PUNTO DE MUESTREO: Microcuenca abastecedora del acueducto de la comunidad de Guamal (Bocatoma)			
RESPONSABLE: TL Ambiental: Ángela Victoria Monsalve Villa			
DATOS DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA			
FECHA: 15 de Diciembre de 2014		HORA: 8: 30 a.m.	
RESPONSABLE: Marisol Vásquez Franco			
PARÁMETRO	VALOR REPORTADO	EXPRESADO EN	VALOR PERMISIVO EN LEY 2115 DE 2007
Alcalinidad Total	52	mg/L CaCO ₃	≤ 0 ≤ 200
Cloruros	3	mg/Cl	≤ 0 ≤ 250
Color	30	UPC	≤ 0 ≤ 15
Conductividad	109	microsiemens/cm	≤ 0 ≤ 1000
Dureza Total	40	mg/CaCO ₂	≤ 0 ≤ 300
Hierro Total	0,02	mg/L Fe	≤ 0 ≤ 0,3
Nitritos	0	mg/ L NO ₂	≤ 0 ≤ 0,1
Olor y Sabor	Aceptable		Aceptable
pH	7,44	Unidades de pH	≤ 0 6,5 ≤ 9
Sulfuros	1	mg/ L SO ₄	≤ 0 ≤ 250

Temperatura	22	°C	
Turbiedad	115	UNT	$\leq 0 \leq 2$
Coliformes Totales	1800	UFC/100 cm ³	$\leq 0 \leq 0$
Escherichia Coli	160	mg/ L CaCO ₂	$\leq 0 \leq 0$
<p>NOTA: Para los valores no detectables se reporta el Límite de Detección Inferior (LDI) de cada método.</p> <p style="text-align: center;">OBSERVACIÓN:</p> <p>1. El análisis del agua se realiza en el laboratorio de Empocaldas del municipio de Riosucio Caldas, con autorización de la Ingeniera Química Nubia Galvis.</p>			

Fuente: Resguardo Indígena Cañamomo y Lomapieta, 2014.

De esta caracterización, se puede ver que hay cuatro parámetros que no cumplen con la normativa colombiana (véase tabla 5).

Tabla 5. Parámetros de la caracterización del año 2014 que incumplen la Resolución 2115 de 2007

Parámetro	Valor reportado en caracterización	Límite de la normativa (Resolución 2115/2007)
Color	50 UPC	≤ 15 UPC
Coliformes Totales	1800 UFC/100cm ³	0 UFC/100 cm ³
Escherichia Coli	160 mg/LCaCO ₂	0 mg/LCaCO ₂
Turbiedad	115 UNT	$\leq 0 \leq 2$

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO III:

**LINEAMIENTOS DE
DISEÑO**

Antes de desarrollar la fase de diseño del sistema FiME para la comunidad de Guamal, se tuvo en cuenta los lineamientos de diseño contenidos en las diferentes experiencias de aplicación de éstos sistemas de tratamiento, desarrollados en diferentes lugares de Latinoamérica; esto en aras de lograr un diseño adecuado y funcional. Algunos de los aspectos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del diseño fueron:

- Descripción de consideraciones generales del sistema FiME.
- Limitantes que impiden el buen funcionamiento de las unidades FGD_i y FLA.
- Características mínimas requeridas del agua en la unidad FLA.
- Consideraciones generales de diseño de los FiME.
- Criterios de diseño de los FiME.

3.1. CONSIDERACIONES GENERALES DEL SISTEMA FiME

Debe mencionarse que los componentes de los sistemas FiME son: Filtro Grueso Dinámico (FGD_i), 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.

Tabla 6. Consideraciones generales del sistema FiME

Característica	Descripción
Calidad del agua tratada	Es una alternativa viable para mejorar la calidad física, química y microbiológica del agua. En muchas localidades FiME es la única opción confiable de tratamiento.
Facilidades de construcción	El diseño es relativamente simple y facilita el uso de materiales y de la mano de obra del lugar. No se requiere equipo especializado.

Costos de construcción	La construcción con materiales y mano de obra local reduce los costos. Usualmente no se requieren materiales importados.
Operación y Mantenimiento O&M	Después de un corto período de capacitación, operadores locales sin alto nivel de escolaridad pueden operar y mantener el sistema.
Costos de O&M	Los costos de operación y mantenimiento son menores que en otros sistemas. El requerimiento de energía eléctrica es bajo o nulo y tampoco requieren productos químicos para coagulación.
Confiabilidad	El riesgo por fallas mecánicas o de problemas asociados con cambios en la calidad del agua cruda, es bajo. Estos pueden resolverse la mayoría de veces sin necesidad de interrumpir el servicio.
Limpieza	El proceso de limpieza es simple aunque laborioso y esto no debe representar un problema mayor en países donde la mano de obra es relativamente barata.
Requerimientos de área superficial	Una planta convencional de Filtración Rápida en Arena (FiR) con áreas de almacenamiento y de manejo de químicos, zonas de tráfico, entre otras, puede requerir áreas comparables a FiME.
Aplicabilidad (FiME no siempre es la mejor alternativa)	Existen niveles de contaminación o factores ambientales que superan la eficiencia e

	inhiben los procesos de tratamientos ligados con FiME.
--	--

Fuente: (Galvis Cataño, Latorre Montero, & Visscher, 1999)

3.2. LIMITACIONES DE LOS FiME

Se menciona únicamente las limitantes para las fases de FGDi y FLA, pues debe tenerse en cuenta que existen diferentes tipos de FG que pueden implementarse (Filtro Grueso Ascendente en serie, Filtro Grueso Descendente en serie, Filtro Grueso Horizontal y Filtro Grueso Ascendente en Capas), pero existen limitantes estandarizadas para estos.

➤ **Limitaciones del Filtro Grueso Dinámico (FGDi)**

Tabla 7. Limitaciones del FGDi

Factor Limitante	Descripción
Mantenimiento de lecho filtrante y de soporte.	El mantenimiento inadecuado o insuficiente de esta zona da lugar a la acumulación progresiva de lodo, y en consecuencia la colmatación total de la unidad, obligando su vaciado completo.
Estructura de entrada y salida	Los diseños de estas estructuras deben ser los adecuados, pues esto contribuye de manera significativa a la adecuada operación y mantenimiento de los FGDi

Sistema de recolección-drenaje y cámara de lavado	Para facilitar el mantenimiento eventual del FGD _i , al menos una cámara para lavado del material filtrante debe ser construida en un sitio próximo a la unidad de tratamiento.
--	--

Fuente: (Galvis Cataño, Latorre Montero, & Visscher, 1999)

➤ **Limitaciones del Filtro Lento en Arena**

Tabla 8. Limitaciones del FLA

Factor limitante	Descripción
Sólidos suspendidos o turbiedad	Esta es una de las limitantes más comunes en los FLA, pues presenta restricciones para tratar fuentes de agua donde el material particulado supere niveles relativamente bajos. Este material puede crear condiciones ambientales adversas para la biomasa que actúa en los lechos de arena y para grupos de protozoarios que predan bacterias y que contribuyen a pulir la calidad microbiológica del efluente.
Hierro y manganeso	Concentraciones de hierro superiores a 1,0mg/L pueden contribuir significativamente a la colmatación de los FLA.
Algas	Los crecimientos significativos de algas en los FLA pueden ocasionar la pérdida acelerada de energía hidráulica en los lechos y reducir hasta en cinco sextos los períodos de filtración. También

	<p>puede ser factor importante en el caso de concentraciones altas de orgánicos solubles y de problemas de olores y sabores. Además como consecuencia de la actividad fotosintética, las algas pueden afectar la capacidad reguladora del agua y aumentar el pH a niveles aún por encima de 10 u 11, los cuales pueden ocasionar precipitaciones de hidróxidos de magnesio y calcio sobre la arena, contribuyendo a la obstrucción de los lechos o a aumentar el tamaño efectivo de la arena, lo cual puede repercutir en una menor eficiencia de tratamiento.</p>
Bajas temperaturas	<p>A temperaturas bajas, la viscosidad del agua aumenta, por lo que se reduce la actividad bioquímica en los lechos de arena, afectando las eficiencias de remoción de algunos parámetros.</p>
Nutrientes	<p>Los microorganismos activos en los lechos de arena requieren para su metabolismo y crecimiento carbono, nitrógeno, fósforo y azufre. Cuando los lechos de arena no tienen suficientes nutrientes, la actividad biológica disminuye y por tanto, las eficiencias de remoción de turbiedad y de indicadores de contaminación microbiológica no son las adecuadas.</p>
Oxígeno disuelto	<p>Cuando las velocidades de filtración son muy bajas y hay suficiente demanda de DBO₅ en el agua, el contenido de oxígeno puede agotarse debido al largo contacto con la biomasa que lo consume. Estas posibilidades de situaciones</p>

	<p>anóxicas o anaeróbicas en los lechos deben evitarse, pues pueden dar origen a serios problemas de calidad de agua, tales como olores, sabores o la resuspensión de metales, con implicaciones estéticas o de interferencia con la etapa de desinfección terminal.</p>
--	--

Fuente: (Galvis Cataño, Latorre Montero, & Visscher, 1999)

3.3. CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS DEL AGUA REQUERIDAS EN LA UNIDAD FLA

Dentro del marco de revisión de información secundaria para definir las condiciones bajo las cuales debe ingresar el agua a cada unidad de filtración, se encontró que la mayor cantidad y calidad de información correspondía a la unidad FLA y esto se debe principalmente a que es la tecnología de tratamiento más antigua utilizada en los sistemas de abastecimiento, por lo que ha abarcado un mayor número de estudios asociados a su funcionamiento y eficiencia. Por lo anterior en este estudio solo se definen las características mínimas requeridas del agua, para el FLA.

➤ Filtro Lento en Arena

Tabla 9. Características mínimas del agua en la unidad FLA

Referencia	Turbiedad (UNT)	Observaciones
(Cleasby, Hilmoie, & Dimitracopoulos, 1984)	<5	Valores para prevenir efluentes con: -Turbiedades elevadas -Colmatación

(Spencer & Collins, 1991)	5 – 10	-Ambientes desfavorables para la actividad microbiológica
(Di Bernardo & Rivera, 1996)	10	
(Hendricks & Bellamy, 1991)	<10	
(Ellis & Wood, 1985)	<50	
Otros autores	50 a 120	Siempre que sus duraciones sean inferiores a 1 o 2 días.
Referencia	Sólidos suspendidos (SS) mg/l	Observaciones
(Wegelin , 1986)	<5	Valores superiores a 5 pueden crear condiciones ambientales adversas para la biomasa que actúa en los lechos de arena para grupos de protozoarios que predan bacterias y que contribuyen a pulir la calidad microbiológica del efluente.
Referencia	Color real (UPC)	Observaciones
(Spencer & Collins, 1991)	15 – 25	Es deseable que los valores en el parámetro de color real sean bajos, pues existe posibilidad de formación de subproductos perjudiciales por la reacción entre los químicos en el proceso de purificación y el contenido de materia orgánica representado en el color real.
(Di Bernardo & Rivera, 1996)	5	
Referencia	Algas	Observaciones

(Cleasby, Hilmoie, & Dimitracopoulos, 1984)	20000 unidades/L	Los crecimientos significativos pueden ocasionar:
(Spencer & Collins, 1991)	5 mg/m ³	-Pérdida acelerada de energía hidráulica -Reducción en los periodos de infiltración -Problemas de olores y sabores
(Di Bernardo & Rivera, 1996)	25000 unidades/L	-Aumento del pH, dando lugar a precipitaciones de hidróxidos de magnesio y calcio sobre la arena; lo que podría incurrir en la obstrucción de los lechos o aumentar el tamaño efectivo de la arena
Referencia	Absorbancia (254nm) (UA)	Observaciones
(Spencer & Collins, 1991)	0,08	
Referencia	Oxígeno disuelto (mg/L)	Observaciones
(Cleasby, Hilmoie, & Dimitracopoulos, 1984)	>6	Se debe evitar valores por debajo de 6 mg/L, pues condiciones anóxicas o anaeróbicas pueden ocasionar serios problemas de calidad de agua, tales como olores, sabores o la resuspensión de metales, con implicaciones estéticas o de interferencia con la etapa de desinfección terminal.
Referencia	Fosforo (PO ₄)(mg/L)	Observaciones
(Spencer & Collins, 1991)	30	Se requiere que la concentración de fósforo oscile alrededor de este valor,

		pues se quiere para el metabolismo de los microorganismos activos en los lechos de arena.
Referencia	Amoniaco (mg/L)	Observaciones
(Spencer & Collins, 1991)	3	
Referencia	Hierro total (mg/L)	Observaciones
(Cleasby, Hilmoie, & Dimitracopoulos, 1984)	0,3	-Pequeñas cantidades de hierro mejoran la remoción de compuestos orgánicos. -Concentraciones de hierro superiores a 1,0mg/L pueden contribuir significativamente a la colmatación de los FLA.
(Spencer & Collins, 1991)	1	
(Di Bernardo & Rivera, 1996)	2,0	
Referencia	Manganeso (mg/L)	Observaciones
(Cleasby, Hilmoie, & Dimitracopoulos, 1984)	0,05	Limitan la aplicación de la filtración lenta en arena y la desinfección.
(Di Bernardo & Rivera, 1996)	0,2	
Referencia	Coliformes fecales (UFC/100ml)	Observaciones
(Di Bernardo & Rivera, 1996)	200	

Fuente: (Galvis Cataño, Latorre Montero, & Visscher, 1999)

3.4. CONSIDERACIONES GENERALES DE DISEÑO DEL SISTEMA FiME

Tabla 10. Consideraciones generales de diseño del sistema FiME

Consideraciones	Características
Estudio de campo	<p>Debe llevar:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Análisis detallado de la zona de estudio que incluya: análisis de la fuente hídrica, de calidad de aguas, de vulnerabilidad y riesgo, levantamiento topográfico entre otros.
Análisis/Estudio Fuente Hídrica	<p>Debe tener:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Información sobre el caudal -Niveles máximo y mínimo de caudal -Calidad del agua cruda <p>“La anterior información debe ser de por lo menos los últimos 3 años”</p>
Análisis/Estudio Calidad del agua cruda	<p>Conocimiento básico de los siguientes parámetros:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Turbiedad -Color real -Coliformes fecales
Diseño de Captación del agua	<p>Se debe considerar:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Épocas de inundaciones -Épocas de avenidas y estiajes -Topografía del terreno. <p>Para esto se realizó un muestreo simple el 29 de Abril de 2016.</p>
Análisis/Estudio Canal de entrada	<p>Se recomienda, en lugar de implementar una tubería, un canal, debido a las siguientes ventajas:</p>

	-Facilidad de mantenimiento -Rápida detección de la calidad del agua
Control y medición de caudal	Se debe controlar y medir el caudal total a la entrada y a la salida del sistema FiME.

Fuente: (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

3.5. CRITERIOS DE DISEÑO DE LOS FiME

En general, las unidades de filtración se diseñan en forma rectangular y con paredes verticales (Sánchez T, Latorre Montero , & Díaz, 2011). No obstante, se pueden construir filtros con un área superficial circular y con paredes inclinadas, dependiendo de las técnicas de construcción locales. Respecto al material filtrante, no debe alterar la calidad del agua en su olor o color; generalmente se usan gravas y arenas de río (UNATSABAR, 2005).

En la tabla 11 se muestran los criterios de diseño del sistema FiME de acuerdo a las condiciones de la vereda Guamal.

Tabla 11. Criterios de diseño de los sistemas FiME

Parámetros	FGDi	FGA	FLA
Flujo	Descendente	Ascendente	Descendente
Periodo de operación (h/d): Tanto los FGD _i como los FGA y FLA tendrán un periodo de funcionamiento que comprenderá las 24 horas del día; es decir, serán diseñados para que su funcionamiento sea permanentemente.	24	24	24

<p>Velocidad de filtración V_f (m/h):</p> <p>Este parámetro difiere según la unidad de tratamiento, depende de factores como el área, la profundidad, el tipo de grava, entre otros aspectos determinantes. La velocidad de filtración disminuye acorde al orden de las unidades de tratamiento del sistema; para el FGD_i la velocidad es mucho mayor (2m/h – 3m/h), ya que es la primera unidad con la que entra en contacto el agua.</p>	2 – 3	0,3 – 0,6	0,1 – 0,3
<p>Número mínimo de unidades en paralelo:</p> <p>El número de unidades depende de factores como la disponibilidad de terreno y la calidad del agua.</p>	2	1	2
<p>Área máxima de filtración por unidad (m²):</p> <p>El área es un parámetro que se encuentra íntimamente ligado a la disponibilidad de terreno, por consiguiente determina el número de unidades que se pueden adaptar. A menor área de filtración por unidad, mayor velocidad de filtración y a mayor área de filtración por unidad, menor velocidad de filtración.</p>	10	20	100
<p>Velocidad en lavado superficial (m/s):</p>	0,15 – 0,3	-	-

<p>Profundidad total de lecho filtrante (m):</p> <p>El lecho filtrante de las unidades está compuesto por diferentes tamaños de grava, por lo que su profundidad estará asociada principalmente al número de capas del material filtrante y al diámetro del material. Contrario a la velocidad de filtración, la profundidad del lecho filtrante aumenta acorde al orden de las unidades de tratamiento del sistema; siendo el FLA la unidad con mayor profundidad del lecho (1.05m – 1.15m).</p>	0,6	0,6-0,9	1.05 – 1,5
<p>Coefficiente de uniformidad de la arena:</p> <p>Este es un parámetro del cual dependerá la distribución granulométrica adecuada en el lecho filtrante. El coeficiente de uniformidad es la relación entre el diámetro efectivo y la abertura del tamiz a través del cual pasa el 60% (en peso) de los granos, d_{60}.</p>	-	-	<p><4</p> <p><5;</p> <p>preferible entre 2,0 - 4,0 (Galvis Cataño, Latorre Montero, & Visscher, 1999)</p>
<p>Altura del vertedero de rebose (m):</p>	0,03 – 0,05	-	-

Esta altura hace referencia a la distancia medida a partir del lecho superficial de grava fina.			
<p>Pérdida de carga máxima (m):</p> <p>La medición de pérdida de carga permite controlar las actividades de mantenimiento y eficiencias de las unidades. La lectura de la pérdida de carga se puede realizar midiendo la diferencia de altura entre nivel del agua en la cámara de entrada al filtro y el nivel del agua presente en la caja de filtro.</p>	0,30	0,10 (Para filtro Grueso Ascendente) (Galvis Castaño & Latorre Montero, 1999)	
<p>Altura sobrenadante* (m):</p> <p>La altura del agua sobrenadante proporciona la carga hidráulica necesaria para permitir su paso a través del lecho de arena, ser colectada por el sistema de drenaje, llegar a la cámara de salida y pasar por el vertedero de aforo. Este parámetro hace referencia a la altura del agua que aún no se ha infiltrado en el lecho.</p>	-	0,1 – 0,2	1,0 – 1,5
<p>Velocidad de lavado filtro (m/h):</p> <p>Hace referencia a la velocidad de inyección del agua para el lavado del lecho filtrante.</p>	15 – 20	15 – 20	-
<p>Carga estática para lavado contraflujo (m):</p>	1	3	-

Diferencia entre el nivel de agua máximo en el filtro durante el lavado y el nivel de descarga de la tubería de drenaje en la cámara de lavado.			
---	--	--	--

Fuente: (Galvis Cataño, Latorre Montero, & Visscher, 1999)

*Altura máxima

CAPITULO IV:

DIMENSIONAMIENTO

4.1. CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL DIMENSIONAMIENTO

Para realizar el diseño del sistema FiME, se tuvieron en cuenta varios aspectos determinantes para definir las condiciones hidráulicas de las unidades, como lo fueron: la proyección de población, los resultados de la caracterización microbiológica y física del agua, el caudal y los lineamientos de diseño de sistemas FiME.

4.1.1. Proyección de población

Un aspecto muy importante que se tuvo en cuenta en el diseño del FiME, consistió en analizar por cuantos años puede proveer el sistema de agua potable a la comunidad y esto se logró a través de una proyección de población.

Las proyecciones de población consisten en estimar un valor aproximado de crecimiento de población en un rango de tiempo definido, lo que permite definir los tipos de sistemas que son acordes a las condiciones demográficas del lugar.

El nivel de complejidad del municipio; es decir, el número de habitantes, determina qué tipo de proyección se debe realizar. En este caso al tener un nivel de complejidad bajo, la proyección realizada fue de tipo geométrico y con información del censo para los años 2009 y 2015, con poblaciones de 1258 y 1439 habitantes respectivamente; la proyección se realizó para conocer la población a 10 años; es decir, para el año 2026. Se seleccionó una proyección a 10 años ya que se crearía mayores posibilidades a las poblaciones para tener acceso a créditos o a sistemas de cofinanciación estatales (Galvis Cataño, Latorre Montero, & Visscher, 1999). De igual manera, también se utilizó el mismo método y tiempo de proyección para determinar el número de estudiantes de la Institución Educativa Cañamomo y Lomapieta. Para dicho fin, se usó información de los años 2013 y 2016, en donde

se contaba con una población estudiantil de 218 y 253 estudiantes, respectivamente.

➤ **Método de proyección geométrico**

Fórmula para determinar la población fija de uso doméstico

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

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(T_{uc} - T_{ci})}} - 1$$

Donde,

P_f = Población (habitantes) correspondiente al año para el que se requiere proyectar la población.

P_{uc} = Población (habitantes) correspondiente al último año censado con información.

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

T_{uc} = Año correspondiente al último censo con información.

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

T_f = Año al cual se requiere proyectar la información.

r = Tasa de crecimiento anual

Cálculos de proyección de población

$$r = \left(\frac{1439 \text{ hab}}{1258 \text{ hab}} \right)^{\frac{1}{(2015-2009)}} - 1 = 0.022$$

$$P_f = 1439 \text{ hab} * (1 + 0.022)^{(2026-2015)} = 1828 \text{ habitantes}$$

Cálculos de proyección de Institución Educativa Cañamomo y Lomapieta

$$r = \left(\frac{253 \text{ hab}}{218 \text{ hab}} \right)^{\frac{1}{(2016-2013)}} - 1 = 0.051$$

$$P_f = 253 \text{ hab} * (1 + 0.051)^{(2026-2016)} = 416 \text{ personas}$$

4.1.2. Caracterización microbiológica y física del agua de la quebrada Jagual

Según el RAS 2000 el agua para consumo humano no debe tener microorganismos patógenos, ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud. La caracterización microbiológica y física (véase tabla 12) además de ser una exigencia dentro del marco del diseño del sistema, también fue un ejercicio que permitió evidenciar el nivel de cumplimiento y/o incumplimiento de la calidad del agua de la cual se abastece la comunidad Guamal, conforme a los requisitos de calidad exigidos por la normativa. El muestreo fue puntual y se realizó el día 29 de Abril de 2016 por parte de Aguas de Manizales.

Tabla 12. Caracterización microbiológica y física fuente de abastecimiento – año 2016

Parámetro	Resultado	Unidades	Valor máximo aceptable (Resolución 2115 de 2007)	Cumple
Turbiedad	1,85	UNT	2	Sí
Color real	15	UPC	--	--
Coliformes totales	57*10 ¹	UFC/100 ml	0	No
Escherichia coli	27*10 ¹	UFC/100 ml	0	No

Fuente: Aguas de Manizales

Conforme a lo establecido en la Resolución 2115 de 2007 emitida por los Ministerios de la Protección Social, Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, el parámetro de turbiedad del agua de la cual se abastece actualmente la comunidad de Guamal están por debajo de los valores máximos permisibles acorde a lo estipulado en su artículo 2 – Cuadro N°1; sin embargo, en cuanto a los parámetros microbiológicos, existe un incumplimiento en todos conforme a lo establecido en el artículo 11 – Cuadro N°5.

Por otro lado, la Resolución 2115 de 2007 pide que el valor aceptable para el color aparente sea 15 UPC (Cuadro N°1-Resolución 2115 de 2007); sin embargo, para este muestreo se determinó el color real, por lo que no se pudo comparar este parámetro con la norma, pero si se realizó la siguiente asunción: el color real corresponde al color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad, el cual en este caso dio 15 UPC. Si el color aparente corresponde al color del agua con sustancias disueltas y materia en suspensión, posiblemente tendría un valor mayor y por lo

tanto, el color aparente estaría incumpliendo con el valor aceptable estipulado en la resolución.

4.1.3. Determinación del modelo de tratamiento de agua por el sistema FiME

Como se mencionó en el marco teórico, los FG son unidades que no necesariamente deben hacer parte del sistema FiME, pues esto dependerá del agua a tratar. Por lo anterior, a través de la validación de los parámetros propuestos en la Imagen 8 y los resultados del análisis físico y microbiológico del agua, se determinó que el sistema FiME que se pretendía diseñar requería de un FG, específicamente el FGAC con velocidad de filtración de 0,6 m/h; además del FGDi y el FLA.

Imagen 8. Modelo para la selección del tipo de Filtro Grueso

	Turbiedad (UNT)	< 10	10-20	20-50	50-70 (*)
	Color Real (UC)	< 20	20-30	30-40	30-40 (*)
Coliformes Fecales (UFC/100 ml)					
< 500	Sin FGA		FGAC _{0.6}	FGAC _{0.45}	FGAS _{3.0.3}
500 - 10000		FGAC _{0.6}	FGAC _{0.6}	FGAC _{0.45}	FGAS _{3.0.3}
10000 - 20000 (*)		FGAC _{0.45}	FGAC _{0.45}	FGAC _{0.45}	FGAS _{3.0.3}

(*) Para valores superiores a 70 UNT; 20000 UFC/100 ml o 40 UC, se recomienda realizar estudio en planta piloto.
(El subíndice indica la velocidad de filtración recomendada en m/h)

Clasificación de fuentes según el rango de calidad :

	Bajo
	Medio
	Alto

Fuente: (UNATSABAR, 2005)

4.1.4. Caudal de diseño y de la fuente de abastecimiento

El caudal es uno de los parámetros de diseño más importantes en la fase de dimensionamiento de un sistema, ya que además de impactar de manera directa en el área de las unidades, a partir de este se diseñan las demás estructuras. Para conocer el caudal de la quebrada se realizó una visita de campo a la fuente hídrica y se utilizó el método del flotador, el cual consiste en realizar diferentes medidas definiendo un perfil de la fuente hídrica y utilizando un flotador para obtener mediciones en lo que tarda este elemento en recorrer un trayecto previamente determinado (IDEAM, 2011).

Con un ancho de la fuente de 4,60m, se definieron 15 secciones de perfil (véase tabla 13) con una longitud de 0,3m cada una.

Tabla 13. Profundidad de secciones del perfil

Sección del perfil	Profundidad (m)
1	0,22
2	0,215
3	0,215
4	0,215
5	0,228
6	0,275
7	0,307
8	0,33
9	0,49

10	0,70
11	0,79
12	0,788
13	0,794
14	0,84
15	0,81

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se determinó que la longitud que recorrería el flotador a partir de la sección de perfil correspondería a 10m; a través de este ejercicio, se obtuvieron tres tiempos diferentes (véase tabla 2), los cuales fueron promediados para calcular el caudal.

➤ **Profundidad media del arroyo (Pm):**

$$Pm = (0,22 + 0,215 + 0,215 + 0,215 + 0,228 + 0,275 + 0,307 + 0,33 + 0,49 + 0,7 + 0,79 + 0,788 + 0,794 + 0,84 + 0,81)m/15 = 0,481m$$

➤ **Área de la sección transversal (At):**

$$At = 0,481m * 4,6m = 2,2132m^2$$

➤ **Medición de velocidad (V):**

Tiempo promedio (Tp):

$$Tp = \frac{(14,71 + 13,16 + 17,01)s}{3} = 14,96s$$

$$V = \frac{10\text{m}}{14,96\text{s}} = 0,6684\text{m/s}$$

➤ **Caudal fuente de abastecimiento (Q):**

$$Q = 0,6684 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 2,2131\text{m}^2 = 1,479\text{m}^3/\text{s}$$

➤ **Caudal con Factor de corrección (Q_{FC}):**

$$1,479 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 0,83 = 1,2279 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

El caudal determinado anteriormente no fue el utilizado para realizar el diseño, ya que el sistema se diseñó con el caudal que se requería para abastecer a la vereda Guamal (véase tabla 14); sin embargo, calcular el caudal de la fuente hídrica nos permitió determinar en este caso, que si cuenta con la capacidad para abastecer a la comunidad.

Tabla 14. Caudal utilizado para el diseño del sistema FiME

*Documento ENA del IDEAM **Se tomó como referencia el consumo del Informe de Diagnóstico Tumbabarreto

Actividad / Uso	Unidades	Dotación asignada L/hab.-día	Caudal por población (m ³ /h)
Población fija uso doméstico	L/hab-día	120*	9,14
Institución Educativa Cañamomo Lomaprieta-sede Guamal)	L/persona-día	6,2**	0,11
TOTAL (Caudal de diseño)			9,25

Fuente: Elaboración propia

Conforme a la ejecución de un estudio para la construcción de un sistema FiME en la comunidad de Tumbabarreto en el municipio de Riosucio, Caldas, se tomó como referencia la dotación asignada de litros por día de consumo de agua de los estudiantes de la institución de dicho municipio, para el presente diseño; esto debido a que las condiciones que demostraba la zona del proyecto eran similares a las presentadas en la vereda Guamal (Cinara, 2007). Este valor es menor debido a que en la Institución de Guamal se estudia únicamente en la jornada de la mañana.

Debe mencionarse que se optó por sumar la población fija de uso doméstico y la población de la Institución Educativa, pues muchos estudiantes provenientes de otras veredas cercanas acuden a esta Institución y por tanto, no están incluidos en la población fija de uso doméstico de la vereda. Si se excluyeran los estudiantes de otras veredas, podría conllevar a que el sistema FiME no tuviera la capacidad de brindar el aprovisionamiento requerido, especialmente en los meses de temporada escolar.

4.2. DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO FIME

Debe aclararse que en el diseño se consideró un grosor de paredes de las unidades de 0,08m y que además las siguientes medidas corresponden a los valores internos.

4.2.1. Dimensionamiento Filtro Grueso Dinámico (FGDi)

Área total (A_T):

Se definió una velocidad de filtración de 2,5m/h, de acuerdo con la tabla 11, para Filtro Grueso Dinámico (FGDi):

$$A_T = \frac{9,25m^3/h}{2,5m/h} = 3,7m^2$$

Área de cada unidad del filtro (A_F):

Se seleccionaron 2 unidades de filtración (véase tabla 11):

$$A_F = \frac{3,7m^2}{2} = 1,85m^2$$

Caudal de cada unidad del filtro (Q_F):

$$Q_F = \frac{9,25m^3/h}{2} = 4,625m^3/h$$

Dimensiones caja de filtro:

Relación largo/ancho: $L = 5b$, de acuerdo con (Organización Panamericana de la Salud, 2005)

Donde:

$$b = (A_F/5)^{1/2}$$

$$b = \left(\frac{1,85m^2}{5}\right)^{1/2} = 0,608m$$

$$L = 5 * 0,608m = 3,041m$$

Pared de la caja de filtro (H_f):

$$H_f = H_{Is} + H_{If} + H_{bl}$$

Donde:

H_{Is} = Altura del lecho de soporte (m)

H_{If} = Altura del lecho filtrante (m)

H_{bl} = Altura del borde libre (m)

Los valores para H_{Is}, H_{LF}, H_{BL}; se definieron conforme con lo establecido en (Organización Panamericana de la Salud, 2005), así:

$$H_{Is} = 0,3m$$

H_{If} = 0,6m; pues la altura para el lecho filtrante superior, intermedio e inferior debe ser de 0,20m

$$H_{bl} = 0,2m$$

$$H_f = 0,3m + 0,6m + 0,2m = 1,1m$$

➤ **Estructuras de entrada**

Cámara para proteger la válvula de entrada:

Sus dimensiones de ancho, largo y alto corresponden a 0,36m, 0,20m y 0,25m respectivamente, estas dimensiones fueron determinadas según criterio empírico. Su función principal es brindarle protección a la válvula que regula el caudal que ingresa al sistema.

Cámara de rebose:

Esta cámara se ubica 0,20m después de la reglilla de aforo, con dimensiones de 0,20m de ancho y largo y 0,25m de alto, con el fin de asegurar que se pueda almacenar más de 3 veces el caudal de diseño (en m³/s). Estas dimensiones se definieron tomando el volumen que ocupa el caudal en un segundo, según criterio empírico; además, su vertedero de rebose tiene una altura respectiva de 0,2105m (esta altura resulta de la suma entre la carga hidráulica real y la altura desde la cresta hasta el fondo del canal, teniendo en cuenta además la tensión superficial del agua).

➤ **Canal de entrada, vertedero triangular y reglilla de aforo:**

Caudal total (Q_T):

$$Q_T = \frac{Q_R}{C_d}$$

Donde:

Q_R = Caudal real (m³/s)

C_d = Coeficiente de descarga (para vertederos triangulares con ángulo de 90° el C_d puede estar entre 0,50 y 0,60)

$$Q_T = \frac{2,6 * 10^{-3} m^3/s}{0,55} = 4,727 * 10^{-3} m^3/s$$

Carga hidráulica del vertedero (h):

$$Q_T = \frac{8}{15} * \sqrt{2 * g} * \text{Tan}\left(\frac{\theta}{2}\right) * h^{5/2}$$

Donde:

Q_T = Caudal teórico (m^3/s)

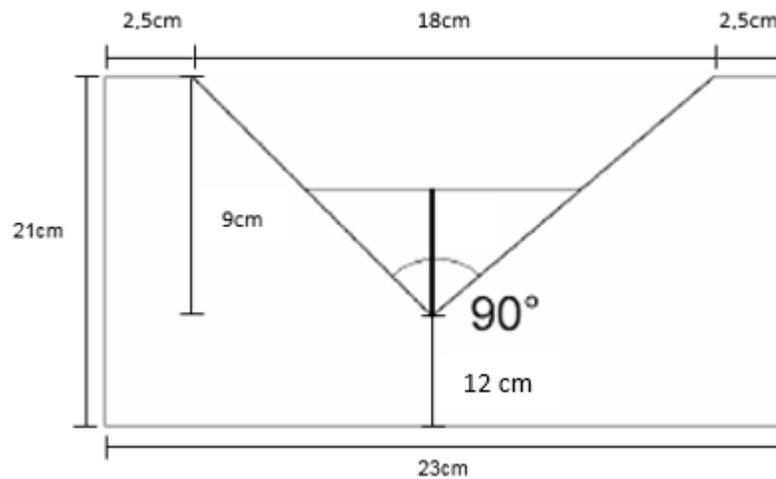
g = Gravedad (m/s^2)

$\theta = 90^\circ$

$$\frac{4,727 * 10^{-3} m^3/s}{15} = \frac{8}{15} * \sqrt{2 * 9,81 m/s^2} * \text{Tan}\left(\frac{90}{2}\right) * h^{5/2}$$

$$\underline{h = 0,083m}$$

Imagen 9. Vertedero triangular del canal de entrada



Fuente: Elaboración propia

Las dimensiones del canal de entrada se determinaron de acuerdo con las dimensiones del vertedero triangular:

- Los cálculos para encontrar la carga hidráulica del vertedero arrojaron un resultado de 0,0833m, sin embargo se aproximó a 0,09m con el fin de no tener una medida tan precisa.
- Según (Quisnancela Chauca, 2013) “La distancia de la cresta al fondo del embalse debe ser inferior al triple del espesor de la lámina de agua que rebosa por ella”, por lo que se tomó un valor correspondiente a 0,12m con el fin de ahorrar costos.
- Según (Universidad del Cauca, s.f) “La lectura de la carga hidráulica sobre la cresta se mide con una regla graduada o limnómetro ubicado por lo menos a una distancia de 3,5 veces la carga máxima hacia aguas arriba”, para este caso se escogió 4,8 veces la carga hidráulica máxima, por lo que la reglilla

se ubicó a 0,4m desde el vertedero triangular (El vertedero triangular se ubica al final del canal de entrada).

- Según (Quisnancela Chauca, 2013) “La distancia desde las paredes del embalse de remanso a los extremos de la cresta debe ser superior o igual a dos veces el espesor de la lámina de agua”, por lo que el ancho del vertedero es 0,36m. Con fines de reducir el ancho del vertedero se propuso la instalación de pantallas a cada lado del mismo, reduciendo su ancho a 0,23m.
- Se determinó que la longitud total del canal es de 0,80m, mientras que su ancho es igual al del vertedero triangular.

Tanque de distribución de caudal:

Para asegurar que el tanque de distribución tenga la capacidad requerida se realizó lo siguiente:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q = Caudal total (m³/s) (Se determinó el volumen que ocupa el caudal en un segundo, según criterio empírico)

V = Volumen (m³)

t = Tiempo (s)

$$V = 2,6 * 10^{-3} m^3/s * 1s = 2,6 * 10^{-3} m^3$$

El largo del tanque de distribución será igual al largo del canal de entrada (0,36m), además se asumió un ancho de 0,08m para determinar la altura del tanque de distribución:

$$V = (l * b * h)$$

Donde:

l = Largo (m)

b = ancho (m)

h = alto (m)

$$h = \frac{2,6 * 10^{-3}m^3}{(0,36m * 0,08m)} = 0,090m$$

Con el fin de ampliar la capacidad del tanque para épocas de invierno en que el caudal aumenta, se volvió a hallar h con el doble de volumen, de acuerdo a criterio empírico:

$$h = \frac{5,2 * 10^{-3}m^3}{(0,36m * 0,08m)} = 0,181m$$

Cámara de disipación:

- Según (Solsona, 2008) “La longitud de la cámara de disipación debe ser 1/5 de la longitud de la unidad de filtración” por lo que esta medida es de 0,6m.
- Debido a que se pretende que la cámara de disipación también funcione como desarenador, se recomienda que la pendiente de este tanque sea mayor a 10% (OPS, 2005), por lo que se eligió una pendiente del 20%.
- Se asumió empíricamente un ángulo de inclinación entre la horizontal de la caja de filtración y la abertura de la caja de disipación de 12° y con este valor se halló la altura desde la pantalla de disipación hasta la horizontal de la caja de filtración.

$$\text{Tangente } \theta = \frac{co}{ca}$$

$$co = \text{Tangente } 12^\circ * 36\text{cm} = 7,6\text{cm}$$

➤ **Sistema de drenaje y distribución:**

- Según (Solsona, 2008) la distancia entre las tuberías laterales debe estar entre 0,5 y 1,5m, para este caso se escogió una separación de 0,6029m, por lo que se deben instalar 6 tuberías a cada lado de la tubería central, para tener una cobertura de toda la longitud de la caja de filtro.
- La velocidad a la cual debe pasar el agua por los orificios de la tubería lateral debe estar entre 0,3 y 1m/s (Solsona, 2008), en este caso se escogió una velocidad de 0,9m/s.
- Las tuberías laterales deberán ser lo suficientemente largas para alcanzar la pared lateral de la caja de filtración.
- Se consideró un diámetro y longitud de la tubería central de 2 pulgadas y 3,041m respectivamente, mientras que para el diámetro y la longitud de la tubería lateral es de 1 pulgada y 0,2796m respectivamente de acuerdo con criterio empírico.
- Se determinó un número de orificios para cada tubería lateral de 18.

Área de los orificios de la tubería lateral (A_o):

$$Q_F = n * A_o * V_o$$

Donde:

Q_F = Caudal por unidad de filtro (m^3/s)

n = Número de orificios

V_o = Velocidad del agua en los orificios (m/s)

$$A_o = \frac{1,3 * 10^{-3} m^3/s}{(216) * (0,9 m/s)} = 6,687 * 10^{-6} m^2$$

Diámetro de los orificios de la tubería lateral (D):

$$6,687 * 10^{-6} m^2 = \frac{\pi}{4} * D^2$$

$$D = 2,918 * 10^{-3} m$$

- El espaciamiento entre orificios debe ser de 0,0149m a excepción de los extremos que deben ser de 0,0128m. Según (Solsona, 2008) los diámetros de la tubería lateral pueden estar entre 2 y 3mm. Por otro lado autores como (Galvis Cataño, Latorre Montero, & Visscher, 1999) proponen diámetros entre 6,35 y 19,5mm, por lo que para determinar el sistema de distribución más adecuado, es pertinente realizar pruebas piloto que permitan evaluar la distribución del flujo en la unidad.

- **Estructuras de salida**

Cámara de salida:

Su función es recibir el agua de rebose de las unidades de filtración del sistema, sus dimensiones de ancho, largo y alto corresponden a 1,3m, 0,10m y 0,30m respectivamente. Estas dimensiones fueron determinadas según criterio empírico.

Cámara de agua de rebose:

Esta cámara además de proteger la tubería que transporta el efluente de la unidad, tiene la función de recibir el agua que rebose a la cámara de salida. Sus dimensiones de ancho, largo y alto, corresponde a 0,86m, 0,4237m y 0,20m respectivamente. Estas dimensiones fueron determinadas según criterio empírico.

Sistema de tuberías:

Tabla 15. Distribución y diámetros de tuberías de la unidad FGD_i

Tipo de tubería	Ubicación	Diámetro (in)	Válvula*	Material
Tubería de entrada a la cámara que protege la válvula	A 0,0943m desde el fondo de la cámara de remoción.	2	x	PVC
Tubería de desagüe de la cámara de rebose	En la mitad del fondo de la cámara de rebose.	2		
Tuberías de cámara de distribución de caudal (1 para cada caja de filtración).	A 0,0673m desde el fondo del tanque de distribución de las paredes laterales**	1		
Tubería de salida de la caja de filtración	En el fondo de la caja de filtración	2		

Tubería para válvula de apertura rápida	-	2	x	
Tubería de desagüe de cámara de salida	A 0,024m desde el fondo de la cámara de salida.	2	x	

* La válvula deberá tener igual diámetro a la tubería

**Las tuberías de la cámara de distribución deben tener las mismas condiciones para asegurar una repartición de caudal equivalente.

4.2.2. Dimensionamiento Filtro Grueso Ascendente en Capas (FGAC)

Área total (A_T):

La velocidad de filtración para los FGAC puede estar entre 0,30 y 0,60m/h (véase tabla 11), para este caso se seleccionó una velocidad de 0,45m/h:

$$A_T = \frac{9,25m^3/h}{1 * 0,45 m/h} = 20,556m^2$$

Dimensiones caja de filtro:

Relación largo/ancho = L = 2b

Donde:

$$b = (A_F/2)^{1/2}$$

$$b = \left(\frac{20,556m^2}{2} \right)^{1/2} = 3,206m$$

$$L = 2 * 3,206m = 6,412m$$

Pared de la caja de filtro (H_f):

Según (Organización Panamericana de la Salud, 2005), el lecho de soporte de la pared de la caja de filtro debe ser de 0,30m y el lecho de filtración debe estar entre 0,60 y 0,90m; para este último se seleccionó una altura de lecho filtrante de 0,76m y también un borde libre de 0,30m tal como lo recomienda la Guía para Diseño de Tratamiento de FiME:

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

Donde:

H_{ls} = Altura del lecho de soporte (m)

H_{lf} = Altura del lecho filtrante (m)

H_{bl} = Altura del borde libre (m)

$$H_f = 0,3m + 0,76m + 0,3m = 1,36m$$

➤ **Estructura de entrada**

Cámara de entrada:

Las dimensiones de esta cámara tendrán 0,20m de ancho, largo y alto, con el fin de asegurar que se pueda almacenar 3 veces más del caudal total, esto especialmente para las temporadas de invierno donde puede incrementarse. Estas dimensiones se definieron tomando el volumen que ocupa el caudal en un segundo, según criterio empírico:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q = Caudal total (m³/s)

V = Volumen (m³)

t = Tiempo (s)

$$V = 2,6 * 10^{-3} m^3/s * 1s = 2,6 * 10^{-3} m^3$$

$$V = (l * b * h)$$

Donde:

l = Largo (m)

b = ancho (m)

h = alto (m)

$$V = (0.2m * 0.20m * 0.20m) = 8 * 10^{-3} m^3$$

Tubería de rebose en cámara de entrada

La altura a la cual se debe colocar la tubería de rebose, se determinó teniendo en cuenta la altura necesaria para que se pudiera almacenar el caudal de diseño ($2,6 * 10^{-3} m^3$) según criterio empírico y conservando los valores de b y l de la cámara de entrada:

$$2,6 * 10^{-3} m^3 = (0.2m * 0.2m) * h$$

$$h = 0.065 m$$

➤ **Estructura de salida**

Cámara de salida:

La cámara de salida tendrá las mismas dimensiones que la cámara de entrada y se diseñó bajo el mismo criterio.

➤ **Sistema de drenaje y distribución:**

Para el diseño del sistema de drenaje y distribución del FGAC se tuvieron en cuenta las mismas consideraciones del FGD_i, seleccionando los siguientes valores:

- **Distancia entre tuberías laterales:** 0,9085m (Por lo que se deben instalar 8 tuberías a cada lado de la tubería central, para tener una cobertura de toda la longitud de la caja de filtro).
- **La velocidad a la cual debe pasar el agua por los orificios de la tubería lateral:** 1m/s
- **Longitud y diámetro de la tubería central:** 6,412m y 3''.
- **Longitud y diámetro de la tubería lateral:** 1,605m y 2''.
- **Número de orificios para cada tubería lateral:** 25.

Área de los orificios de la tubería lateral (A_o):

$$Q_F = n * A_o * V_o$$

Donde:

Q_F = Caudal por unidad de filtro (m³/s)

n = Número de orificios

V_o = Velocidad del agua en los orificios (m/s)

$$A_o = \frac{2,6 * 10^{-3} m^3/s}{(400) * (1m/s)} = 6,5 * 10^{-6} m^2$$

Diámetro de los orificios de la tubería lateral (D_o):

$$6,35 * 10^{-6} m^2 = \frac{\pi}{4} * D^2$$

$$D = 2,877 * 10^{-3} m$$

Nota: El espaciado entre orificios debe ser de 0,0577m a excepción de los extremos que deben ser de 0,0568m. Según (Solsona, 2008) los diámetros de la tubería lateral pueden estar entre 2 y 3mm.

Sistema de tuberías:

Tabla 16. Distribución y diámetros de tuberías de la unidad FGAC

Tubería	Ubicación	Diámetro (in)	Válvula *	Material
Tubería a la cámara de entrada y tubería a la caja de filtración.	En el fondo de la cámara de entrada.	2 (c/u)	x **	PVC
Tubería de rebose de la cámara de entrada.	A 0,065m del fondo de la cámara de entrada.	1		
Tubería de rebose de la cámara de salida.	A 10cm del fondo de la cámara de salida.	1		

Tubería de la cámara de salida.	En la mitad del fondo de la cámara de salida.	2	x	
Tubería para válvula de apertura rápida	-	2	x	

* La válvula deberá tener igual diámetro a la tubería

**Solo antes de tubería de cámara de entrada

4.2.3. Dimensionamiento Filtro Lento en Arena (FLA)

Área total (A_T):

La velocidad de filtración para los FLA puede estar entre 0,10 y 0,30m/h (véase tabla 11), para este caso se seleccionó una velocidad de 0,15m/h:

$$A_T = \frac{9,25m^3/h}{2 * 0,15 m/h} = 30,833m^2$$

Dimensiones de caja de filtro:

Se diseñó con base en el coeficiente costo (K), ya que este permite dimensionar la unidad de tal manera que sea funcional, pero minimizando los costos que podría tener asociados a su construcción (Sánchez L. D., Sánchez, Galvis, & Latorre, 2007):

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

Donde:

N=Número de unidades

$$K = \frac{2 * 2}{2 + 1} = 1,33$$

Largo (l):

$$l = \sqrt{A_T * K}$$

$$l = \sqrt{30,833m^2 * 1,33} = 6,404m$$

Ancho (b):

$$b = \sqrt{\frac{A_T}{K}}$$
$$b = \sqrt{\frac{30,833m^2}{1,33}} = 4,815m$$

Pared de la caja de filtro (H_f):

Según (Organización Panamericana de la Salud, 2005), el lecho de soporte de la pared de la caja de filtro debe ser de entre 0,10m y 0,30m y el lecho de filtración debe estar entre 1,0 y 1,5 m; para este último se seleccionó una altura de lecho filtrante de 1,3m; también un borde libre entre 0,20 y 0,40m y una altura sobrenadante del agua entre 1,0 y 1,5m; tal como lo recomienda la Guía para Diseño de Tratamiento de FiME:

$$H_f = H_{Is} + H_{If} + H_{as} + H_{bl}$$

Donde:

H_{Is} = Altura del lecho de soporte (m)

H_{If} = Altura del lecho filtrante (m)

H_{as} = Altura de agua sobrenadante (m)

H_{bl} = Altura del borde libre (m)

$$H_f = 0,2m + 1,3m + 1,2m + 0,4m = 3,1m$$

➤ **Estructuras de entrada**

Cámara de distribución de caudal:

Las dimensiones de esta cámara tendrán 0,20m de ancho, largo y alto, con el fin de asegurar que se pueda almacenar 3 veces el caudal total, esto especialmente para las temporadas de invierno donde puede incrementarse. Estas dimensiones se definieron tomando el volumen que ocupa el caudal en un segundo, según criterio empírico.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q = Caudal total (m³/s)

V = Volumen (m³)

t = Tiempo (s)

$$V = 2,6 * 10^{-3}m^3/s * 1s = 2,6 * 10^{-3}m^3$$

$$V = (l * b * h)$$

Donde:

l = Largo (m)

b = ancho (m)

h = alto (m)

$$V = (0.2m * 0.20m * 0.20m) = 8 * 10^{-3}m^3$$

Cámaras de entrada:

Las cámaras de entrada reciben el agua de la cámara de distribución de caudal, para cada unidad debe haber una cámara de entrada cuyas dimensiones sean iguales a las de la cámara de distribución. Estas dimensiones se definieron tomando el volumen que ocupa el caudal en un segundo, según criterio empírico.

Tubería de rebose en cámara de entrada

La altura a la cual se debe colocar la tubería de rebose, se determinó teniendo en cuenta la altura necesaria para que se pudiera almacenar el caudal de diseño ($2,6 * 10^{-3} m^3$), según criterio empírico y conservando los valores de b y l de la cámara de entrada:

$$2,6 * 10^{-3} m^3 = (0,2m * 0,2m) * h$$
$$h = 0,065 m$$

➤ Estructura de salida:

Cámara de salida del agua de rebose:

Se encarga de recolectar el agua de rebose de cada una de las unidades de filtración del FLA, sus dimensiones corresponden a un largo, ancho y alto de 0,10m, 5,015m y 0,30m respectivamente. Ésta cámara se diseñó bajo criterio empírico, ya que se dimensiono pensando en la capacidad en volumen que podría tener por cada segundo de tiempo, la cual en este caso es de $0,15045 m^3/s$. Dicha capacidad es alta debido a que se buscó que la cámara recolectara directamente el efluente proveniente de cada unidad y es por esta razón que su ancho es grande, para alcanzar a tener una cobertura de ambas tuberías.

Cámara de salida del efluente:

Se encarga de proteger las tuberías provenientes de cada unidad de filtración, sus dimensiones corresponden a un largo, ancho y alto de 0,10m, 4,825m y 0,50m respectivamente.

➤ **Sistema de drenaje y distribución:**

- La distancia entre las tuberías laterales debe ser $1/16$ partes de la longitud de estos o máximo 2,5m, para este caso se escogió una separación de 0,912m, por lo que se deben instalar 8 tuberías partiendo de la tubería central, para tener una cobertura de toda la longitud de la caja de filtro.
- La velocidad a la cual debe pasar el agua por los orificios de la tubería lateral no debe sobrepasar los 0,3m/s.
- Las tuberías laterales deberán tener una separación de la pared lateral de la caja de filtración de $1/32$ partes de la longitud de ésta o máximo 1,25m (Se seleccionó 1m).
- Se consideró un diámetro y longitud de la tubería central de 2 pulgadas y 6,404m respectivamente, mientras que para el diámetro y longitud de la tubería lateral es 1 pulgada 1,3843m.
- Se determinó un número de orificios para cada tubería lateral de 45, además el diámetro de estos debe estar entre 2 y 4mm.
- Se recomienda una separación entre orificios de 0,10 y 0,30m, en este caso se seleccionó 0,0917m.

Área de los orificios de la tubería lateral (A_o):

$$Q_F = n * A_o * V_o$$

Donde:

Q_F = Caudal por unidad de filtro (m³/s)

n = Número de orificios

V_o = Velocidad del agua en los orificios (m/s)

$$A_o = \frac{1,3 * 10^{-3} m^3/s}{(360) * (0,3 m/s)} = 1,204 * 10^{-5} m^2$$

Diámetro de los orificios de la tubería lateral (D_o):

$$1,204 * 10^{-5} m^2 = \frac{\pi}{4} * D^2$$

$$D = 3,915 * 10^{-3} m$$

- Los orificios de la tubería lateral del sistema de drenaje del FLA pueden tener diámetros entre 2 y 4mm (Organización Panamericana de la Salud , 2017).

Sistema de tuberías:

Tabla 17. Distribución y diámetros de tuberías de la unidad FLA

Tubería	Ubicación	Diámetro (in)	Válvula*	Material
Tubería a la cámara de entrada.	En la mitad de la pared frontal.	2	x	PVC

Tubería de rebose de la cámara de entrada.	A 0,065m del fondo de la pared lateral de la cámara de entrada.	1		
Tuberías de cámara de distribución de caudal (1 para cada caja de filtración).	A 5 cm desde el fondo del tanque de distribución de las paredes laterales**.	1		
Tubería de rebose en unidad de filtración.	A una altura de 2,7m respecto al fondo de la caja de filtración.	1	x	
Tubería de conducción de agua filtrada.		2	x	
Tubería para válvula de apertura rápida.		2	x	

* La válvula deberá tener igual diámetro a la tubería

CAPITULO V:

**CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

5.1. CONCLUSIONES

- La iniciativa de diseñar un sistema FiME se consideró principalmente, ante el pequeño caudal que se requiere para abastecer a la comunidad de Guamal, lo que conllevó a pensar que un sistema convencional para potabilizar el agua sería inadecuado, pues acarrearía costos innecesarios y diseños e infraestructura mucho más compleja, ya que para este tipo de condición resultaría mucho más viable considerar la implementación de un sistema alternativo, que representara menores costos y mayor simplicidad en los diseños. Igualmente la iniciativa pensó en el FiME como un sistema alcanzable para la comunidad; es decir, que pudiera ser administrado y operado por ésta.

- Al analizar la relación que puede existir entre la implementación de un sistema como lo es el FiME en la vereda Guamal donde no se cuenta con el suministro de agua potable, se evidencia que además de que este tipo de estudios enfocados principalmente a conceptos de diseño, tienen implícitos conceptos sociales que buscan mejorar la calidad de vida de comunidades rurales. Debe resaltarse las ventajas de la implementación de este tipo de sistemas en zonas donde las condiciones económicas, socioculturales, topográficas y ambientales, son mucho más complejas y por tanto requieren de propuestas como los FiME que puedan satisfacer las diversas situaciones que allí se puedan presentar.

- Durante el desarrollo del presente trabajo evidenciamos la interdisciplinariedad de este tipo de estudios, pues se integra información relacionada con temáticas como legislación, diseño de plantas de tratamiento de aguas e hidráulica, las cuales son transversales a las condiciones sociales de la vereda. La integración de estos temas permite de alguna manera, lograr esa funcionalidad y eficiencia para satisfacer las

necesidades que se pretendan. Dentro del marco de criterios de diseño de los FiME, para este estudio no se realizó un análisis topográfico ni de modelamiento hidrológico de la zona, por temas económicos y de tiempo; sin embargo, se fundamentó en los criterios básicos que permitieran lograr el diseño más cercano y adecuado a las condiciones de la vereda.

- Si bien la tecnología FiME se viene desarrollando desde la década de los 80's, durante la ejecución de este trabajo se encontró que gran cantidad de la información secundaria más completa, además de ser antigua, exponía criterios y lineamientos de diseño similares, por lo que fue una limitante al momento de buscar las alternativas más adecuadas para el diseño del sistema. La anterior situación no solo expone una falencia, sino que además da pie para incentivar a la investigación de la aplicabilidad de este tipo de sistemas y a la generación de una mayor cantidad de insumos asociados a estas experiencias.

5.2. RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

- **Filtración Gruesa Dinámica (FGDi):** Los FGDi se colmatan rápidamente disminuyendo el caudal efluente desde que el sobrenadante llega a la cresta del vertedero de rebose y una parte del caudal afluente empieza a ser vertida al desagüe; este momento indica que hay necesidad de hacer mantenimiento de la unidad (Vargas, Hincapie , Galvis, & Fernández, 1999).
- Los sólidos que se encuentran en la capa superficial del FGDi se deben limpiar manualmente con una pala o un rastrillo. A través de la misma tubería que se encarga de la recolección de aguas, se realiza el lavado de fondo en forma descendente. En cuanto al mantenimiento de esta

unidad (Galvis Cataño, Latorre Montero, & Visscher, 1999) recomienda que su frecuencia se deba a la calidad del agua cruda.

- **Filtro Grueso Ascendente (FGA):** Diariamente se debe retirar el material que pueda flotar en la caja de filtración, como palos, hojas, papel, entre otros. Esto se debe realizar con el fin de evitar que estos materiales produzcan taponamientos en el filtro. Otra recomendación está asociada a la medición y el registro periódico de la pérdida de carga, ya que el realizar esta actividad permite evitar la disminución del agua filtrada y taponamientos de la unidad. La pérdida de carga se produce a medida que el filtro se tapa y esto se ve reflejado en el aumento del nivel del agua en las cámaras de entrada al filtro (Vargas, Hincapie , Galvis, & Fernández, 1999).

- **Filtración Lenta en Arena (FLA):** En la operación de un FLA, la pérdida de carga máxima se da por la resistencia al paso de agua que genera el crecimiento de la biopelícula en la superficie del lecho. Cuando se llega al valor adoptado en el diseño, se debe hacer el mantenimiento del filtro el cual consiste en raspar alrededor de los centímetros la capa superficial de arena (Di Bernardo , Célia S, & e Léo Heller, s.f).Posterior a este raspado el filtro debe pasar por una nueva fase de maduración. Al igual que en el FGD_i, el mantenimiento del FLA depende de la calidad del agua; sin embargo, se estima que sea del orden de 1 a 3 meses, por lo menos.

5.3. OTRAS RECOMENDACIONES

- Debido a que la carga hidráulica del vertedero triangular se aumentó para que no fuera tan precisa, se recomienda calibrar el vertedero con el caudal teórico antes de que este comience a operar, ya que las condiciones pueden variar.
- Dependiendo de las condiciones de diseño del sistema FiME, se puede considerar la instalación de una pantalla previa a la caja de filtración, con el fin de disipar la energía del agua antes de entrar a la unidad de filtración. Según (Solsona, 2008) “La pantalla se debe colocar a 2/5 de la longitud total de la caja (medida a partir del punto en el que el agua entra en la unidad)”.

6. BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Supía Caldas. (2007). *Plan territorial de salud del municipio de Supía, Caldas*. Obtenido de http://www.supia-caldas.gov.co/Nuestros_planes.shtml?apc=gbPlan%20de%20Atenci%F3n%20B%E1sica%20en%20Salud-1-&x=1364022

- Alcaldía de Supía Caldas. (2011). *Inventario turístico de Supía*. Obtenido de <http://www.supia-caldas.gov.co/turismo.shtml>
- Alcaldía de Supía Caldas. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal 2016-2019*. Supía, Caldas: Alcaldía de Supía Caldas.
- Alcaldía Supía Caldas. (2008). *Plan Municipal de Salud 2008-2011*. Obtenido de http://supia-caldas.gov.co/apc-aa-files/63343061303634623937313933353961/PROYECTO_DE_ACUERDO__PLAN_TERRITORIAL_DE_SALUD.pdf
- Cinara. (2007). *Fase II: Informe diagnóstico participativo acueducto de las comunidades de Tumbabarreto, La Unión, Sipirra y Miraflores*. Santiago de Cali .
- Cleasby, J. L., Hilmoe, D. J., & Dimitracopoulos, C. J. (1984). Slow sand and direct in-line filtration of a surface water. *American Water Works Association*.
- Corpocaldas. (2007). *Plan de Gestión Ambiental Regional 2007-2019*. Manizales, Caldas.
- Corte Constitucional, Sentencia T-055/11 ((MP Jorge Ivan Palacio Palacio) 4 de Febrero de 2011).
- Defensoria del Pueblo. (s.f). *Diagnóstico sobre la calidad del agua para consumo humano en Colombia, en el marco del derecho humano al agua*. Bogotá.
- Defensoria del Pueblo. (s.f). *Diagnóstico sobre la Calidad del Agua para Consumo Humano en Colombia, en el marco del derecho humano al agua*. Bogota, D.C.
- Di Bernardo , L., & Rivera, E. (1996). *Influence of sand uniformity coefficient on slow sand filtration performance*. In: *Advances in slow sand and alternative biological filtration*. London, United Kingdom.

- Di Bernardo , L., Célia S, C., & e Léo Heller, B. (s.f). Tratamiento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas. Pag. 32.
- DNP. (2014). *CONPES 3810 - Política para el suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural*. Bogotá, D.C,Colombia.
- Ellis, K., & Wood, W. E. (1985). *Slow sand filtration critical reviews in environmental science and technology*. London.
- FONADE. (2013). *Alcance del programa de abastecimiento de agua y manejo de aguas residuales en zonas rurales*. Obtenido de http://www.fonade.gov.co/Contratos/Documentos/4065__20131024091544ALCANCE%20TECNICO%20OPC%20167-2013.pdf
- Galvis Castaño, G., & Latorre Montero, J. (1999). *Filtración en Múltiples Etapas- Tecnología Innovativa para el Tratamiento de Agua*. Santiago de Cali: Universidad del Valle- Cinara, Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable- TRC, International Water and Sanitation Centre.
- Galvis Cataño, G., Latorre Montero, J., & Visscher, J. T. (1999). *Filtración en multiples etapas: tecnología innovativa para el tratamiento de agua*. Cali, Colombia: Cianara, Universidad del Valle.
- Gonzales Bedoya, M. (2015). *Estandarización de las metodologías para el análisis de ph, alcalinidad y turbidez en muestras de agua potable en el laboratorio de la Asociación Municipal de Acueductos Comunitarios de Dosquebradas (amac)*. Pereira, Colombia: Universidad Tecnológica de Pereira.
- Hendricks, D. W., & Bellamy, W. D. (1991). *Microorganism removals by slow sand filtration. Slow sand filtration*. . New York .
- IDEAM. (2011). *Protocolos y procedimientos monitoreo de niveles y caudales* . Bogotá, D.C.
- IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá, D.C.

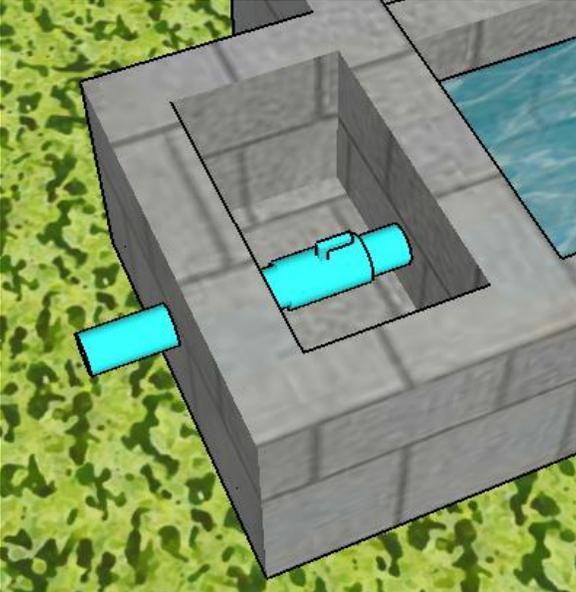
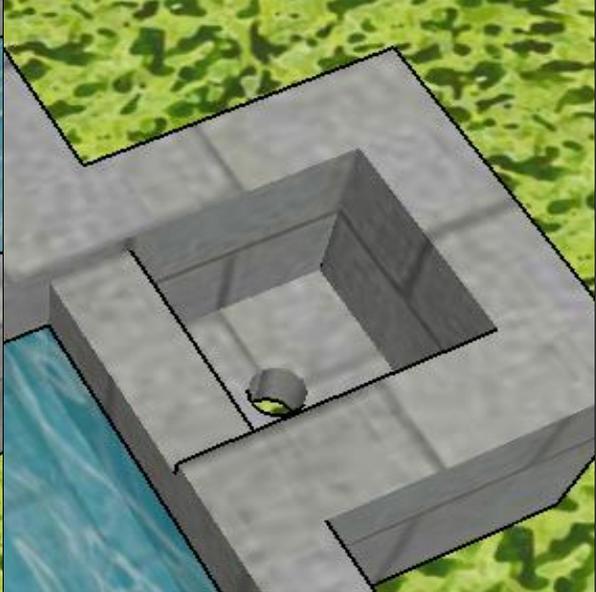
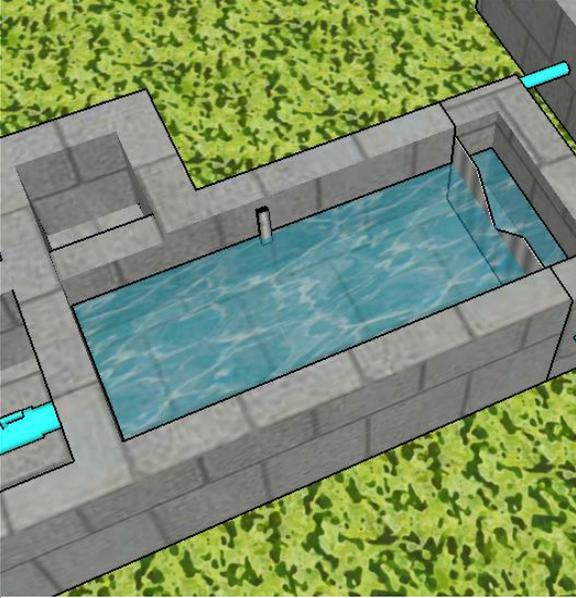
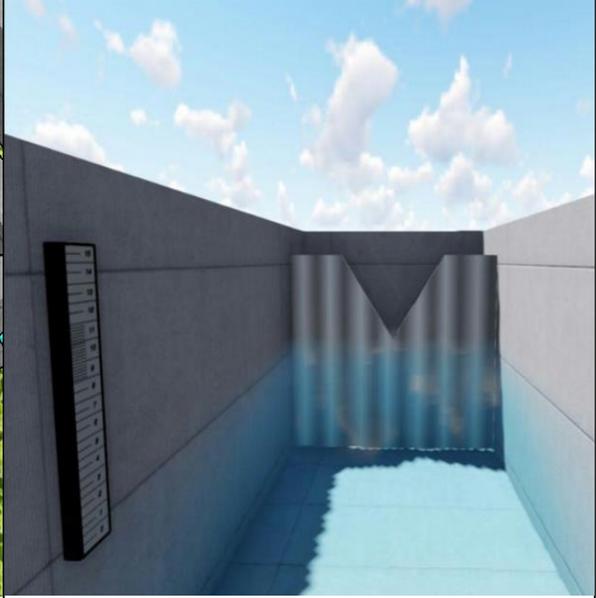
- Instituto Nacional de Salud. (2009). *Vigilancia y Control en Salud Pública*. Bogota D.C., Colombia.
- Instituto Nacional de Salud. (2015). *Enfermedades vehiculizadas por agua - EVA e Índice de Riesgo de la Calidad - IRCA. Colombia 2014*. Bogota, D.C, Colombia.
- Instituto Nacional de Salud. (2015). *Estado de la Vigilancia de la Calidad de Agua para Consumo Humano en Colombia 2014*. Bogotá, D.C, Colombia: SIVICAP.
- Ministerio de Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico*. Bogotá, D.C.
- MPS. (2014). *Informe nacional de la calidad del agua para consumo humano año 2013 con base en el IRCA*. Bogotá, D.C .
- OPS. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Lima.
- Organización Panamericana de la Salud . (18 de 01 de 2017). *Capítulo 4. Filtros Lentos*. Obtenido de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/016324/016324-04.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas*. Lima, Perú: CEPI-Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Paramasivam, R., Raman, A., Heijnen, H. A., & Visscher, J. T. (1992). *Filtración en Arena Tratamiento de Agua para Comunidades*. Cali, Colombia: Cinara & IRC.
- (2012). *Plan de Desarrollo Municipal, Supía-Caldas*. Supía, Caldas.
- Quisnancela Chauca, L. E. (2013). *Diseño de sistemas para la derivación de caudales concesionados y construcción de aforadores en la microcuenca del río Guano*. Riobamba.

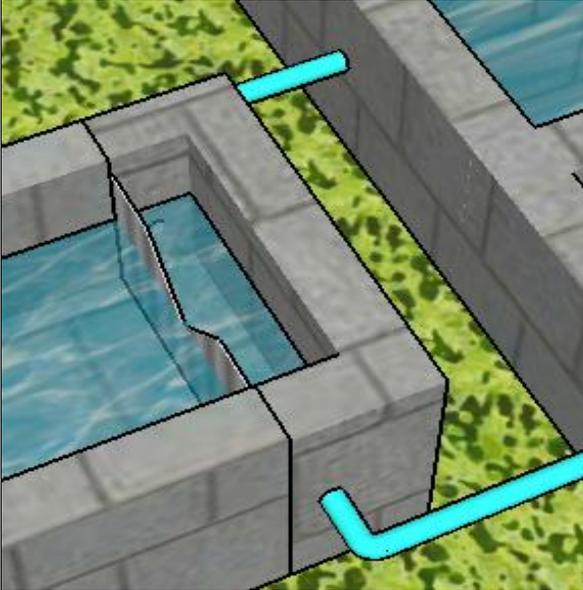
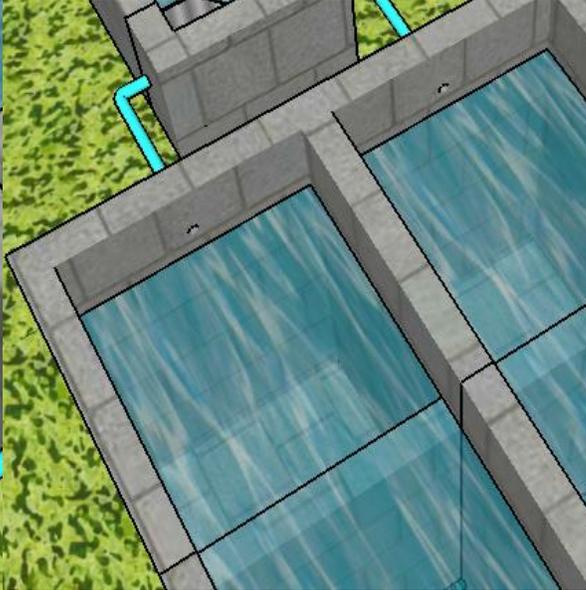
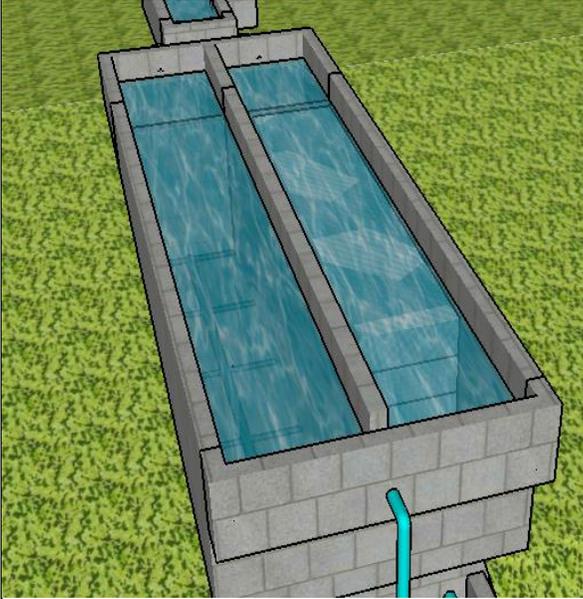
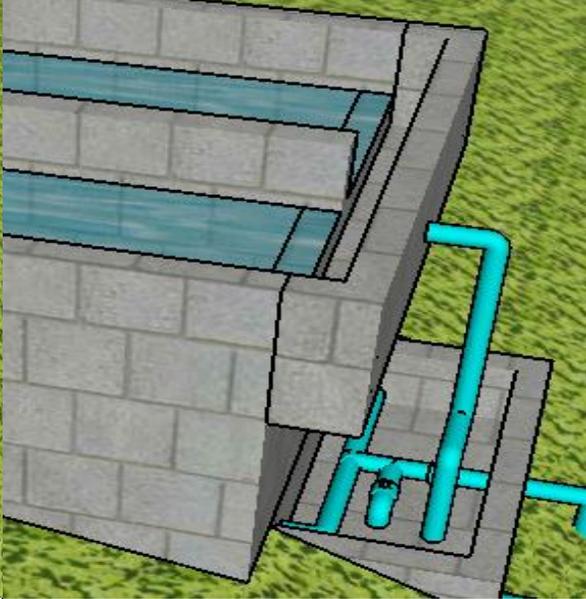
- Ramírez Arias, Y. L. (2013). *Diseño, construcción y puesta en marcha de un reactor tubular fotocatalítico (UV-A) para la degradación de desechos químicos orgánicos*. Pereira.
- Ramírez Gómez, C. J. (2013). *El territorio panelero del municipio de Caldas: Un análisis bajo el enfoque del sistema agroalimentario localizado-SIAL*. Bogotá, D.C. Obtenido de http://www.supia-caldas.gov.co/apc-aa-files/63343061303634623937313933353961/PLAN_DE_GESTION_AMBIENTAL_PARA_SUPIA_CALDAS.pdf
- Resguardo Indígena Cañamomo y Lomaprieta. (2009). *Plan de vida resguardo indígena Cañamomo y Lomaprieta - Fases de autorreconocimiento y avance de formulación*. Riosucio y Supía, Caldas.
- Resguardo Indígena de Cañamomo y Lomaprieta. (2015). *Censo*. Riosucio y Supía, Caldas.
- Resolución 2115. (2007). *Ministerio de la Protección Social- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*. Bogotá D.C.: Diario Oficial .
- Resolución CRA 750. (2016). *Modificación del rango de consumo básico*. Bogotá, D.C : Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico - CRA.
- Sánchez T, L. D., Latorre Montero, J., & Díaz, J. E. (2011). *Aplicación de la tecnología de filtración en múltiples etapas: con sistema de riego localizado de alta frecuencia*. Cali, Colombia: Universidad del Valle. .
- Sánchez, L. D., Sánchez, A., Galvis, G., & Latorre, J. (2007). *Filtración en Múltiples Etapas. Documento de revisión técnica, 15*. IRC Centro Internacional En Agua y Saneamiento- Universidad del Valle.
- Sánchez, L., Sánchez, A., Galvis, G., & Latorre, J. (2006). *Filtración en Múltiples Etapas*. Santiago de Cali, Colombia : Centro Internacional de Agua y Saneamiento.

- Solsona, F. (2008). *Filtración Dinámica*. Lima .
- Spencer , C., & Collins, M. (1991). *Water quality limitations to the low sand filter. Slow sand filtration workshop*.
- UNATSABAR. (2005). *Especificaciones técnicas para la construcción de sistemas de Filtración en Múltiples Etapas*. Lima: OPS.
- UNICEF. (2006). *La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y municipales. colaboración con la Embajada del Reino de los Países Bajos, Procuraduría General de la Nación, DNP, MADT y SUPERSERVICIOS*. Bogotá, D.C.
- Universidad del Cauca. (s.f). *Practica II. Estudio y patronamiento de vertederos*. Obtenido de http://artemisa.unicauca.edu.co/~hdulica/2_vertederos.pdf
- Urbano Jáuregui, L., Planas, A. C., Gaviño Novillo, M., & Mendiburo, N. (2000). *Agua para el siglo XXI : De la visión a la acción*. Buenos Aires, Argentina: Asociación Mundial del Agua (GWP). Comité Asesor Técnico de América del Sur (SAMTAC).
- Vargas, L. d. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual I: Teoría Tomo I*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Vargas, S., Hincapie , M. M., Galvis, G., & Fernández, J. (1999). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento por Filtración en Múltiples Etapas*. Cali, Colombia.
- Wegelin , M. (1986). *Horizontal - Flow roughing filtration (HRF) a desing, construction and operation manual*. Duebendorf, Switzerland.
- Zapata Bonilla, J. E. (2012). *Guamal, Historia de una Comunidad Negra*. Supía, Caldas.

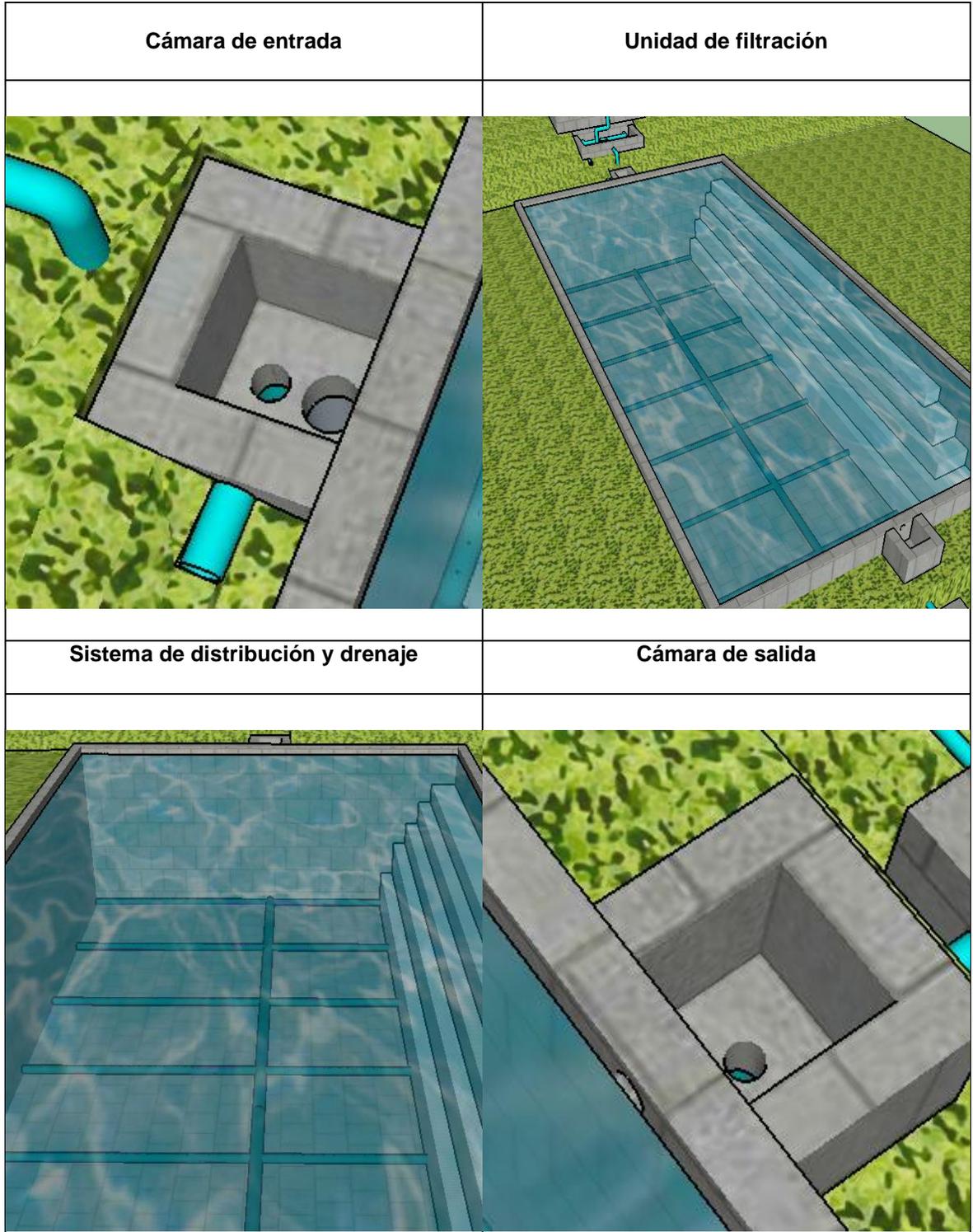
7. ANEXOS

7.1. Imágenes del diseño de la unidad FGD_i

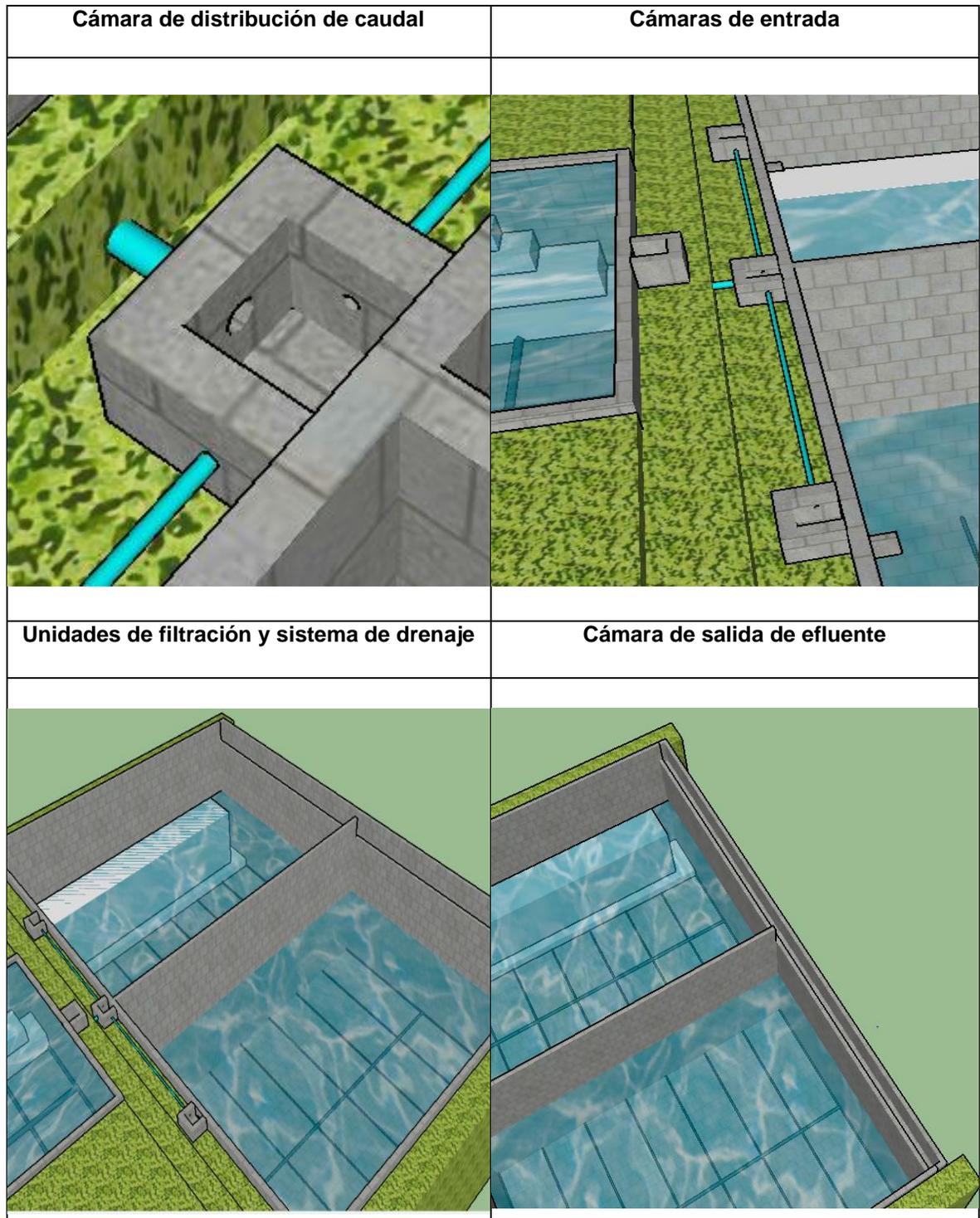
Cámara de entrada para proteger la válvula	Cámara de rebose
	
Canal de entrada	Vertedero triangular y regilla de aforo
	

<p>Tanque de distribución de caudal</p>	<p>Cámara de disipación</p>
	
<p>Unidades de filtración y sistema de distribución y drenaje</p>	<p>Cámara de agua de rebose y cámara de salida</p>
	

7.2. Imágenes del diseño de la unidad FGAC



7.3. Imágenes del diseño de la unidad FLA



Sistema de Filtración en Múltiples Etapas
para la comunidad de Guamal

