DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE MEDIANTE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS (FiME) PARA LA VEREDA SAN MIGUEL, MUNICIPIO DE SUPATÁ, CUNDINAMARCA.

LUIS FABIAN CASTRO CRISPIN
ID:37426

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
FACATATIVÁ
2026

DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE MEDIANTE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS (FiME) PARA LA VEREDA SAN MIGUEL, MUNICIPIO DE SUPATÁ, CUNDINAMARCA.

LUIS FABIAN CASTRO CRISPIN
ID:37426

Trabajo de grado realizado en la modalidad de pasantía, para optar el título de ingeniero civil

Director

ING. JUAN CARLOS BELLO FLORIAN

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENEIRÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
FACATATIVÁ
2026

LUIS FABIAN CASTRO CRISPIN
ID: 37426

DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE MEDIANTE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS (FiME) PARA LA VEREDA SAN MIGUEL, MUNICIPIO DE SUPATÁ, CUNDINAMARCA.

Trabajo de grado realizado en la modalidad de pasantía, como requisito parcial para obtener el título de ingeniero civil del programa de ingeniería civil de la Fundación Universitaria Agraria de Colombia.

APROBADO EL :

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____
Presidente del Jurado

_____
Jurado

_____
Jurado

FACATATIVÁ

Tabla de contenido

1. GLOSARIO 10
2. RESUMEN 13
3. ABSTRACT 15
4. INTRODUCCIÓN 17
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA 19
5.1 Riesgo Microbiológico Extremo e Inviabilidad Sanitaria: 19
5.2 Vulnerabilidad Física por Dinámica Geológica: 19
5.3 Desafío Demográfico y Crecimiento Poblacional: 20
5.4 Carencia de Insumos Técnicos para la Gestión: 20
6. JUSTIFICACIÓN 21
6.1 Relevancia para la Sociedad y Transformación del Contexto Real: 21
6.2 Relevancia para las Políticas Institucionales y Locales: 21
6.3 Relevancia para la Carrera de Ingeniería Civil: 21
6.4 Relevancia para la Universidad: 22
7. OBJETIVOS 23
7.1 OBJETIVO GENERAL 23
7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 23
8. MARCO REFERENCIAL 24
8.1 ESTADO DEL ARTE 24
8.1.1 Evolución del Concepto de Agua Segura y Salud Pública 24
8.1.2 Impacto de la Calidad del Agua en el Desarrollo Comunitario 24
8.1.3 La Filtración Biológica como Estándar de Oro en Tratamiento Rural 25
8.1.4 Apropiación Tecnológica y Modelado Digital 26
9. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL 27
9.1 POTABILIZACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO 27
9.1.1 Aguas superficiales. 27
9.1.2 Aguas subterráneas. 28
9.2 ASPECTOS FISICOQUÍMICOS-MICROBIOLÓGICO DEL AGUA 28
9.2.1 Características físicas. 28
9.2.2 Turbiedad 28
9.2.3 Olor 29

9.2.4 Sabor 29
9.2.5 Color 29
9.2.6 Temperatura 29
9.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS 30
9.3.1 Potencial hidrogeno (pH) 30
9.3.2 Alcalinidad 30
9.3.3 Dureza 30
9.3.4 Hierro 31
9.3.5 Cloruros 31
9.3.6 Sulfatos 31
9.3.7 Zinc 31
9.3.8 Sodio 31
9.3.9 Nitratos 31
9.4 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS 32
9.4.1 Contaminantes del agua 32
9.5 PROCESOS DE TRATAMIENTO FIME 38
9.5.1 Filtración gruesa dinámica (FGDi) 38
9.5.2 COMPONENTES PRINCIPALES DEL FGDI, BÁSICAMENTE UN FGDI ESTÁ COMPUESTO DE: 39
9.6 FILTRACIÓN LENTA EN ARENA (FLA) 40
9.6.1 Caja de filtración y estructura de entrado 41
9.6.2 Lecho filtrante 41
9.6.3 Capa de agua sobrenadante 42
9.6.4 Sistema de drenaje y cámara de salida. 42
9.6.5 Fundamentos del Proceso de Desinfección por Tiempo de Contacto 43
9.6.6 Localización tanques 44
9.7 PLANTA DE TRATAMIENTO FIME (FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS) 44
9.7.1 Generalidades 44
9.7.2 Limitaciones 45
9.7.3 Ventajas y desventajas 45
9.8 ETAPAS DE TRATAMIENTO PARA PLANTAS FIME 46
9.9 PROCESOS DE DESINFECCIÓN FINAL 48

9.10 MARCO LEGAL 49
10. DISEÑO METODOLÓGICO 52
10.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN 52
10.2 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 52
10.2.1 Tipo de Investigación: 52
10.2.2 Diseño de Investigación 52
10.3 HIPÓTESIS Y SISTEMA DE VARIABLES 53
10.3.1 Hipótesis de trabajo: 53
10.3.2 Variable Independiente: 53
10.3.3 Variable Dependiente: 53
10.4 POBLACIÓN Y MUESTRA 53
10.4.1 Población: 53
10.4.2 Muestra: 53
10.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN 54
10.6 FASES DEL PROYECTO Y NORMATIVA APLICADA 54
METODOLOGÍA DEL PROYECTO 54
11. RESULTADOS 67
11.1 CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO 1: DIAGNÓSTICO Y DEMANDA HÍDRICA 67
11.2 CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO 2: ENTRADA Y REGULACIÓN 68
11.3 DIMENSIONAMIENTO DE UNIDADES DE PRETRATAMIENTO (FGDI). 70
11.4 CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO 3: DIMENSIONAMIENTO DE LA FILTRACIÓN LENTA 71
11.5 CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO 4: DISEÑO DE LA BARRERA DE DESINFECCIÓN Y MODELADO 3D 72
12. ANÁLISIS DE RESULTADOS 73
12.1 INTERPRETACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y RÉGIMEN DE FLUJO 73
12.2 COMPARACIÓN NORMATIVA Y CLASIFICACIÓN DEL RIESGO 73
12.3 JUSTIFICACIÓN CONSTRUCTIVA DE LOS ESPESORES DE MURO 74
12.4 CAUSAS DE VARIACIÓN Y ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO 75
13. CONCLUSIONES 76
14. RECOMENDACIONES 78
14.1 PROTECCIÓN DE UNIDADES CRÍTICAS Y CONTROL DE INSUMOS: 78
14.2 GESTIÓN DE ESCORRENTÍAS POR EVENTOS CLIMÁTICOS: 78

14.3 PRESERVACIÓN DE LA CAPA BIOLÓGICA EN EL FLA: 78
14.4 PROTOCOLO DE LAVADO Y MANTENIMIENTO DE LECHOS 79
14.4.1 Mantenimiento de unidades 79
14.4.2 Lavado Superficial de la Filtración Gruesa Dinámica (FGDi) 79
14.5 CONSIDERACIONES SOBRE EL AGUA DE LAVADO 80
14.6 TIEMPOS DE MADURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA: 81
15. REFERENCIAS 82
Referencias 82
16. ANEXO 84

Ilustración 1. Corte transversal FGDi 38
Ilustración 2. Corte transversal FLA 41
Ilustración 3. Sistema de tratamiento FIME 45
Ilustración 4. Localización extracción de muestra. 54
Ilustración 7. Tomo de muestra 55
Ilustración 7. Recepción de muestra en laboratorio 55
Ilustración 7. Obtencion de Resultados 55
Ilustración 8. Panorámica FiME 66
Ilustración 9. Resultado prueba microbiológica 68
Ilustración 10. Cámara de válvulas (SketchUp). 69
Ilustración 11. Cámara de Disipación de energía (SketchUp). 69
Ilustración 12. Canal rectangular de ingresos y vertedero de excesos (SketchUp). 69
Ilustración 13. Filtro grueso dinámico (SketchUp). 70
Ilustración 14. Filtro Lento en Arena (SketchUp). 71
Ilustración 15. Tanque de contacto con cloro (SketchUp). 72

Tabla 1. Los principales métodos se presentan en el cuadro. 36
Tabla 2. Propiedades de los productos del cloro 37
Tabla 3. Parámetros de calidad de agua. 37
Tabla 4. Rangos de calidad de agua en fuentes superficiales para orientar la selección de opciones FiME 47
Tabla 5. Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas (OPS/CEPIS/2009). 48
Tabla 6. *Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas, FiME. (Todas las opciones incluyen FGDi 2.0 y FLA0.15) (Cinara 1999)* 56
Tabla 7. Dotación. 57
Tabla 8. Excel tanque contacto de cloro 66
Tabla 9. Población y proyección de población. 68
Tabla 10. Cámara de válvulas (Excel). 69
Tabla 11. Cámara de Disipación de energía (Excel) 69
Tabla 12. Canal rectangular de ingresos y vertedero de excesos (Excel). 69
Tabla 13. Resumen FGDi (Excel) 70
Tabla 14. Resumen FLA (Excel) 71
Tabla 15. Tanque de contacto con cloro (Excel) 72

Ecuación 1. Método lineal - población 57
Ecuación 2. Caudal medio 58
Ecuación 3. Caudal de diseño - FGDi 59
Ecuación 4. Velocidad de filtración - FGDi 59
Ecuación 5. Área superficial del filtro - FGDi 59
Ecuación 6. Área superficial - FGDi 60

Ecuación 7. As - Despeje longitud - FGDi 60
Ecuación 8. Peso Especifico 60
Ecuación 9. Reynolds- FGDi 61
Ecuación 10. Ergun - FGDi 61
Ecuación 11. Perdida de presión - FGDi 61
Ecuación 12. Diámetro tubería principal FGDi 62
Ecuación 13. Caudal tubería segundaria FGDi 62
Ecuación 14. Diámetro tubería segundaria FGDi 63
Ecuación 15. Caudal de diseño en m3/s - FLA 64
Ecuación 16. Velocidad de filtración - FLA 64
Ecuación 17. Área superficial - FLA 64
Ecuación 18. Viscosidad dinamica - FLA 65
Ecuación 19. Ergun - FLA 65
Ecuación 20. Carga hidraulica - FLA 65

1. GLOSARIO.

AGUA POTABLE: agua que por sus características organolépticas, físicas, químicas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano, cumpliendo con los estándares de la Resolución 2115 de 2007.

ÁREA SUPERFICIAL: superficie horizontal de una unidad de filtración destinada al paso del flujo. En el proyecto, es el parámetro base para determinar la velocidad de filtración tanto en el FGDi como en el FLA.

BAFLE (O PANTALLA): elemento estructural interno de un tanque diseñado para modificar la dirección del flujo de agua, evitando cortocircuitos hidráulicos y optimizando el tiempo de contacto con el desinfectante.

BORDE LIBRE: distancia vertical comprendida entre el nivel máximo de la lámina de agua y la parte superior de los muros de la estructura, destinada a absorber oscilaciones y evitar desbordamientos.

CAUDAL MÁXIMO DIARIO (Qmaxd): volumen de agua que debe ser suministrado en el día de mayor consumo durante el año. Es el caudal base utilizado para el dimensionamiento del sistema FiME en la Vereda San Miguel.

DOTACIÓN NETA: cantidad de agua asignada a un habitante para cubrir sus necesidades básicas diarias, expresada en L/hab.día. Para este diseño se adoptó un valor de 130 L/hab.día.

FACTOR DE EFICIENCIA (f_i): coeficiente adimensional que relaciona el tiempo de contacto real con el teórico en una unidad de desinfección, determinado por la geometría y configuración interna del tanque.

FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS (FiME): tecnología de tratamiento de agua que combina procesos físicos y biológicos a través de barreras sucesivas de filtración en grava y arena.

FILTRACIÓN GRUESA DINÁMICA (FGDi): primera etapa del sistema FiME diseñada para remover sólidos suspendidos y picos de turbiedad mediante el paso del agua a través de lechos de grava de diferentes diámetros.

FILTRACIÓN LENTA EN ARENA (FLA): proceso de purificación biológica y física donde el agua atraviesa un lecho de arena fina a baja velocidad, permitiendo la remoción de microorganismos patógenos.

FLUJO PISTÓN: modelo hidráulico ideal donde el agua se desplaza a través de una estructura de forma uniforme, asegurando que cada partícula de agua permanezca dentro del tanque el mismo periodo de tiempo.

PÉRDIDA DE CARGA: disminución de la energía total del flujo causada por la fricción y resistencia al paso a través de los medios porosos (grava o arena).

PERIODO DE DISEÑO: tiempo proyectado (25 años para este proyecto) durante el cual se garantiza que las estructuras diseñadas serán capaces de atender la demanda de la población.

SCHMUTZDECKE: capa biológica que se desarrolla en la superficie del filtro lento de arena, compuesta por microorganismos que degradan la materia orgánica y eliminan patógenos.

VELOCIDAD DE FILTRACIÓN: relación entre el caudal de agua que ingresa al filtro y el área superficial del lecho filtrante, expresada generalmente en m/h o m/d.

CINARA: El Instituto **CINARA** de la Universidad del Valle en Colombia es un centro de investigación transdisciplinaria reconocido por el Ministerio de Ciencia (Minciencias), enfocado en la gestión ambiental, saneamiento, abastecimiento de agua potable y conservación de recursos hídricos.

2. RESUMEN

El presente trabajo de grado desarrolla el diseño técnico de un sistema de tratamiento de agua potable mediante la tecnología de Filtración en Múltiples Etapas (FiME), proyectado para la Vereda San Miguel en el municipio de Supatá, Cundinamarca. La investigación surge ante la ausencia de infraestructura de tratamiento en la zona, situación que obliga a la comunidad a abastecerse directamente de la Quebrada Hornos. Mediante análisis de laboratorio, se determinó que dicha fuente presenta un Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) del 100%, siendo catalogada como Inviable Sanitariamente debido a la presencia de Escherichia coli y Coliformes totales, lo que representa un riesgo crítico para la salud pública.

La metodología se fundamentó en la Resolución 0330 de 2017 (RAS) y los lineamientos del Instituto CINARA para tecnologías sostenibles. Con una población proyectada al año 2051 de 893 habitantes y un caudal máximo diario de 1.75 L/s, se dimensionó un sistema compuesto por: dos unidades de un Filtro Grueso Dinámico (FGDi) para la remoción de sólidos suspendidos, dos unidades de Filtración Lenta en Arena (FLA) para la eliminación de patógenos mediante procesos biológicos, y un tanque de contacto de cloro con factor de eficiencia de 0.6 para garantizar la desinfección final.

Como resultado final, este trabajo entrega las memorias de cálculo detalladas y un modelado tridimensional en SketchUp, configurándose como un estudio de pre-factibilidad técnica. Esta propuesta se presenta como un insumo clave para la administración municipal, con el propósito de que sea integrada en el Banco de Programas y Proyectos de Inversión

Municipal (BPIM) y sirva de base para la gestión de recursos que permitan materializar el acceso al agua potable en la Vereda San Miguel.

PALABRAS CLAVE: Agua potable, Filtración Lenta (FLA), FiME, Quebrada Hornos, Gestión Pública, Supatá, Inviable Sanitariamente, Modelado 3D.

3. ABSTRACT

This degree project develops the technical design of a drinking water treatment system using Multi-Stage Filtration (MSF) technology, projected for the San Miguel rural district in the municipality of Supatá, Cundinamarca. The research arises from the lack of water treatment infrastructure in the area, a situation that forces the community to supply itself directly from the Hornos Creek. Through laboratory analysis, it was determined that this water source has a Water Quality Risk Index (IRCA) of 100%, being classified as Sanitarily Unviable due to the presence of Escherichia coli and total coliforms, representing a critical risk to public health.

The design methodology was based on Resolution 0330 of 2017 (RAS) and the technical guidelines from the CINARA Institute for sustainable technologies. With a projected population of 893 inhabitants by the year 2051 and a maximum daily flow rate of 1.75 L/s, the system was dimensioned with three main barriers: a Dynamic Roughing Filter (DRF) for the removal of suspended solids, two Slow Sand Filter (SSF) units for the elimination of pathogens through biological processes, and a chlorine contact tank with an efficiency factor of 0.6 to guarantee final disinfection.

As a final result, this work provides detailed calculation memories and a 3D modeling in SketchUp, serving as a technical pre-feasibility study. This proposal is presented as a key input for the municipal administration, with the purpose of being integrated into the Municipal Investment Program and Project Bank (BPIM) and serving as a basis for the management of resources to achieve access to safe drinking water in the San Miguel rural district.

KEYWORDS: Drinking water, Slow Sand Filtration (SSF), MSF, Hornos Creek, Public Management, Supatá, Sanitarily Unviable, 3D Modeling.

4. INTRODUCCIÓN

El acceso a los servicios de agua potable y saneamiento básico constituye uno de los pilares fundamentales para el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y es un motor determinante en el cierre de brechas entre el sector urbano y el rural. En el contexto colombiano, la normativa técnica liderada por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (**RAS 0330 de 2017**) ha establecido marcos de referencia para que los municipios pequeños y zonas rurales implementen soluciones de ingeniería que garanticen la salud pública. No obstante, en municipios con topografía quebrada como **Supatá, Cundinamarca**, el reto no solo es la cobertura, sino la sostenibilidad operativa de las soluciones propuestas.

En la **Vereda San Miguel**, la ausencia histórica de un sistema de tratamiento ha generado una dependencia directa de fuentes superficiales sin control sanitario. La **Quebrada Hornos**, principal fuente de abastecimiento para esta comunidad, ha sido caracterizada en el marco de este trabajo mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos que revelan un escenario crítico. La presencia de patógenos como *Escherichia coli*, evidenciada en un **IRCA del 100%**, hace que el consumo de agua cruda sea un factor de riesgo permanente para la salud de los habitantes.

Frente a esta problemática, el presente trabajo de grado propone el diseño integral de una planta de tratamiento basada en la tecnología de **Filtración en Múltiples Etapas (FiME)**. A diferencia de los sistemas de tratamiento convencionales, que demandan un uso intensivo de productos químicos (coagulantes y floculantes) y supervisión técnica altamente especializada, el sistema FiME se fundamenta en procesos naturales de sedimentación,

filtración física y depuración biológica. Este enfoque es particularmente valioso para la administración municipal, ya que reduce significativamente los costos de operación y mantenimiento, permitiendo que la comunidad y el municipio gestionen el sistema con mayor autonomía.

El documento desarrolla el dimensionamiento hidráulico de tres unidades principales: la cámara de disipación de energía y aducción, el **Filtro Grueso Dinámico (FGDi)** diseñado para el control de la turbiedad, y las unidades de **Filtración Lenta en Arena (FLA)** encargadas de la purificación microbiológica. Finalmente, se incluye el diseño de un tanque de contacto de cloro con flujo en pistón para asegurar la desinfección total. Todo el conjunto técnico es respaldado por un **modelado tridimensional en SketchUp**, que actúa como una herramienta de visualización de pre-factibilidad para facilitar la toma de decisiones administrativas en el Banco de Proyectos de Inversión Municipal.

5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La Vereda San Miguel, situada en el municipio de Supatá, Cundinamarca, enfrenta una problemática estructural de saneamiento básico que compromete la seguridad hídrica y la salud pública de sus habitantes. Actualmente, la vereda carece de un sistema de tratamiento de agua potable, lo que obliga a la población a abastecerse directamente de la **Quebrada Hornos** sin ninguna barrera sanitaria que mitigue la carga contaminante de la fuente.

Esta problemática se describe a través de los siguientes componentes críticos:

5.1 Riesgo Microbiológico Extremo e Inviabilidad Sanitaria: La calidad del agua de la Quebrada Hornos representa un peligro inminente para el consumo humano. Según el estudio de laboratorio realizado para este proyecto (Empresas Aguas de Facativa, 2025), la fuente presenta un **Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA) del 100%**, lo que la clasifica como **Inviable Sanitariamente**. Los análisis confirman la presencia de *Escherichia coli* y Coliformes totales, cuya existencia se atribuye directamente a las **actividades de ganadería** desarrolladas en la cuenca alta. La escorrentía transporta desechos orgánicos y patógenos hacia la captación, convirtiendo el sistema de abastecimiento en un vector de enfermedades gastrointestinales para la comunidad.

5.2 Vulnerabilidad Física por Dinámica Geológica: La microcuenca de la Quebrada Hornos presenta **fenómenos de remoción en masa de pequeña escala** en su parte alta. Estos desplazamientos, aunque focalizados, generan aportes súbitos de sedimentos y sólidos suspendidos, especialmente durante eventos de precipitación intensa. La ausencia de unidades de pre-tratamiento físico provoca que el agua llegue a las viviendas con niveles de

turbiedad que exceden los límites de la Resolución 2115 de 2007, deteriorando la infraestructura hidráulica y dificultando cualquier intento de desinfección doméstica.

5.3 Desafío Demográfico y Crecimiento Poblacional: El sistema actual, además de ser sanitariamente deficiente, es insuficiente frente a la dinámica demográfica de la zona. Se estima que para diciembre de 2025 la población es de **205 habitantes**, pero las proyecciones técnicas a 25 años indican que la demanda aumentará para servir a **893 habitantes** en el año 2051. Diseñar una solución que ignore este crecimiento del 435% resultaría en una obsolescencia técnica prematura, perpetuando la crisis de saneamiento a corto plazo.

5.4 Carencia de Insumos Técnicos para la Gestión: Finalmente, la problemática se agrava por la **ausencia de estudios y diseños de detalle** que cumplan con los estándares del **RAS 0330 de 2017**. Sin una propuesta de ingeniería de pre-factibilidad que sea operativamente sostenible y económicamente viable para el municipio, la administración local no cuenta con las herramientas necesarias para gestionar los recursos requeridos para la construcción de la planta. Esto genera un círculo vicioso de desabastecimiento de agua segura en la Vereda San Miguel.

6. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de este proyecto de investigación se fundamenta en la necesidad imperante de cerrar la brecha de desigualdad en el acceso al agua potable en el sector rural de Supatá. La relevancia de este estudio se analiza desde cuatro dimensiones fundamentales:

6.1 Relevancia para la Sociedad y Transformación del Contexto Real: El impacto directo de esta investigación recae sobre los **205 habitantes actuales** y los **893 proyectados** de la Vereda San Miguel. Al transformar los hallazgos críticos del laboratorio (IRCA del 100%) en un diseño técnico viable, se genera una solución real a una problemática de salud pública. La transferencia de este conocimiento permite que una comunidad vulnerable, afectada por la contaminación de la **Quebrada Hornos** debido a actividades ganaderas y sedimentación por remoción en masa, cuente con una hoja de ruta técnica para alcanzar la seguridad hídrica y reducir la incidencia de enfermedades de origen hídrico.

6.2 Relevancia para las Políticas Institucionales y Locales: Este estudio se alinea con el Plan de Desarrollo Municipal, al proporcionar un insumo de pre-factibilidad técnica (memorias de cálculo y modelado en SketchUp) que el municipio no poseía. Al entregar un diseño bajo la normativa **RAS 0330**, se facilita la gestión de recursos públicos y la toma de decisiones basada en evidencia técnica, permitiendo que el proyecto sea radicado en el Banco de Programas y Proyectos de Inversión Municipal (BPIM). Además, al ser un sistema FiME, promueve la política de sostenibilidad ambiental al minimizar el uso de químicos.

6.3 Relevancia para la Carrera de Ingeniería Civil: Para la profesión, este proyecto reivindica el papel del ingeniero civil como un agente de cambio social. Demuestra la aplicabilidad de tecnologías apropiadas (FiME) que, aunque son de bajo costo operativo,

requieren un alto rigor en el dimensionamiento hidráulico y estructural. La integración del modelado tridimensional como herramienta de comunicación técnica resalta la importancia de las nuevas tecnologías de representación en la ingeniería rural contemporánea.

6.4 Relevancia para la Universidad: Como "La U Verde de Colombia", este proyecto representa la esencia institucional de **Uniagraria**. Al enfocarse en la resolución de problemas en el sector rural y proponer tecnologías que respetan los ciclos biológicos (como la *Schmutzdecke* en el FLA) y la dinámica de las fuentes superficiales, la investigación aporta al fortalecimiento de las líneas de investigación en recursos hídricos y desarrollo regional, cumpliendo con la misión de proyectar el conocimiento académico hacia el bienestar de las comunidades agrarias.

7. OBJETIVOS

7.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de tratamiento de agua potable mediante la tecnología de Filtración en Múltiples Etapas (FiME), a través del dimensionamiento hidráulico bajo la normativa resolución 0330 y representación gráfica 3D en SketchUp.

7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar el escenario demográfico de la Vereda San Miguel mediante el análisis de la calidad de agua de la Quebrada Hornos y el cálculo de la demanda hídrica para la población proyectada al año 2051.
- Dimensionar hidráulicamente las unidades del sistema de Filtración en Múltiples Etapas (Cámara de disipación, FGDi, FLA y Tanque de contacto) bajo los requerimientos de la Resolución 0330 de 2017 (RAS) para garantizar la remoción de patógenos.
- Representar gráficamente el sistema de tratamiento mediante el software SketchUp, integrando los detalles internos de las unidades (lechos filtrantes, bafles y vertederos) como herramienta de visualización técnica para presentar el diseño.

8. MARCO REFERENCIAL

8.1 ESTADO DEL ARTE

8.1.1 Evolución del Concepto de Agua Segura y Salud Pública

Tradicionalmente, el estado del arte en ingeniería sanitaria se enfocaba exclusivamente en la "potabilización", entendida como el cumplimiento de parámetros fisicoquímicos. Sin embargo, en las últimas décadas, la tendencia global liderada por la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha migrado hacia el concepto de **"Agua Segura"**. Este enfoque establece que, en contextos rurales, no basta con la entrega de un efluente que cumpla la norma, sino que la tecnología debe ser resiliente y operable por la comunidad para garantizar la permanencia del beneficio en el tiempo.

Relación con el proyecto: El diseño de un sistema FiME para la Vereda San Miguel se inscribe en esta tendencia de "tecnología apropiada". Al no depender de suministros químicos externos de alto costo, el proyecto asegura una transformación social sostenible, eliminando la barrera económica que suele llevar al abandono de las plantas de tratamiento convencionales en zonas de difícil acceso.

8.1.2 Impacto de la Calidad del Agua en el Desarrollo Comunitario

La relación entre la calidad del agua y el desarrollo socioeconómico de una región ha sido un tema central en la investigación sanitaria de la última década. El estado del arte indica que el consumo de agua cruda, especialmente en cuencas con influencia de **actividades de ganadería**, no solo genera enfermedades agudas, sino que produce efectos crónicos en la población más vulnerable.

En el contexto del proyecto, se reconoce que la presencia de *Escherichia coli* y otros coliformes totales detectados en la **Quebrada Hornos** (con un IRCA del 100%) actúa como un factor limitante para el desarrollo humano en la Vereda San Miguel. Investigaciones recientes han acuñado el término "Enteropatía Ambiental", una condición donde la exposición constante a patógenos fecales impide la absorción de nutrientes en niños, lo que deriva en una reducción del potencial cognitivo y físico.

Relación con el proyecto: Al abordar el hallazgo del **IRCA del 100%** en la Quebrada Hornos, el presente estudio no se limita a una obra civil, sino que se proyecta como una intervención de salud pública. El alcance del diseño para los **893 habitantes proyectados** busca transformar la realidad sanitaria de la vereda, impactando positivamente en los indicadores de bienestar y asistencia escolar.

8.1.3 La Filtración Biológica como Estándar de Oro en Tratamiento Rural

La evolución del tratamiento de agua ha demostrado que, mientras los procesos químicos (coagulación-floculación) son eficientes para remover partículas grandes, la **filtración biológica** es el mecanismo más robusto para la eliminación de microorganismos resistentes. El estado actual de la tecnología FiME destaca que el corazón del tratamiento no es el tamizado físico, sino la interacción biológica que ocurre en el lecho de **arena fina**.

El concepto de la *Schmutzdecke* (capa biológica) es reconocido internacionalmente como una comunidad ecológica compleja que realiza funciones de depredación y competencia biológica. En esta capa, los microorganismos autóctonos consumen a los patógenos provenientes de la fuente superficial. Además, estudios de instituciones como **CINARA** han evidenciado que la filtración lenta tiene una capacidad superior para remover

quistes de parásitos y otros patógenos que a menudo sobreviven a la desinfección simple con cloro si el agua presenta turbiedad.

Relación con el proyecto: La configuración propuesta (Cámara de disipación → FGDi → FLA → Desinfección) aplica el máximo estándar de seguridad hídrica. Se reconoce que cada etapa prepara el agua para la siguiente; el Filtro Grueso Dinámico mitiga el impacto de los sedimentos generados por los desplazamientos en masa, permitiendo que el Filtro Lento en Arena realice la purificación microbiológica de manera óptima a través de la **arena fina** y su capa biológica.

8.1.4 Apropiación Tecnológica y Modelado Digital

Finalmente, el estado del arte actual destaca la importancia de la "Apropiación Tecnológica". El éxito de la infraestructura rural depende de la capacidad de los entes gestores y la comunidad para comprender y cuidar el sistema.

Relación con el proyecto: El uso de herramientas de modelado digital como **SketchUp** en esta investigación permite trascender los planos bidimensionales. Esta técnica de visualización facilita la transferencia del conocimiento hacia la administración municipal, proporcionando un insumo de pre-factibilidad que es comprensible tanto para técnicos como para tomadores de decisiones, reduciendo el riesgo de rechazo social del proyecto.

9. MARCO TEORICO Y CONCEPTUAL

9.1 POTABILIZACIÓN DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

El término potabilización del agua es el conjunto de operaciones unitarias de tipo físico, químico o biológico cuya finalidad es la eliminación o reducción de la contaminación o las características no deseables de las aguas naturales; Todo con el fin de reducir las impurezas a niveles aceptables. Al hacerlo así, se producen ventajas adicionales, tales como reducciones en hierro y manganeso, reducciones en algas y en patógenos.

El ser humano a través de la historia se ha desarrollado y establecido alrededor de fuentes de agua, ya que es de vital importancia para todas sus actividades, La vida depende del agua. El acceso al agua potable es fundamental para la salud, es uno de los derechos humanos básicos y un componente de las políticas eficaces de protección de la salud (OMS 2020) (Organización Mundial de la Salud). Su eficiente distribución y calidad determinan a su vez la calidad de vida del ser humano, por ello, es necesario regular estos aspectos.

El agua superficial debe ser tratada por filtro lento de arena para así poder tener la mejor calidad posible, con bajos niveles de turbiedad, color, sustancias tóxicas, algas y otros residuos químicos, como hierro y manganeso.

9.1.1 Aguas superficiales.

Aguas superficiales son aquellas que se encuentran sobre la superficie del suelo. Esta se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas. Pueden presentarse en forma corrientosa, como en el caso de corrientes, ríos y arroyos, o quietas si se trata de lagos, reservorios, embalses, lagunas, humedales, estuarios, océanos y mares.

Para propósitos regulatorios, suele definirse al agua superficial como toda agua abierta a la atmósfera y sujeta a escorrentía superficial. Una vez producida, el agua superficial sigue el camino que le ofrece menor resistencia. Una serie de arroyos, riachuelos, Corrientes y ríos llevan el agua desde áreas con pendiente descendente hacia un curso de agua principal.

9.1.2 Aguas subterráneas.

El agua subterránea es aquella que queda almacenada, o se desliza, cuando el agua de lluvia, o la que proviene de ríos o lagos, llega hasta las capas impermeables de la tierra, después de atravesar las permeables. (Br. Josías Magdiel Martínez Martínez, 2021)

Las aguas dulces representan el 6 % de la totalidad del agua del planeta, y de ellas las aguas subterráneas son el 4.3 %. Son un gran recurso hídrico, ya que puede extraerse el agua para consumo, por medio de pozos, aunque puede hallarse contaminado, por fertilizantes o pesticidas, por lo cual las aguas subterráneas requieren una revisión especializada antes de ser usada

9.2 ASPECTOS FISICOQUÍMICOS-MICROBIOLÓGICO DEL AGUA

9.2.1 Características físicas

Son necesarias para identificar las condiciones estéticas del agua. Entre las cuales tenemos:

9.2.2 Turbiedad

La turbidez es la dificultad del agua, para trasmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales.

Son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc. Además, interfiere con la mayoría de los procesos a que se pueda destinar el agua. La turbidez nos da una noción de la apariencia del agua y sirve para tener una idea acerca de la eficiencia de su tratamiento.

9.2.3 Olor

Se debe fundamentalmente a la presencia de sustancias químicas indeseables, materia orgánica en descomposición, bacterias, etc. El olor puede ser indicativo de contaminación de diversos tipos.

9.2.4 Sabor

El agua potable debe estar exenta de sabor, de lo contrario puede ser que haya indicio de cambios en la calidad de la fuente de agua natural o deficiencias en el sistema de tratamiento.

9.2.5 Color

No tiene color. Si aparece color es debido a sustancias de origen vegetal, materia orgánica del suelo, a la presencia de hierro, manganeso y otros compuestos metálicos. La eliminación o reducción del color se hace normalmente mediante coagulación, sedimentación y filtración. En algunos casos, también se emplean la cloración y el carbón activo.

9.2.6 Temperatura

La temperatura es una de las constantes físicas que adquiere gran importancia en el desarrollo de los fenómenos que ocurren en el agua, ya que puede determinar la variación de sus propiedades físicas, químicas o biológicas. La variación de temperatura afecta a parámetros tales como la solubilidad de los gases en el agua, viscosidad, densidad solubilidad de sales, etc. (Santander, 2011)

9.3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.

El agua es un recurso que posee una inmensa cantidad de elementos y compuestos sin embargo la mayoría de estos no tienen mucho significado. Se tiene que controlar las cantidades, ya que pueden alterar la calidad del agua, entre ellas se tienen:

9.3.1 Potencial hidrogeno (pH)

El pH es una de las pruebas más comunes para conocer parte de la calidad del agua. El pH indica la acidez o alcalinidad, en este caso de un líquido como es el agua, pero es en realidad una medida de la actividad del potencial de iones de hidrógeno (H +). Las mediciones de pH se ejecutan en una escala de 0 a 14, con 7.0 considerado neutro. Las soluciones con un pH inferior a 7.0 se consideran ácidos. Las soluciones con un pH por encima de 7.0, hasta 14.0 se consideran bases o alcalinos. Todos los organismos están sujetos a la cantidad de acidez del agua y funcionan mejor dentro de un rango determinado.

9.3.2 Alcalinidad

Se define como la capacidad del agua para neutralizar ácidos. Los bicarbonatos y los carbonatos representan las formas más importantes de alcalinidad.

9.3.3 Dureza

Se denomina dureza del agua a la concentración de compuestos minerales que hay en una determinada cantidad de agua, en particular sales de magnesio y calcio. El agua denominada comúnmente como “dura” tiene una elevada concentración de dichas sales y el agua “blanda” las contiene en muy poca cantidad.

9.3.4 Hierro

La presencia de hierro en las aguas no tiene efectos de salubridad, pero afecta el sabor, produce manchas indelebles en los artefactos sanitarios y la ropa blanca, se deposita en redes de distribución, causando obstrucciones y alteraciones en la turbiedad y color.

9.3.5 Cloruros

El contenido de cloruros no suele plantear problemas de potabilidad a las aguas de consumo. Pero un contenido elevado de cloruros puede dañar las conducciones y estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal.

9.3.6 Sulfatos

Las aguas naturales generalmente no contienen altas concentraciones de sulfatos, pero cuando se haya en cantidades apreciables tiene efecto sobre el sabor.

9.3.7 Zinc

Este elemento es esencial y benéfico para el metabolismo humano; sin embargo, su presencia en grandes cantidades provoca un sabor astringente por lo cual su contenido debe limitarse.

9.3.8 Sodio

Es un elemento constante en el agua, no obstante, las concentraciones pueden ser extremadamente variable y afectar directamente el sabor del agua.

9.3.9 Nitratos

Resultan tóxicos cuando se presentan en el agua en grandes cantidades.

9.4 CARACTERÍSTICAS MICROBIOLÓGICAS

El agua puede contener parásitos, bacterias, virus y protozoos que se descargan en el agua con los desperdicios de tipo animal y humano, generalmente por el vertimiento de residuos a la corriente de agua más cercana. Constituyen la parte biológica de la contaminación del agua y han sido causa de grandes epidemias como el cólera.

9.4.1 Contaminantes del agua

9.4.1.1 Contaminantes Microbiológicos La naturaleza posee una variadísima gama de microorganismos, y el mundo entero se encuentra gobernado por ellos, los cuales forman parte del desarrollo y equilibrio en los ecosistemas, sus interrelaciones y peculiaridades. Todos ellos aprovechan los nutrientes y las condiciones ambientales de sus alrededores para sobrevivir.

El agua es uno de los medios más importantes para la expansión de los microorganismos. Diferentes microorganismos pueden colonizar el líquido y comenzar su florecimiento, muchos de ellos altamente peligrosos para la salud humana, por lo que cobran aún más relevancia en el agua de consumo. Por lo que es imperante el control de microorganismos dañinos para la salud de los consumidores en el recurso hídrico.

Dentro de los microorganismos dañinos para la salud se encuentran los protozoarios, transmitidos por excretas humanas o animales, como la Giardia intestinalis, Entamoeba histolytica y Cryptosporidium, y las bacterias Salmonella spp, Shiguella, Ecoli patógena, Vibrio Cholerae, Leptospira interrogans, cianobacterias, entre otras.

También son microorganismos molestos en el agua potable, las bacterias llamadas comúnmente como bacterias del hierro y del azufre, puesto que causan corrosión galvánica,

generando problemas en los sistemas de tuberías en los acueductos, y además forman depósitos que le aportan color y olor desagradables al agua.

Además, el agua puede trasmitir virus, como enterovirus, hepatovirus, rotavirus, calicivirus, adenovirus y astrovirus. Otros organismos que pueden estar presentes en el agua, y que son trasmisores de enfermedades son los helmintos, grupo de parásitos que incluye cestodos, trematodos y nematodos. Cobran importancia aquellos cuya ruta de trasmisión la constituye la fecal-oral.

9.4.1.2 Contaminantes químicos

Los riesgos para la salud asociados a los componentes químicos del agua de consumo se deben principalmente a su capacidad de bioacumularse y producir efectos crónicos adversos sobre la salud, es decir tras periodos de exposición prolongados.

Aunque las concentraciones de las sustancias o compuestos sean bajas, o se encuentren por debajo de los niveles establecidos por la legislación respectiva, no dejan de tener relevancia, debido a que el consumo diario de agua supone una ingestión frecuente de las sustancias presentes en ella. Esto provoca un aumento de concentración en el cuerpo, a través del tiempo, ya que no son desechadas tan fácilmente, como si lo es el agua por medio de la orina. Esto representa un grave peligro muchas veces silenciado, y no solo es riesgoso como agua de bebida, sino como componente esencial de las labores cotidianas, como medio de cocción de alimentos, aseo personal, entre otras.

Entre los compuestos más encontrados en aguas, se encuentran los nitratos y nitritos, provenientes de la aplicación excesiva de fertilizantes o a la filtración de aguas residuales u otros residuos orgánicos a las aguas subterráneas. Los nitritos, provocan

metahemoglobinemia, principalmente en niños, condición conocida como el Síndrome del niño azul.

La exposición a concentraciones elevadas de fluoruro, de origen natural, genera problemas dentales, y en casos graves, fluorosis ósea incapacitante. El arsénico también puede llegar al agua de forma natural, y sus efectos son bien conocidos y documentados, ya que ocasiona lesiones cutáneas graves, y eleva el riesgo significativamente de sufrir cáncer.

9.4.1.3 Contaminantes físicos y organolépticos

Ciertas características físicas del agua pueden interferir en la calidad requerida para ser considerada apta para el consumo humano. Dentro de estos se encuentran las características organolépticas como el sabor, el olor, y el color, asociadas a los contaminantes químicos y microbiológicos.

Estas deben ser de tal modo, que el consumidor no perciba como desagradable el agua, ya que, de otro modo, no sería ingerida. También afectan algunas características físicas como las partículas suspendidas o sedimentables, y la turbiedad.

9.4.1.4 Desinfección

Actualmente, el objetivo de la desinfección del agua es asegurar que el consumidor reciba agua esencialmente saludable mediante la destrucción de los agentes patógenos y, además, que mantenga una barrera protectora contra los gérmenes dañinos a la salud humana que se podrían introducir en el sistema de abastecimiento agua, suprimiendo de esta manera la posterior contaminación microbiológica del agua. Ya que es el último proceso y uno de los más importantes en el tratamiento del agua destinada al consumo humano.

Eficiencia de la desinfección La eficiencia de este proceso dependerá de factores que se deberán tener en cuenta, como son:

- La naturaleza y número de los organismos a ser destruidos.
- El tipo y concentración del desinfectante usado.
- La temperatura del agua a ser desinfectada. Cuanta más alta sea la temperatura, más rápido es el proceso.
- El tiempo de contacto entre el desinfectante y el agua. Mientras mayor sea este periodo, los resultados son mejores. La totalidad de muertes de microorganismos es proporcional al tiempo de contacto.
- La calidad del agua a ser desinfectada. Si el agua contiene partículas, especialmente de naturaleza coloidal y orgánica, la eficiencia de la desinfección es menor. Es recomendable que la turbiedad del agua sea menor a 5 UNT.
- Las condiciones de la mezcla. Se obtiene buenos resultados cuando la mezcla del agua y el desinfectante es homogénea.

9.4.1.5 Métodos de desinfección en medios rurales.

Los desinfectantes y el equipo de desinfección se deben seleccionar de modo que satisfagan en lo posible las condiciones específicas de la aplicación a que se destinen teniendo en cuenta todos los factores que influyen en la fiabilidad, continuidad y eficacia de la desinfección.

Cuadro 1. Métodos de desinfección del agua disponibles

Físicos		Químicos		
Ultrafiltración Ultrasonido Ósmosis inversa Electroforético Ebullición Congelación		Cloro	Gas	
			Hipoclorito	o Sodio o Calcio
			Dióxido de cloro Cloraminas	
Radiación ionizante	o Gamma o Ultravioleta	Permanganato de potasio Yodo Bromo Ozono Peróxido de hidrógeno Plata		

Fuente: OPS/CEPIS. (2009)

Tabla 1. Los principales métodos se presentan en el cuadro.

9.4.1.6 Métodos de desinfección aplicables

Las características que deben tener los métodos de desinfección para ser aplicables en el ámbito rural son los siguientes:

- Rápido y efectivo.

- Fácilmente soluble en agua en las concentraciones requeridas y capaz de proveer una acción residual.

- Que no afecte el sabor, olor o color del agua.

- Fácil de manipular, transportar, aplicar y controlar.

Bajo estas características el cloro es uno de los métodos que más aplica en el área rural.

9.4.1.7 Productos disponibles método de cloración

- Cloro gaseoso (no aplicable al ámbito rural) El uso de cloro gas no es recomendable para caudales menores a 500 m3/día, lo que, a una dotación de 100 litros por habitante por día, típica del medio rural, significa que el cloro gas solo es recomendable para poblaciones mayores de 5,000 habitantes.

- Cal clorada.
- Hipoclorito de sodio.
- Hipoclorito de calcio.

Nombre y formula	Nombre comercial o común	Aspecto	% Cloro activo	Estabilidad en el tiempo	Seguridad	Envase usual
Cal clorada CaO.2CaCl 2O. 3H2O	Cal clorada, Polvo blanqueador, hipoclorito de calcio, cloruro de cal	Polvo blanco seco	15 a 35%	Media. Se deteriora rápidamente cuando se expone a temperatura alta, humedad y/o luz solar. Pérdida de 1% al mes.	Corrosivo	Latas de 1.5 kg Tambores de 45 - 135 kg Bolsas plásticas o de papel de 25 – 40 kg, otros.
Hipoclorito de sodio NaClO	Hipoclorito de sodio, blanqueador líquido, lejía, agua lavandina, agua sanitaria	Solución líquida amarillenta	1 a 15% como máximo. Concentraciones mayores a 10% son inestables.	Baja. Pérdida de 2- 4% por mes; mayor si la temperatura excede los 30°C	Corrosivo	Diversos tamaños de botellas de plástico y vidrio, y garrafones
	Hipoclorito de sodio por electrólisis *in situ*	Solución líquida amarillenta	0.1 – 0.6 %	Baja	Oxidante	Volumen variable
Hipoclorito de calcio Ca(ClO)2.4 H2O	HTH, Perclorón	Polvo, gránulos y tabletas. Sólido blanco	Polvo: 20 – 35% Granulado: 65 - 70% Tabletas: 65 –70%	Buena. Pérdida de 2- 2.5% por año	Corrosivo. Inflamación posible al entrar en contacto con ciertos materiales ácidos.	Latas de 1.5 kg, tambores 45 - 135 kg, baldes de plástico

Fuente: OPS/CEPIS. (2009)

Tabla 2. Propiedades de los productos del cloro

El sistema de desinfección deberá garantizar la calidad del agua para el consumo humano, cumpliendo con la normatividad vigente o las Guías de la OMS si no hubiera. Los valores referenciales de índole bacteriológico y químico (cloro) son:

Referencia	Parámetro	Valor referencial	Observaciones
Norma Calidad del Agua (1946)	Cloro	----	Cloro residual en el agua > 0,3 mg/lt y <0.6 mg/lt,
	Coli fecales o E. Coli	0 UFC/100 ml	
	Coliformes totales	0 UFC/100 ml	
Guías para la calidad del agua Potable (Tercera Edición Volumen 1) – OMS-2004	Cloro	5 **mg/lt**	Para que la desinfección sea eficaz, debe haber una concentración residual de cloro libre >=0,5 mg/litro tras un tiempo de contacto de al menos 30 min a pH <8,0
	Coli fecales o E. Coli	0 UFC/100 ml	
	Coliformes totales	0 UFC/100 ml	

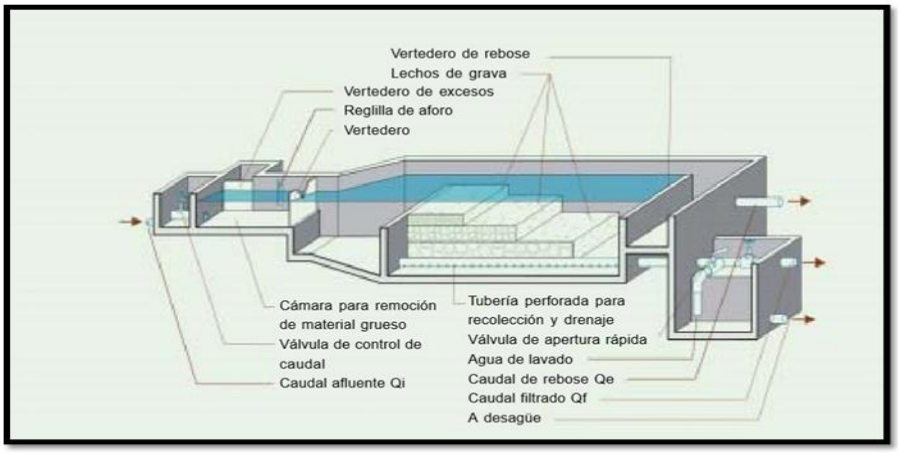
Fuente: OPS/CEPIS. (2009)

Tabla 3. Parámetros de calidad de agua.

9.5 PROCESOS DE TRATAMIENTO FIME

9.5.1 Filtración gruesa dinámica (FGDi)

Un sistema FGDi consiste básicamente de dos o más módulos operados en paralelo con flujo descendente, donde cada unidad es empacada con lechos de grava de tamaños variables en el rango de gruesa en el fondo a fina en la superficie. La grava de menor tamaño origina grandes áreas superficiales dentro del lecho filtrante y, por consiguiente, valores bajos de carga superficial, favoreciendo el proceso de sedimentación como mecanismo predominante en la remoción de material sólido.



Fuente: Alvestegui Alfonzo. (2009)

Ilustración 1. Corte transversal FGDi

En un FGDi, el caudal de diseño, Qi, afluente a la unidad, percola verticalmente a través de lechos de grava, para ser colectado en el fondo por un sistema de drenaje que lo conduce a la siguiente etapa de tratamiento. En la zona de salida se proyecta un vertedor de rebose rectangular cuya cresta es diseñada entre 0.03 y 0.05 m por encima del nivel superficial de grava, lo cual contribuye a mejorar el comportamiento hidráulico del filtro, Al

inicio de la carrera de filtración (pérdida de carga generalmente < 0.01 m), la unidad opera a tasa constante y progresivamente, la resistencia hidráulica se incrementa hasta alcanzar la cresta de rebose.

A partir de ese momento, el FGDi empieza a declinar, distribuyéndose el Qi entre el caudal filtrado, Qf y el caudal de rebose, Qe. La capacidad de declinar origina el nombre de "dinámico" a la unidad de filtración.

9.5.2 COMPONENTES PRINCIPALES DEL FGDI, BÁSICAMENTE UN FGDI ESTÁ COMPUESTO DE:

9.5.2.1 Cámara de filtración.

Es la zona donde se realiza el proceso de tratamiento y el lugar donde se ubica el lecho filtrante, los medios de soporte y el sistema de drenaje. La altura total de la cámara está determinada por la altura del lecho filtrante, la altura del vertedor de salida y el borde libre requerido. Normalmente la altura total del filtro es de 0.70 m, con paredes verticales construidas generalmente en mampostería estructural o concreto reforzado. Físicamente las cámaras de filtración poseen forma rectangular sugiere realizar mayor investigación sobre el modelaje físico de los FGDi, a fin de superar algunos limitantes en el comportamiento hidrodinámico de la unidad.

9.5.2.2 Lechos filtrantes y de soporte.

El medio filtrante está conformado por tres capas de grava con tamaños que varían entre 3.0 y 25.0 mm. La capa más fina se coloca en la superficie y la más gruesa sobre el fondo de la unidad, cubriendo el sistema de drenaje o múltiple recolector. Tanto la grava de fondo como la intermedia funcionan como lechos de soporte, aunque existen evidencias de

su contribución en la remoción de material suspendido. 20 El tamaño de la grava del lecho de soporte, varía según el tamaño de la grava superficial y del diámetro de los orificios del múltiple recolector. En general, la altura del lecho de soporte no debe ser inferior al diámetro del conducto recolector principal, y el tamaño de la grava en contacto con los colectores laterales, debe ser mayor en toda circunstancia, al diámetro de los orificios especificados en dicho colector.

9.5.2.3 Estructuras de entrada y salida.

La estructura de entrada debe incluir elementos que permitan la disipación de energía, el control, la medición y distribución de flujo y el vertimiento de excesos. Un buen diseño de estos componentes contribuye significativamente a la adecuada operación y mantenimiento del FGDi y del sistema de tratamiento en general. La estructura de salida debe permitir tanto el drenaje del caudal de rebose durante la operación a tasa declinante del FGDi, como el vertimiento del agua de lavado durante la limpieza superficial del filtro.

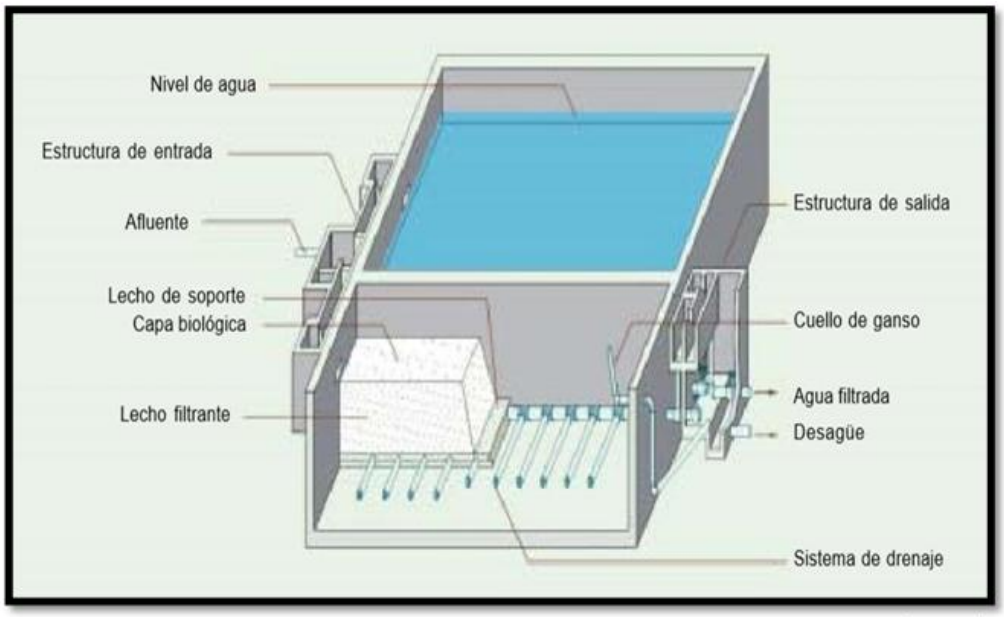
9.5.2.4 Accesorios de regulación y control.

El tipo y número de accesorios utilizados en las unidades de FGDi y en otros componentes de FiME, que incluyen válvulas para regulación de caudal, válvulas para desagüe y válvulas de apertura rápida para limpieza de fondo del filtro grueso.

9.6 FILTRACIÓN LENTA EN ARENA (FLA)

El tratamiento del agua en una unidad de FLA es el producto de un conjunto de mecanismos de naturaleza biológica y física, los cuales interactúan de manera compleja para mejorar la calidad microbiológica del agua. Consiste en un tanque con un lecho de arena fina, colocado sobre una capa de grava que constituye el soporte de la arena la cual, a su vez, se encuentra sobre un sistema de tuberías perforadas que recolectan el agua filtrada. El flujo es

descendente, con una velocidad de filtración muy baja que puede ser controlada preferiblemente al ingreso del tanque. Una unidad de filtración lenta en arena consta básicamente de los siguientes elementos:



Fuente: OPS/CEPIS. (2009)

Ilustración 2. Corte transversal FLA

9.6.1 Caja de filtración y estructura de entrado

La caja del filtro posee un área superficial condicionada por el caudal a tratar, la velocidad de filtración y el número de filtros especificados para operar en paralelo, Las cajas de filtración pueden ser construidas de hormigón reforzado, ferrocemento, concreto ciclópeo o mampostería estructural y sus paredes pueden ser verticales o inclinadas.

9.6.2 Lecho filtrante

La selección del tamaño de los granos del medio filtrante es un factor crucial en el rendimiento del filtro; un tamaño efectivo con grano fino mejorará la eficiencia del proceso de tratamiento, aunque aumentará las pérdidas de carga inicial, La adecuada selección de arena incluye entre otros, los siguientes factores; tamaño y distribución de los granos,

contenido de impurezas y grado de solubilidad del material. El tamaño de los granos se determina con base en el diámetro efectivo, d10, y su distribución granulométrica, por el coeficiente de uniformidad C. El D10 (Diámetro), es la abertura del tamiz a través del cual pasa el 10% (en peso) de los granos. 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, En consecuencia, Cu = D60/D10 Se recomienda arena relativamente fina con diámetro efectivo entre 0.15 y 0.30 mm y coeficiente de uniformidad menor de 5 y preferiblemente entre 2.0 y 4.

9.6.3 Capa de agua sobrenadante

La altura de 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. En un filtro con control a la entrada, la carga inicial es cercana a 0.05 m, valor que gradualmente se incrementa hasta alcanzar el nivel máximo, oscilando entre 0.60 y 0.80 m. El valor más alto se recomienda para afluentes con gran variación en su calidad.

9.6.4 Sistema de drenaje y cámara de salida.

El sistema de drenaje en un FLA debe cumplir tres funciones básicas: Soportar el material filtrante e impedir su arrastre a través del lecho de grava y dispositivos de colección y transporte. Asegurar la recolección uniforme del agua filtrada en toda el área de filtración. Permitir el llenado ascendente de los FLA y la distribución uniforme del agua de llenado, bien sea durante el arranque inicial o después del raspado de cualquier módulo de filtración.

El sistema de drenaje consta de un dren principal y sus respectivos conductos laterales que pueden construirse a partir de tuberías perforadas, tuberías corrugadas, ladrillo sobre ladrillo, losas prefabricadas de hormigón sobre vigas de hormigón o baldosas de hormigón sobre cuartos de baldosas. Independiente del material empleado, los laterales deben ser cubiertos con un lecho de grava debidamente gradada. El lecho de grava se constituye en una interfaz entre la arena fina y los orificios de colección, evitando la penetración del material filtrante al sistema de drenaje.

9.6.5 Fundamentos del Proceso de Desinfección por Tiempo de Contacto

La desinfección constituye la etapa final y crítica dentro de un sistema de tratamiento de agua. Su función técnica es garantizar la inactivación de microorganismos patógenos que, debido a su naturaleza o dimensiones, logren superar las barreras físicas y biológicas previas. Este proceso actúa como el factor determinante para asegurar que el agua cumpla con los estándares de potabilidad microbiológica, eliminando indicadores de contaminación fecal como la *Escherichia coli*.

Desde el punto de vista de la ingeniería, la eficacia de la desinfección no depende únicamente de la dosificación del agente químico, sino de la eficiencia hidráulica de la unidad donde ocurre la reacción. El marco conceptual del tratamiento se fundamenta en la **Cinética de Desinfección**, donde la variable del tiempo de exposición es tan relevante como la concentración del desinfectante. Para que la inactivación sea efectiva, el agua debe poseer niveles mínimos de turbiedad, evitando que las partículas en suspensión actúen como escudos protectores para los microorganismos.

El sistema de desinfección adoptado utiliza una configuración de flujo controlado para maximizar el contacto entre el agente desinfectante y el flujo de agua. Esta arquitectura hidráulica busca mitigar los "cortocircuitos" (zonas donde el agua transita a velocidades excesivas sin el tiempo suficiente de reacción) y las "zonas muertas" (áreas de estancamiento que reducen el volumen útil del tanque). Al obligar al flujo a seguir una trayectoria definida, se garantiza un régimen de **Flujo en Pistón**, asegurando que cada partícula de agua reciba la dosis necesaria durante el tiempo requerido por la normativa para su completa desinfección antes de ser distribuida para el consumo humano.

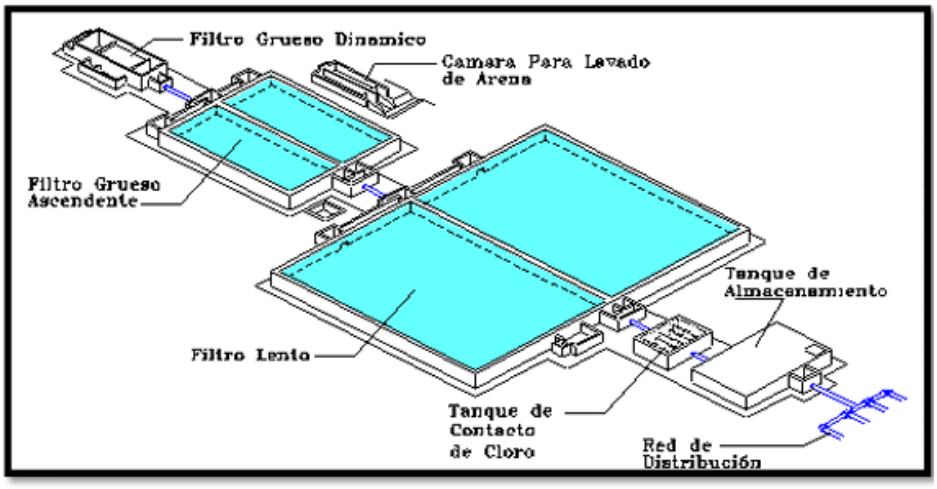
9.6.6 Localización tanques

Los tanques de almacenamiento deberán estar localizados en zonas próximas al poblado y tomándose en cuenta la topografía del terreno, de tal manera que brinden presiones de servicios aceptables en los puntos de distribución.

9.7 PLANTA DE TRATAMIENTO FIME (FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS)

9.7.1 Generalidades

La tecnología de filtración en múltiples etapas (FiME), presenta un gran potencial para superar los problemas que actualmente limitan el suministro de agua potable en comunidades rurales, pequeños y medianos municipios en países en desarrollo. Esta tecnología no requiere el uso de sustancias químicas ni aparatos mecánicos complejos y puede ser fácilmente operada, mantenida y administrada por miembros de la comunidad. Una planta de tratamiento FiME consta de tres etapas de tratamiento: Filtro Grueso Dinámico (FGDi), Filtro Grueso ascendente (FGA) y Filtro Lento en Arena (FLA).



Fuente: OPS/CEPIS. (2009)

Ilustración 3. Sistema de tratamiento FIME

9.7.2 Limitaciones

Uno de los factores que limita al sistema son los altos niveles de contaminación que exceden la capacidad de tratamiento. Los sólidos suspendidos o la turbiedad del agua ocasionan taponamientos prematuros de los filtros y altos niveles de color exceden la capacidad de remoción.

Por otra parte, la naturaleza biológica del tratamiento requiere de un caudal continuo de agua que asegure el suministro de oxígeno y nutrientes. El tratamiento es afectado negativamente por las bajas temperaturas, la baja concentración de nutrientes y los bajos niveles de oxígeno disuelto.

9.7.3 Ventajas y desventajas

9.7.3.1 Ventajas.

- Bajos costo de operación y mantenimiento.

- Producción del agua de buena calidad sin productos químicos.

- Reducción de riesgos fisicoquímico y bacteriológico.
- Es operado por personal de baja escolaridad.
- No requiere de mucha inversión para su construcción.

9.7.3.2 Desventajas.

- No es apta para abastecer a una población en crecimiento (grandes poblados).
- Su caudal máximo para diseño es de 35 Lts/seg para una población equivalente a 2270 personas.
- Dificultad en el tratamiento del agua con altos niveles de turbiedad y concentraciones de hierro y manganeso.
- Ocupa mucho espacio.
- Ineficiente tratamiento para aguas con altas contaminaciones microbiológicas tales como protozoos, virus y bacterias.
- Deficiente tratamiento a bajas temperaturas.
- Baja eficiencia en la remoción de color natural y carbono orgánico.

9.8 ETAPAS DE TRATAMIENTO PARA PLANTAS FIME

A continuación, se detalla la parte conceptual de cada una de las unidades que conforman esta tecnología FIME. Tal como selección del sistema sus funciones, componentes, forma de trabajo, operatividad y diseño de cada etapa de tratamiento para su debida comprensión.

De acuerdo con los valores de turbiedad, coliforme fecales (CF) y color real en el agua cruda, se puede clasificar en un rango de bajo, intermedio y alto, para luego proceder a escoger una serie de tratamientos FiME.

Rango	Nivel promedio
Bajo	**Turbiedad < 10 UNT** **COLIFORME FECALES < 500 UFC / 100 ML** **COLOR REAL < 20UPC**
Intermedio	**Turbiedad 10 – 20 UNT** **COLIFORME FECALES < 500 – 10,000 UFC/ 100 ML** **COLOR REAL < 20 – 30 UPC**
Alto	**Turbiedad 20 – 70 UNT** **COLIFORME FECALES 10,000 – 20,000 UFC/100ML** **COLOR REAL < 30 – 40 UPC**

Fuente: OPS/CEPIS. (2009)

Tabla 4. Rangos de calidad de agua en fuentes superficiales para orientar la selección de opciones FiME

Todas las opciones FiME incluyen FGDi y FLA. Ya que el FGDi es utilizada para "reducir los extremos de los picos de turbiedad y proteger de esta manera la planta de tratamiento ante altas cargas de sólidos transportadas por la fuente durante unas pocas horas. Cuando la fuente transporta valores elevados de sólidos fácilmente sedimentables, estos se depositan en la superficie del lecho de grava, colmatando el filtro rápidamente y restringiendo parcial o totalmente el paso de agua. Esta respuesta protege las unidades de tratamiento siguientes, en este caso la FLA." (CEPIS, 2009).

Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas, FiME. (Todas las opciones incluyen FGDi 2.0 y FLA0.15).

Coliformes Fecales (UFC/100 ml) \ Turbiedad (UNT) / Color Real (UC)	< 10 / < 20	10-20 / 20-30	20-50 / 30-40	50-70 (*) / 30-40 (*)
< 500	Sin FGA	$FGAC_{0.6}$	$FGAC_{0.45}$	$FGAS3_{0.3}$
500 - 10000	$FGAC_{0.6}$	$FGAC_{0.6}$	$FGAC_{0.45}$	$FGAS3_{0.3}$
10000 - 20000 (*)	$FGAC_{0.45}$	$FGAC_{0.45}$	$FGAC_{0.45}$	$FGAS3_{0.3}$

(*) 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)

Bajo
Medio
Alto

Tabla 5. Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas (OPS/CEPIS/2009).

9.9 PROCESOS DE DESINFECCIÓN FINAL

Ningún desinfectante cumple a cabalidad los requisitos o características mencionado en el índice 4.2.6 anteriormente mencionados, sin embargo, existen diferentes alternativas para la desinfección final del agua, de modo que ésta sea apta para el consumo humano, cada una con sus ventajas y desventajas. Dentro de las principales se encuentran, la cloración, ozonización, ósmosis inversa y la desinfección con yodo. (NACIONAL, 2021)

9.10 MARCO LEGAL

El marco legal del presente proyecto se fundamenta en la normativa colombiana que garantiza el derecho al acceso a servicios públicos domiciliarios y establece los criterios técnicos para infraestructuras de saneamiento básico. La jerarquía normativa se detalla a continuación:

- Constitución Política de Colombia (1991).

Como norma suprema, establece las bases del Estado Social de Derecho en relación con los servicios básicos:

- Artículo 49: Establece que el saneamiento ambiental es un servicio público a cargo del Estado.
- Artículo 365: Determina que los servicios públicos son inherentes a la finalidad social del Estado y es su deber asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes.
- Artículo 366: Define que el bienestar general y el mejoramiento de la calidad de vida son objetivos fundamentales, otorgando prioridad al gasto público social en agua potable.
- Ley 142 de 1994 (Ley de Servicios Públicos Domiciliarios)

Establece el régimen de los servicios públicos en Colombia. Regula las competencias de las entidades territoriales y la obligación de prestar servicios de acueducto con calidad, continuidad y eficiencia, proporcionando el sustento administrativo para la implementación de soluciones de potabilización.

- Resolución 0330 de 2017 (Reglamento Técnico del Sector - RAS)

Es el pilar técnico obligatorio para todo diseño de ingeniería hidráulica en el país. Esta resolución establece los requisitos técnicos mínimos para los procesos de diseño, construcción y operación de sistemas de acueducto.

Periodos de diseño: Define los horizontes de tiempo para la proyección de infraestructura según el nivel de complejidad y población.

Estructuras de tratamiento: Regula los parámetros de dimensionamiento para unidades de filtración y exige el mantenimiento de un borde libre (entre 0.20 m y 0.50 m) en estructuras de almacenamiento y tratamiento para garantizar la seguridad operativa ante variaciones de flujo.

- Resolución 2115 de 2007

Define las características físicas, químicas y microbiológicas que debe cumplir el agua para ser considerada apta para consumo humano en el territorio nacional.

Parámetros microbiológicos: Establece la obligatoriedad de alcanzar valores de 0 UFC de Escherichia coli y Coliformes totales por cada 100 ml, lo cual vincula legalmente la necesidad de procesos de filtración y desinfección en fuentes superficiales.

- Decreto 1076 de 2015 (Sector Ambiente)

Compila las normas ambientales sobre el uso del recurso hídrico, regulando las concesiones de agua y la protección de las fuentes hídricas, asegurando que el aprovechamiento se realice bajo lineamientos de sostenibilidad ambiental.

- Ley 1523 de 2012 (Política Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres)

Establece que el diseño de infraestructura pública debe considerar la reducción de riesgos y la adaptación al cambio climático. Esta ley justifica técnicamente la inclusión de unidades de protección y pre-tratamiento en sistemas de potabilización expuestos a variaciones extremas en la calidad de la fuente por fenómenos naturales.

10. DISEÑO METODOLÓGICO

10.1 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN

El presente estudio se enmarca en un enfoque cuantitativo. Según Hernández-Sampieri, este enfoque utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico. En este proyecto, el enfoque permite cuantificar la demanda hídrica de la población proyectada al año 2051 y evaluar, mediante parámetros físicos y químicos, la eficiencia necesaria en los procesos de Filtración Gruesa Dinámica (FGDi) y Filtración Lenta en Arena (FLA) para alcanzar los estándares de potabilidad.

10.2 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

10.2.1 Tipo de Investigación:

Se define como descriptiva-propositiva. Es descriptiva porque analiza detalladamente las condiciones actuales de la fuente hídrica (Quebrada Hornos) y el estado sanitario de la comunidad. Es propositiva porque, a partir del diagnóstico, formula un diseño de ingeniería civil que soluciona la problemática identificada.

10.2.2 Diseño de Investigación:

Es no experimental y de corte transversal. No se realiza una manipulación intencionada de las variables en un entorno controlado; en su lugar, se recolectan datos de la fuente en un momento único para fundamentar el diseño de la planta de tratamiento.

10.3 HIPÓTESIS Y SISTEMA DE VARIABLES

10.3.1 Hipótesis de trabajo: "La implementación de una planta de tratamiento basada en la tecnología de Filtración en Múltiples Etapas (FiME), bajo los lineamientos técnicos de la Resolución 0330 de 2017, garantiza la remoción de la carga microbiológica (*E. coli*) y la reducción de turbiedad de la Quebrada Hornos, entregando agua apta para el consumo humano".

10.3.2 Variable Independiente: Los parámetros de diseño hidráulico (tasas de filtración, granulometría de la arena fina, tiempos de contacto y volúmenes de almacenamiento).

10.3.3 Variable Dependiente: La calidad del agua efluente, medida a través del Índice de Riesgo de la Calidad del Agua (IRCA).

10.4 POBLACIÓN Y MUESTRA

10.4.1 Población: Está constituida por los habitantes de la Vereda San Miguel. Para el diseño, se utiliza la población proyectada a un horizonte de 25 años (año 2051), calculada mediante métodos demográficos (Geométrico o Aritmético) según lo estipulado en el Título B del RAS 0330, resultando en una población objetivo de 893 habitantes.

10.4.2 Muestra: Se define como una muestra puntual de agua cruda tomada en la Quebrada Hornos. Se justifica la representatividad de la muestra recolectada en la Vereda Paraíso, dado que comparte la misma unidad hidrográfica y presiones antrópicas que el punto de captación proyectado para San Miguel, asegurando que los datos de entrada para el diseño sean conservadores respecto a la carga contaminante.

10.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN

Se emplean técnicas de observación directa en campo y análisis documental:

- **Técnica de Laboratorio:** Análisis físico-químico y microbiológico bajo protocolos estandarizados para determinar color, turbiedad, pH y presencia de patógenos.

- **Instrumentos de Cálculo:** Memorias de cálculo desarrolladas en Excel, aplicando las ecuaciones de pérdida de carga y cinética de desinfección.

- **Instrumentos de Modelado:** Software SketchUp para la creación de un prototipo digital tridimensional que permite verificar interferencias, volúmenes de bafles y disposición de lechos filtrantes.

10.6 FASES DEL PROYECTO Y NORMATIVA APLICADA

El proyecto se estructura en cuatro fases secuenciales, cada una regida por normas técnicas específicas:

METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Etapas

Etapa 1. Diagnóstico Hídrico y Social

Fase 1. Localización de la fuente.



Ilustración 4. Localización extracción de muestra.

Localización georreferenciada del Punto 1 (Zona de Muestra) en la Vereda Paraíso, Supatá. Se detallan las coordenadas geográficas obtenidas mediante Google Earth para la fase de diagnóstico hídrico.

Fase 2. Toma de la muestra.



Muestra obtenida en la quebrada Hornos del municipio de Supatá Cund.

Ilustración 7. Tomo de muestra

Fase 3. Análisis de laboratorio.

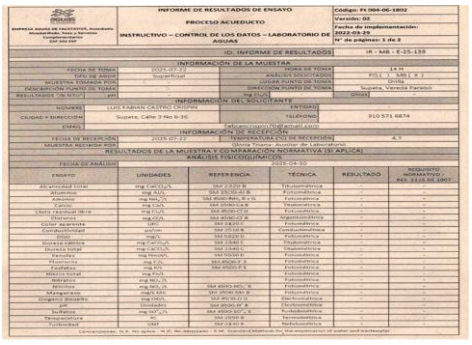


La muestra es llevada al laboratorio siguiendo los protocolos de toma, manipulación, conservación y disposición final.

(Empresas aguas de Facatativá)

Ilustración 7. Recepción de muestra en laboratorio

Fase 4. Obtención de resultados.



La empresa hace entra de los resultados de la muestra extraída de la quebrada hornos del municipio de Supatá Cund.

(Empresas aguas de Facatativá)

Ilustración 7. Obtencion de Resultados

Fase 5. Selección de alternativa FiME

Dependiendo de los parámetros seleccionados de calidad de agua, la eficiencia de las etapas de tratamiento y consideraciones de costos se pueden adoptar las siguientes alternativas de tratamiento FiME: (FGDi + FLA), (FGDi + FGAC + FLA), (FGDi + FGAS + FLA).

La prefiltración gruesa continua o en serie dependerá de la calidad del afluente y las condiciones físicas del lugar.

Las condiciones mínimas requeridas para la adopción de un sistema de filtración por múltiples etapas serán asumidas de acuerdo con la Tabla 6.

Coliformes Fecales (UFC/100 ml) \ Turbiedad (UNT)	< 10	10-20	20-50	50-70 (*)
Color Real (UC)	< 20	20-30	30-40	30-40 (*)
< 500	Sin FGA	$FGAC_{0.6}$	$FGAC_{0.45}$	$FGAS3_{0.3}$
500 - 10000	$FGAC_{0.6}$	$FGAC_{0.6}$	$FGAC_{0.45}$	$FGAS3_{0.3}$
10000 - 20000 (*)	$FGAC_{0.45}$	$FGAC_{0.45}$	$FGAC_{0.45}$	$FGAS3_{0.3}$

Clasificación de fuentes según el rango de calidad : Bajo, Medio, Alto

FGDi - FILTRO GRUESO DINAMICO
FGAC - FILTRO GRUESO ASCENDENTE EN CAPAS
FGAS3 - FILTRO GRUESO ASCENDENTE EN SERIE (3 ETAPAS)
FGH3 - FILTRO GRUESO HORIZONTAL (3 ETAPAS)
FLA - FILTRO LENTRO ARENA

Tabla 6. *Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas, FiME. (Todas las opciones incluyen FGDi 2.0 y FLA0.15) (Cinara 1999)*

SELECCIÓN

Sistema de Filtración en Múltiples Etapas **(FiME),** compuesto por Filtro Grueso Dinámico **(FGDi),** Filtración Lenta en Arena **(FLA)** y Desinfección con Cloro, es la respuesta técnica más robusta y sostenible para la problemática de calidad de agua hallada en la Quebrada Hornos.

-**Filtro Grueso Dinámico (FGDi):** La Primera Barrera, ubicado al inicio del proceso, el FGDi tiene la función crítica de proteger las etapas posteriores, este filtro protege el sistema contra picos de turbiedad y sólidos suspendidos

-**Filtración Lenta en Arena (FLA):** El Corazón Biológico, el FLA es el componente principal para combatir la carga microbiológica detectada. Su eficacia reside en la formación de la arena fina (capa biológica o *schmutzdecke*), donde se eliminan los patógenos mediante procesos de depredación y degradación biológica.

-**Tanque de Contacto de Cloro:** Garantía de Inocuidad, como etapa final, el contacto con cloro actúa como la barrera de seguridad definitiva. Su función es eliminar cualquier remanente microbiológico que haya superado la filtración y proporcionar el cloro residual necesario para proteger el agua durante su distribución en la red, asegurando que el IRCA llegue a **0% (Sin Riesgo)** en las viviendas.

Etapa 2. Cálculo de Demanda y Proyección Poblacional.

Fase 1. Obtención y aplicación de métodos estadísticos para determinar la población futura y la dotación neta.

- Se obtiene el dato exacto de población para la vereda San Miguel municipio de Supatá Cund. Durante el periodo 2019 a 2025, población extraída de la alcaldía municipal oficina Sisbén y datos abiertos **(Mapas y estadísticas de Cundinamarca).**

$$Ka = \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}}$$

Ka: Tasa de crecimiento anual (habitantes/año).
P_{uc}: Población del último censo realizado.
P_{ci}: Población del censo inicial o anterior.
T_{uc}: Año del último censo.
T_{ci}: Año del censo inicial.

Ecuación 1. Método lineal - población

Fase 2. Se realiza el cálculo de proyección bajo el método lineal, método geométrico y logarítmico, el método seleccionado es el método línea debido a su crecimiento constante y moderado, siendo el más conservador y realista para comunidades rurales. **(Proyección a 25 años-0330 de 2017 – Articulo 40)**

Etapa 3. Dimensionamiento Hidráulico de Unidades FiME

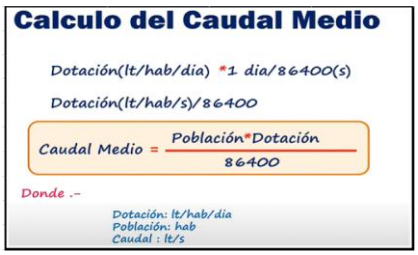
Fase 1. Cálculo de caudal medio y Caudal máximo diario

Qmd. A Se determina la dotación que para el caso de la vereda San Miguel se encuentra entre los 1000 y 2000 m.s.n.m. por lo cual dotación es de 130 l/hab/ día. (**Res. 0330 de 2017 -art. 43).**

ALTURA PROMEDIO SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LA ZONA ATENDIDA	DOTACIÓN NETA MÁXIMA (L/HAB*DÍA)
> 2000 m.s.n.m	120
1000 – 2000 m.s.n.m	130
< 1000 m.s.n.m	140

Tabla 7. Dotación.

QmaxD. Para el cálculo es necesario conocer el factor de mayorización (**Res. 0330 de 2017 -art. 47-Parágrafo 2).**



Ecuación 2. Caudal medio

Fase 2. Entra FiME

La entrada está compuesta por la cámara de control, cámara de disipación de energía, vertedero triangular (Total tres vertederos, el primero opera al 100% de capacidad, caudal de diseño y dos que operan al 50% del caudal proyectado), canal rectangular de ingresos y un vertedero de excesos.

Fase 3. Cálculo del Filtro grueso dinámico y Ecuación de Ergun

Parámetros de diseño del Filtro Grueso Dinámico (FGDi)

El diseño del Filtro Grueso Dinámico (FGDi), como unidad perteneciente al sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME), se desarrolló a partir de los criterios técnicos establecidos en el documento Filtración en Múltiples Etapas. Tecnología innovativa para el tratamiento de agua, elaborado por el Instituto CINARA en conjunto con el IRC y la UNESCO. En el diseño se emplearon parámetros teóricos recomendados por la literatura especializada y valores calculados a partir del caudal de diseño del sistema, garantizando condiciones hidráulicas y operativas adecuadas.

Medio filtrante

El rango del tamaño del material granular utilizado en el FGDi corresponde a un dato teórico de diseño, seleccionado de acuerdo con las recomendaciones establecidas para filtros gruesos dinámicos en el manual CINARA–IRC–UNESCO. La selección de este rango permite asegurar la estabilidad del lecho filtrante, una adecuada remoción de sólidos de mayor tamaño y un comportamiento hidráulico controlado.

Caudal de diseño

El caudal de diseño del sistema fue determinado previamente durante la evaluación hidráulica y se expresó inicialmente en litros por segundo (L/s). Para los cálculos del FGDi, dicho caudal se convirtió a metros cúbicos por segundo (m³/s) mediante la relación:

$$Q_{(m^3/s)} = \frac{Q_{(L/s)}}{1000}$$

$Q_{(m^3/s)}$: Caudal expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s).
$Q_{(L/s)}$: Caudal expresado en litros por segundo (L/s).
1000: Factor de conversión (litros que equivalen a un metro cúbico).

Ecuación 3. Caudal de diseño - FGDi

Velocidad de filtración

La velocidad de filtración durante la operación normal del FGDi se adoptó como un dato teórico, con un valor de **2 m/h,** conforme a lo indicado en la **Tabla 8.1 (página 116)** del documento CINARA–IRC–UNESCO. Para su utilización en los cálculos hidráulicos, la velocidad fue convertida a metros por segundo (m/s) mediante:

$$V_f = \frac{V_f\ (m/h)}{3600}$$

V_f: Velocidad de filtración (m/s).

Ecuación 4. Velocidad de filtración - FGDi

Área superficial del filtro

El área superficial del FGDi se determinó a partir de la relación entre el caudal de diseño y la velocidad de filtración, utilizando la expresión:

$$A_s = \frac{Q}{V_f}$$

donde:
A_s es el área superficial del filtro (m²),
Q es el caudal de diseño (m³/s),
V_f es la velocidad de filtración (m/s).

Ecuación 5. Área superficial del filtro - FGDi

Este procedimiento corresponde al criterio de diseño recomendado en el manual CINARA–IRC–UNESCO y coincide con los valores obtenidos mediante el análisis realizado en la hoja de cálculo del proyecto.

Dimensiones geométricas del filtro

El área superficial calculada se relacionó con las dimensiones geométricas del filtro mediante la expresión:

$$A_s = b \cdot L$$

donde:
b es el ancho del filtro (m), definido con b
criterios constructivos,
L es la longitud del filtro (m).

Ecuación 6. Área superficial - FGDi

Despejando la longitud:

$$L = \frac{A_s}{b}$$

L: es el largo del filtro (m).

A_s: es el área superficial del filtro (m^2).

b: es el ancho del filtro (m).

Ecuación 7. As - Despeje longitud - FGDi

Este procedimiento se encuentra descrito en la **Tabla 8.1 (página 116)** del documento CINARA–IRC–UNESCO.

Cresta de rebose

La altura de la cresta de rebose corresponde a un parámetro teórico de diseño **(Entre 0,03 y 0,05 m)**, adoptado conforme a las recomendaciones establecidas en el documento **CINARA–IRC–UNESCO**. Según lo indicado en la **página 113,** este valor permite controlar el nivel hidráulico dentro del filtro, garantizar condiciones estables de operación y evitar el desbordamiento no controlado de la unidad.

Propiedades físicas del agua

Los cálculos hidráulicos se realizaron considerando una temperatura del agua de **18 °C,** correspondiente a las condiciones ambientales locales. Para esta temperatura se adoptaron los valores de densidad y viscosidad dinámica del agua obtenidos de tablas técnicas. El peso específico del agua se determinó mediante la expresión:

$$\gamma = \rho \cdot g$$

donde:
ρ es la densidad del agua (kg/m³),
g es la aceleración de la gravedad (9,81 m/s²).

Ecuación 8. Peso Especifico

Régimen de flujo en el medio granular

El régimen de flujo a través del lecho filtrante se evaluó mediante el cálculo del número de Reynolds para partículas, utilizando la expresión:

$$Re_p = \frac{d_p\, V_f\, \rho}{\mu}$$

donde:
d_p es el diámetro medio del material granular (m),
V_f es la velocidad de filtración (m/s),
ρ es la densidad del agua (kg/m³),
μ es la viscosidad dinámica del agua (kg/m·s).

Ecuación 9. Reynolds- FGDi

El valor obtenido permitió verificar que el flujo a través del medio filtrante se presenta bajo régimen laminar, condición característica y adecuada para el funcionamiento del Filtro Grueso Dinámico.

Pérdida de carga en el lecho filtrante

La pérdida de carga generada por el paso del agua a través del medio granular del FGDi se calculó mediante la ecuación de Ergun, aplicable a flujos en medios porosos:

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150 \cdot V_o \cdot \mu}{\Phi^2 \cdot D_p^2} \cdot \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} + \frac{1.75 \cdot \rho \cdot V_o^2}{\Phi \cdot D_p} \cdot \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3}$$

ΔP: Pérdida de presión o caída de presión.
L: Longitud o altura del lecho filtrante (espesor de la arena).
V_o: Velocidad superficial del fluido (velocidad de filtración).
μ: Viscosidad dinámica del fluido (agua).
Φ: Esfericidad de las partículas de arena.
D_p: Diámetro equivalente de la partícula de arena.
ϵ: Porosidad del lecho (fracción de vacíos).
ρ: Densidad del fluido (agua).

Ecuación 10. Ergun - FGDi

La pérdida de presión obtenida se convirtió a metros de columna de agua mediante:

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\gamma}$$

ΔH: Pérdida de carga o carga hidráulica (m).
ΔP: Cambio de presión o pérdida de presión (Pa o N/m^2).
γ: Peso específico del fluido (N/m^3).

Ecuación 11. Perdida de presión - FGDi

Los resultados indican que la pérdida de carga generada en el FGDi es baja, lo cual confirma la coherencia entre los parámetros teóricos adoptados y los valores hidráulicos calculados.

Velocidad superficial de lavado

La velocidad superficial de lavado corresponde a un dato teórico de diseño, recomendado en el documento CINARA–IRC–UNESCO para la operación de lavado del FGDi.

El valor adoptado se encuentra dentro del rango sugerido por la literatura técnica y garantiza una adecuada remoción de los sólidos retenidos, sin generar arrastre significativo del material granular ni comprometer la estabilidad del lecho filtrante.

Sistema de tuberías

El sistema de tuberías internas del Filtro Grueso Dinámico (FGDi) se diseñó con el propósito de garantizar una adecuada conducción, distribución y recolección del caudal de diseño, asegurando un funcionamiento hidráulico uniforme y minimizando las pérdidas de carga.

Tubería principal

El diámetro de la tubería principal se determinó a partir de la ecuación de continuidad:

$$Q = A \cdot V \quad ; \quad A = \frac{\pi D^2}{4}$$

Despejando el diámetro:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V}}$$

Q: Caudal de diseño (m^3/s).
A: Área transversal de la tubería (m^2).
V: Velocidad del agua en la tubería (m/s).
π: Constante Pi (aproximadamente 3.1416).
D: Diámetro interno de la tubería (m).

Ecuación 12. Diámetro tubería principal FGDi

El diámetro hidráulico teórico obtenido fue de **0,07 m (≈ 3,5 pulgadas)**. Sin embargo, por criterios de estandarización, disponibilidad comercial y seguridad hidráulica, se adoptó un **diámetro nominal de 3 pulgadas**. La longitud de la tubería principal es de **2,25 m.**

Tuberías secundarias (laterales)

El sistema interno se diseñó con una configuración tipo **espina de pescado**, conformada por **16 tuberías laterales**. El caudal por lateral se calculó mediante:

$$Q_l = \frac{Q}{n}$$

Q_l: Caudal por unidad o celda de filtración (m^3/s).
Q: Caudal total de diseño del sistema (m^3/s).
n: Número de unidades o filtros en paralelo.

Ecuación 13. Caudal tubería segundaria FGDi

El diámetro de cada lateral se determinó usando la ecuación de continuidad:

$$D_l = \sqrt{\frac{4Q_l}{\pi V_l}}$$

D_l: Diámetro interno de la tubería de la unidad individual (m).

Q_l: Caudal por unidad o celda (m^3/s).

π: Constante Pi (aproximadamente 3.1416).

V_l: Velocidad del agua en la tubería de la unidad (m/s).

Ecuación 14. Diámetro tubería segundaria FGDi

Como resultado se obtuvo un diámetro de **0,0254m,** equivalente a **1 pulgadas**. La longitud de cada tubería lateral es de **0,66 m.**

Consideraciones generales

El diseño adoptado garantiza una distribución homogénea del flujo, velocidades hidráulicas adecuadas y un desempeño eficiente del FGDi durante las etapas de filtración y lavado

Fase 4. Cálculo del filtro lento en arenas (FLA).

Parámetros de diseño para FLA

El diseño del Filtro Lento en Arena (FLA) se realizó con base en los criterios técnicos establecidos en el documento Filtración en Múltiples Etapas – CINARA / IRC / UNESCO, considerando condiciones hidráulicas, geométricas y de operación que garantizan un adecuado proceso de filtración.

Parámetros hidráulicos y geométricos

El rango de tamaños de arena adoptado corresponde a valores teóricos recomendados para filtros lentos, comprendidos entre **0,15 y 0,30 mm**, conforme a los lineamientos técnicos del documento (**pág. 136, CINARA).**

La velocidad de filtración se estableció como un valor teórico de **0,15 m/h,** extraído de la **Tabla 10.1 (pág. 144, CINARA),** valor característico de los filtros lentos en arena.

El número de unidades de filtración es de **2,** con el fin de garantizar continuidad operativa durante labores de mantenimiento o lavado.

El caudal de diseño es de **1,75 L/s,** equivalente a:

$$Q = \frac{1{,}75}{1000} = 0,00175\ \mathrm{m^3/s}$$

$Q_{(m^3/s)}$: Caudal expresado en metros cúbicos por segundo (m^3/s).
$Q_{(L/s)}$: Caudal expresado en litros por segundo (L/s).
1000: Factor de conversión (litros que equivalen a un metro cúbico).

Ecuación 15. Caudal de diseño en m3/s - FLA

La velocidad de filtración en unidades del Sistema Internacional se calculó como:

$$V_f = \frac{V_f\ (m/h)}{3600}$$

$$V_f = \frac{0{,}15}{3600} = 0,0000417\ \mathrm{m/s}$$

V_f: Velocidad de filtración expresada en metros por segundo (m/s).
$V_{f(m/h)}$: Velocidad de filtración expresada en metros por hora (m/h).
3600: Factor de conversión (segundos que tiene una hora).

Ecuación 16. Velocidad de filtración - FLA

El área superficial del filtro se determinó mediante la relación:

$$A_s = \frac{Q}{V_f}$$

A_s: Área superficial del filtro (m^2).
Q: Caudal de diseño (m^3/s).
V_f: Velocidad de filtración (m/s).

Ecuación 17. Área superficial - FLA

obteniéndose un área total de **41,9 m²**, las dimensiones geométricas de cada unidad son:
Ancho (B): 5,00 m
Longitud (L): 8,00 m

Espesores del medio filtrante
Los espesores de las capas filtrantes se definieron de acuerdo con las recomendaciones del documento técnico:

- Espesor de arena: 0,80 m
- Espesor de grava (soporte): 0,25 m

El **borde libre** se adoptó como un valor teórico de 0,30 m, y el **sobrenadante** como 0,75 m, conforme a los criterios indicados en la página 138 del documento base (CINARA).

Propiedades del fluido
Para el análisis hidráulico se consideraron las siguientes propiedades del agua, correspondientes a una temperatura de **18 °C.**

Viscosidad dinámica:

$$\mu = 0{,}00105 \text{ kg / (m · s)}$$

- Densidad: $\rho = 999,58, \text{kg/m}^3$
- Gravedad: $g = 9,81, \text{m/s}^2$
- Peso específico:

$$\gamma = \rho \cdot g = 9806 \text{ N/m}^3$$

Ecuación 18. Viscosidad dinamica - FLA

Análisis de pérdidas de carga – Ecuación de Ergun
La pérdida de presión a través del medio poroso se calculó mediante la **ecuación de Ergun:**

$$\frac{\Delta P}{L} = \frac{150 \cdot V_o \cdot \mu}{\Phi^2 \cdot D_p^2} \cdot \frac{(1-\epsilon)^2}{\epsilon^3} + \frac{1.75 \cdot \rho \cdot V_o^2}{\Phi \cdot D_p} \cdot \frac{(1-\epsilon)}{\epsilon^3}$$

ΔP: Pérdida de presión o caída de presión.
L: Longitud o altura del lecho filtrante (espesor de la arena).
V_o: Velocidad superficial del fluido (velocidad de filtración).
μ: Viscosidad dinámica del fluido (agua).
Φ: Esfericidad de las partículas de arena.
D_p: Diámetro equivalente de la partícula de arena.
ϵ: Porosidad del lecho (fracción de vacíos).
ρ: Densidad del fluido (agua).

Ecuación 19. Ergun - FLA

El análisis se realizó por separado para la capa de arena y la capa de grava, obteniéndose una pérdida total de **presión de 336,1 Pa,** equivalente a:

$$h = \frac{\Delta P}{\gamma} = 0,034 \text{ m.c.a.}$$

Ecuación 20. Carga hidraulica - FLA

Canales y estructuras hidráulicas
El sistema hidráulico del FLA incluye canal de ingreso, canales de conducción, vertedero de excesos, cámaras de entrada, válvulas y salida, cuyas dimensiones fueron definidas de acuerdo con el caudal de diseño y criterios constructivos, garantizando velocidades bajas, flujo uniforme y control hidráulico del sistema.

FASE 5. TANQUE DE CONTACTO CON CLORO

TANQUE CONTACTO DE CLORO			
Ítem	Descripción	Valor	Referencia / Fórmula
1.	**DATOS DE ENTRADA**		
1.1	Caudal de Diseño (Q) L/s	1,75	FLA
1.2	Caudal de Diseño (Q) m^3/s	0,00175	FLA
1.3	Tiempo de contacto mínimo (T) min	30	RAS 0330 / CINARA
1.4	Dosis de cloro aplicada (D) mg/L	1,5	Para garantizar residual
1.5	Factor de dispersión/eficiencia (f)	0,6	Tanque con pantallas (Bafles)
2.	**DIMENSIONAMIENTO**		
2.1	Tiempo de contacto teórico (Tt) min	50	
2.2	Volumen útil del tanque (V) m^3	5,24	
2.3	Profundidad de diseño (h) m	1,5	Sugerido para operación
2.4	Área superficial (As) m^2	3,49	
2.5	Ancho del tanque (B) m	1,5	Dimensión geométrica
2.6	Largo total del tanque (L) m	2,33	
2.7	Borde libre (BL) m	0,3	Acorde a RAS (0.20-0.50m)
2.8	Altura total de muros (H) m	1,8	
3.	**CONTROL QUÍMICO**		
3.1	Producción diaria de agua m^3/día	150,917	
3.2	Consumo diario de Cloro puro g/día	226,3755	
3.3	Cantidad Hipoclorito de Calcio (65%) g/día	348,27	

Tabla 8. Excel tanque contacto de cloro

Etapa 4. **Modelado en 3D programa SketchUp**

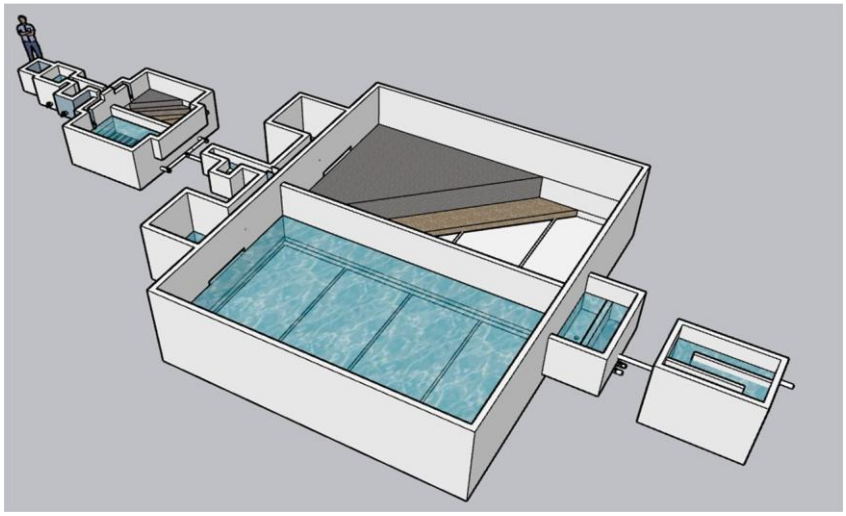


Ilustración 8. Panorámica FiME

11. RESULTADOS

Los resultados derivados del presente proyecto se presentan de manera secuencial y sistemática, permitiendo validar la viabilidad técnica del sistema propuesto mediante el cumplimiento estricto de los objetivos específicos trazados. Esta sección consolida la transición de un diagnóstico crítico de la calidad del recurso hídrico hacia la formulación de una infraestructura de tratamiento basada en la tecnología de Filtración en Múltiples Etapas (FiME).

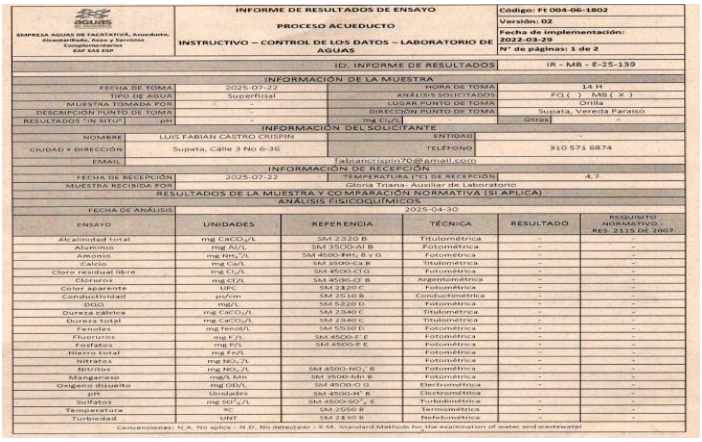
El análisis aquí expuesto no solo responde a los requerimientos de diseño hidráulico y dimensionamiento estructural, sino que garantiza una solución de ingeniería robusta, adaptada a las condiciones socio-ambientales de la Vereda San Miguel. A continuación, se detallan los hallazgos y productos técnicos que sustentan la capacidad del sistema para reducir los niveles de riesgo sanitario (IRCA) y asegurar la continuidad en la prestación del servicio de agua potable conforme a la normativa nacional vigente.

11.1 CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO 1: DIAGNÓSTICO Y DEMANDA HÍDRICA

Como resultado inicial, se consolidó la línea base técnica del proyecto. Mediante el uso de métodos demográficos avalados por el **RAS 0330**, se determinó que la población beneficiaria actual y proyectada al año 2051 contaran con condición de agua apta para el consumo.

Este dato, vinculado a una dotación neta de 130 L/hab·día, permitió establecer un **Caudal Máximo Diario de 1.75 L/s**. Asimismo, el diagnóstico de calidad del agua evidenció

un **IRCA del 100%** en la Quebrada Hornos, resultado que justifica técnicamente la implementación de las barreras múltiples de filtración propuestas.



EMPRESA AGUAS DE FACATATIVÁ, Acueducto, Alcantarillado y Servicios Complementarios de ESP SAS ESP	INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO PROCESO ACUEDUCTO INSTRUCTIVO – CONTROL DE LOS DATOS – LABORATORIO DE AGUAS	Código: Ft 004-06-1802 Versión: 02 Fecha de implementación: 2022-03-29 N° de páginas: 1 de 2

ID. INFORME DE RESULTADOS	IR - MB - E-25-159

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

FECHA DE TOMA	2025-07-22	HORA DE TOMA	14 H
TIPO DE AGUA	Superficial	ANÁLISIS SOLICITADOS	FQ ( ) MB (X)
MUESTRA TOMADA POR	-	LUGAR PUNTO DE TOMA	Orilla
DESCRIPCIÓN PUNTO DE TOMA	-	DIRECCIÓN PUNTO DE TOMA	Supata, Vereda Paraiso
RESULTADOS "IN SITU"	pH - mg Cl2/L -	Otros	-

INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

NOMBRE	LUIS FABIAN CASTRO CRISPIN	ENTIDAD	-
CIUDAD Y DIRECCIÓN	Supata, Calle 3 No 6-36	TELÉFONO	310 571 6874
EMAIL	fabiancrispin70@gmail.com		

INFORMACIÓN DE RECEPCIÓN

FECHA DE RECEPCIÓN	2025-07-22	TEMPERATURA (°C) DE RECEPCIÓN	4,7
MUESTRA RECIBIDA POR	Gloria Triana- Auxiliar de Laboratorio		

RESULTADOS DE LA MUESTRA Y COMPARACIÓN NORMATIVA (SI APLICA)

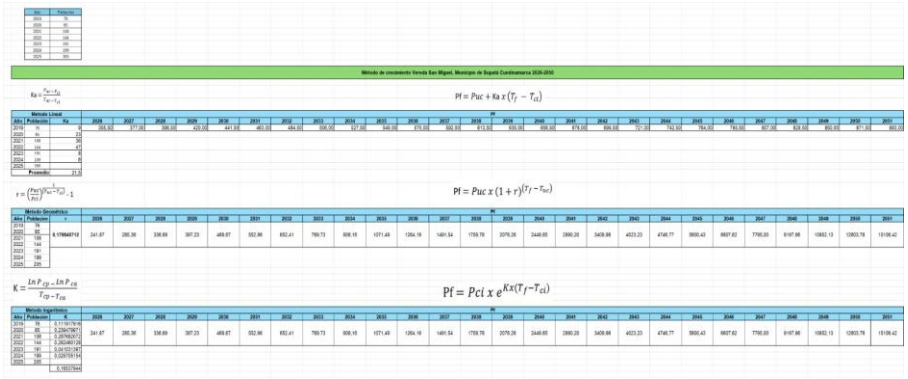
ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

FECHA DE ANÁLISIS: 2025-04-30

ENSAYO	UNIDADES	REFERENCIA	TÉCNICA	RESULTADO	REQUISITO NORMATIVO - RES. 2115 DE 2007
Alcalinidad total	mg $CaCO_3$/L	SM 2320 B	Titulométrica	-	-
Aluminio	mg Al/L	SM 3500-Al B	Fotométrica	-	-
Amonio	mg NH_4/L	SM 4500-NH3 B y G	Fotométrica	-	-
Calcio	mg Ca/L	SM 3500-Ca B	Titulométrica	-	-
Cloro residual libre	mg Cl_2/L	SM 4500-Cl G	Fotométrica	-	-
Cloruros	mg Cl/L	SM 4500-Cl B	Argentométrica	-	-
Color aparente	UPC	SM 2120 C	Fotométrica	-	-
Conductividad	µs/cm	SM 2510 B	Conductimétrica	-	-
DQO	mg/L	SM 5220 D	Fotométrica	-	-
Dureza cálcica	mg $CaCO_3$/L	SM 2340 C	Titulométrica	-	-
Dureza total	mg $CaCO_3$/L	SM 2340 C	Titulométrica	-	-
Fenoles	mg fenol/L	SM 5530 D	Fotométrica	-	-
Fluoruros	mg F/L	SM 4500-F E	Fotométrica	-	-
Fosfatos	mg P/L	SM 4500-P E	Fotométrica	-	-
Hierro total	mg Fe/L		Fotométrica	-	-
Nitratos	mg NO_3/L		Fotométrica	-	-
Nitritos	mg NO_2/L	SM 4500-NO_2 B	Fotométrica	-	-
Manganeso	mg/L Mn	SM 3500-Mn B	Fotométrica	-	-
Oxigeno disuelto	mg OD/L	SM 4500-O G	Electrométrica	-	-
pH	Unidades	SM 4500-H+ B	Electrométrica	-	-
Sulfatos	mg SO^{-2}_4/L	SM 4500-SO^{-2}_4 E	Turbidimétrica	-	-
Temperatura	ºC	SM 2550 B	Termométrica	-	-
Turbiedad	UNT	SM 2130 B	Nefelométrica	-	-

Convenciones: N.A. No aplica - N.D. No detectado - S.M. Standard Methods for the examination of water and wastewater

Ilustración 9. Resultado prueba microbiológica



$$Pf = Puc + Ka\,x\,(T_f - T_{ci})$$

$$Pf = Puc\,x\,(1+r)^{(T_f - T_{uc})}$$

$$Pf = Pci\,x\,e^{Kx(T_f - T_{ci})}$$

Tabla 9. Población y proyección de población

11.2 CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO 2: ENTRADA Y REGULACIÓN

La unidad de entrada integra una cámara de válvulas de control y una cámara de disipación de energía para estabilizar el flujo inicial. El sistema cuenta con un canal rectangular de ingreso equipado con un vertedero triangular para la medición precisa del caudal, además de un vertedero de excesos que garantiza la seguridad hidráulica de la planta en la Vereda San Miguel.

Cámara de Válvulas de control

Camara de Valvulas de control		
Diametro Tubo de Entrada	0,0578	m
Espesor de muros	0,15	m
B	0,5	m
L	0,5	m
H	0,30	m

Tabla 10. Cámara de válvulas (Excel).

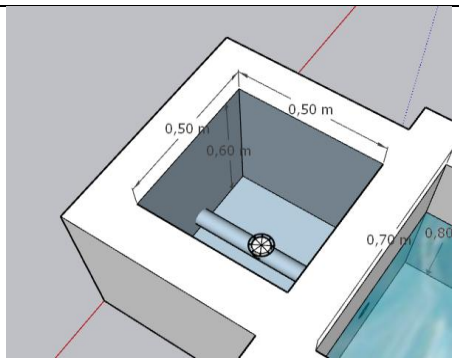


Ilustración 10. Cámara de válvulas (SketchUp).

Cámara de Disipación de energía

Camara de Disipación de energia		
B	0,7	m
L	0,7	m
H	0,50	m

Tabla 11. Cámara de Disipación de energía (Excel)

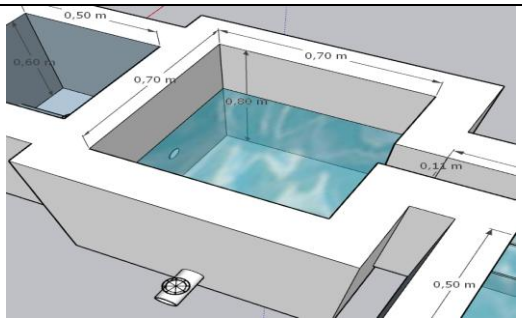


Ilustración 11. Cámara de Disipación de energía (SketchUp).

Canal rectangular de ingresos y vertedero de excesos

Canal Rectangular de ingresos		
B canal	0,11	m
L canal	0,79	m
H	0,179	m
Bl	0,08	m
H total	0,259	m

Vertedero de excesos		
B	0,4	m
L	0,5	m
H lamina	0,02	m
H canal	0,18	m

Tabla 12. Canal rectangular de ingresos y vertedero de excesos (Excel).

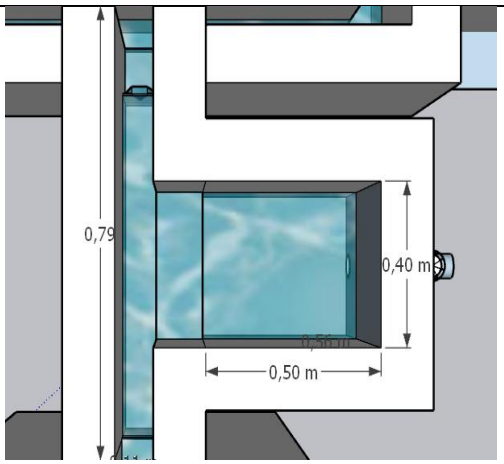


Ilustración 12. Canal rectangular de ingresos y vertedero de excesos (SketchUp).

11.3 DIMENSIONAMIENTO DE UNIDADES DE PRETRATAMIENTO (FGDI).

El diseño hidráulico de la Filtración Gruesa Dinámica (FGDi) arrojó como resultado una estructura de dos módulos paralelos. Los parámetros definitivos obtenidos fueron:

Filtro grueso dinámico (FGDi)

Dimensión Filtro	
As (m2)	3,14
B (m)	1,5
L (m)	2,10
Tuberia	
Diámetro primario (m)	82,52
Longitud primaria (m)	2,25
Longitud segundaria (m)	0,67
Diámetro secundario (in)	1,00
Numero de laterales	16
Lechos	
ubicación lechos	**L(m)**
Superior	0,2
Intermedio	0,2
Fondo o soporte	0,2
Total	0,6

Tabla 13. Resumen FGDi (Excel)

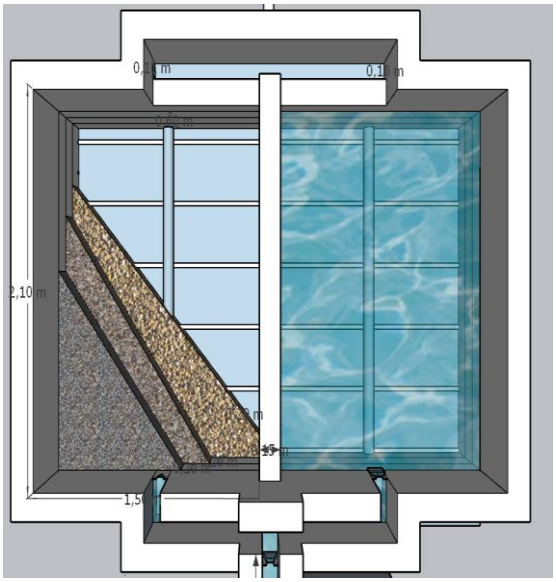


Ilustración 13. Filtro grueso dinámico (SketchUp).

- **Velocidad de filtración:** 2 m/h, operando bajo un **régimen de flujo laminar**
- **Configuración del lecho:** Tres capas de grava (fina, media y gruesa) con diámetros entre 3 mm y 25 mm.

11.4 CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO 3: DIMENSIONAMIENTO DE LA FILTRACIÓN LENTA EN ARENA (FLA)

Filtro Lento en Arena (FLA)

Dimensión filtro	
As (m2)	41,9
B (m)	5,00
L (m)	8
Sobrenadante (m)	0,75
BL (m)	0,3
tubería	
diámetro Primario (in)	3
Longitud Primario (m)	8
diámetros secundarios (in)	2
n	5
Longitud de n (m)	4,95
Lechos	
Arena (Superior) (0,2 mm)	0,80
Grava (Soporte) (24 mm)	0,25
Total	1,05

Tabla 14. Resumen FLA (Excel)

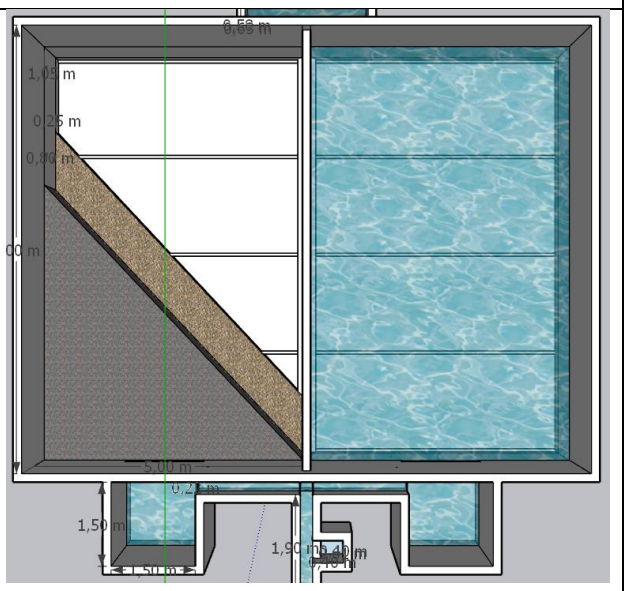


Ilustración 14. Filtro Lento en Arena (SketchUp).

El resultado del diseño para la unidad de potabilización microbiológica define un sistema capaz de remover carga bacteriana mediante la capa biológica.

- **Material filtrante:** Arena fina con un espesor de lecho de **0.80 m a 0.90 m**.
- **Estructura:** Tanques de concreto reforzado con **espesores de muro de 0.15 m**, garantizando estanqueidad y durabilidad estructural.
- **Seguridad operativa:** Se integró un **borde libre de 0.30 m**, cumpliendo estrictamente con la normativa vigente.

11.5 CUMPLIMIENTO DEL OBJETIVO 4: DISEÑO DE LA BARRERA DE DESINFECCIÓN Y MODELADO 3D

Como producto final del diseño, se obtuvieron las especificaciones para el tanque de contacto de cloro:

Tanque de contacto con cloro

Profundidad de diseño (h) m	1,5
Ancho del tanque (B) m	1,5
Largo total del tanque (L) m	2,33
Borde libre (BL) m	0,3
Altura total de muros (H) m	1,8

Tabla 15. Tanque de contacto con cloro (Excel)

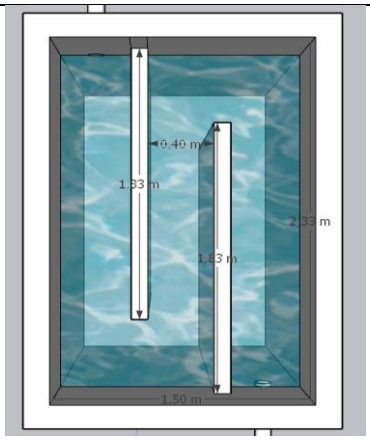


Ilustración 15. Tanque de contacto con cloro (SketchUp).

- **Hidráulica:** Sistema de bafles en serpentín que asegura un tiempo de contacto óptimo para la inactivación de patógenos.

- **Representación Técnica:** Se generó el modelado tridimensional detallado en **SketchUp** (ver Ilustraciones 9 a 13 en el anexo de planos), donde se visualiza la integración de todas las fases: cámara de disipación, vertederos de excesos, unidades de filtración y salida de agua tratada.

12. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El análisis de los resultados obtenidos permite validar la eficacia del sistema FiME diseñado para la Vereda San Miguel, interpretando la relación entre los cálculos hidráulicos, las exigencias normativas y la viabilidad constructiva de la infraestructura.

12.1 INTERPRETACIÓN DE PARÁMETROS HIDRÁULICOS Y RÉGIMEN DE FLUJO

Uno de los hallazgos más significativos en el dimensionamiento de la Filtración Gruesa Dinámica (FGDi) es la obtención de un **Número de Reynolds (Re) inferior a 20**, lo cual clasifica el comportamiento del fluido como un **régimen de flujo laminar**. Desde el punto de vista técnico, este valor es el indicador de éxito para el proceso de sedimentación y adsorción dentro del lecho de grava; un flujo turbulento impediría que las partículas suspendidas se adhirieran a los granos de grava, comprometiendo la función de la unidad como barrera física inicial.

Asimismo, la **caída total de presión** calculada revela una pérdida de energía mínima. Estadísticamente, este valor confirma que el diseño es hidráulicamente eficiente, permitiendo que el sistema opere exclusivamente por gravedad. La consecuencia constructiva de este hallazgo es la eliminación de la necesidad de estaciones de bombeo, lo que reduce los costos operativos y la complejidad técnica del mantenimiento para la comunidad rural.

12.2 COMPARACIÓN NORMATIVA Y CLASIFICACIÓN DEL RIESGO

Al contrastar los resultados con los límites establecidos en la **Resolución 2115 de 2007** y la **Resolución 0330 de 2017**, se determinan las siguientes condiciones:

- **Calidad del Agua (IRCA):** El diagnóstico inicial de la fuente arrojó un IRCA del 100% debido a la presencia de *Escherichia coli*. Según la norma, esto clasifica el agua como de "Riesgo Inadmisible". La consecuencia directa del diseño FiME, específicamente mediante la acción de la **arena fina** en el Filtro Lento, es la remoción biológica necesaria para llevar este índice a un nivel de "Riesgo Sin Riesgo" (0-5%).

- **Borde Libre:** Se adoptó un valor de **0.20 m**, situándose en el límite inferior permitido por el **Artículo 120 de la Resolución 0330**. Constructivamente, este valor es óptimo para optimizar el uso de materiales en los muros, manteniendo un margen de seguridad suficiente para evitar el desbordamiento de las unidades durante variaciones en el caudal de entrada.

12.3 JUSTIFICACIÓN CONSTRUCTIVA DE LOS ESPESORES DE MURO

La decisión de emplear un **espesor uniforme de 0.15 m** para todos los sistemas realizados se fundamenta en la teoría de estructuras hidráulicas de pequeña escala. Desde una perspectiva constructiva:

- **Causa:** La necesidad de asegurar la estanqueidad y permitir un recubrimiento adecuado del acero de refuerzo conforme a la **NSR-10**.

- **Consecuencia:** Un espesor de 15 cm facilita el proceso de fundición y vibrado del concreto en muros de baja altura (menores a 2.0 m), evitando nidos de abeja y garantizando que la estructura soporte el empuje hidrostático sin agrietamientos.

12.4 CAUSAS DE VARIACIÓN Y ALTERNATIVAS DE MEJORAMIENTO

Los valores críticos encontrados en la calidad del agua tienen su causa principal en la escorrentía de zonas de pastoreo hacia la Quebrada Hornos. Como alternativa de mejoramiento al diseño propuesto, se plantea la posibilidad de integrar un **sistema de pre-sedimentación** antes de la FGDi en caso de que los niveles de turbiedad superen habitualmente las 100 UNT en épocas de lluvia intensa. Constructivamente, esto se lograría mediante la ampliación de la cámara de disipación de energía, aumentando su tiempo de retención para permitir la caída de sólidos más gruesos antes de ingresar a los lechos filtrantes.

13. CONCLUSIONES

A partir del desarrollo del diseño del sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME) para la Vereda San Miguel, se presentan las siguientes conclusiones que responden de forma integral a los objetivos del proyecto:

- **CONCLUSIÓN GENERAL (RESPUESTA AL OBJETIVO GENERAL):** Se logró diseñar un sistema de potabilización basado en la tecnología FiME, el cual integra criterios técnicos del RAS 0330 y el Instituto CINARA. Este diseño constituye una solución de ingeniería civil viable y de bajo costo operativo, capaz de transformar la calidad del agua de la Quebrada Hornos para cumplir con los estándares de consumo humano establecidos en la Resolución 2115 de 2007.

- **DIAGNÓSTICO Y DEMANDA (OBJETIVO ESPECÍFICO 1):** La determinación de una población proyectada de **893 habitantes** al año 2051 y un caudal máximo diario de **1.75 L/s** permitió establecer la escala necesaria de la infraestructura. Se concluye que el diagnóstico de un **IRCA del 100%** justifica plenamente la necesidad de la intervención, ya que la fuente superficial presenta riesgos microbiológicos inadmisibles para la salud pública.

- **PRETRATAMIENTO FGDI (OBJETIVO ESPECÍFICO 2):** El dimensionamiento de la Filtración Gruesa Dinámica (FGDi) demostró que, bajo un **régimen de flujo laminar (Re < 20)** y una velocidad de filtración de 2 m/h, es posible asegurar la remoción de sólidos gruesos antes del ingreso al sistema de filtración lenta. Se concluye que la configuración del lecho de grava de 3 mm a 25 mm es óptima para proteger la integridad del sistema contra picos de turbiedad.

- **LA FILTRACIÓN LENTA Y CALIDAD BIOLÓGICA (OBJETIVO ESPECÍFICO 3):** Se concluye que el uso de **arena fina** con un espesor de lecho de 0.80 m garantiza el tiempo de residencia necesario para el desarrollo de la capa biológica (*Schmutzdecke*). Este proceso es fundamental para la inactivación de microorganismos patógenos (*E. coli*), cumpliendo con la función de barrera biológica principal del sistema FiME.

- **DISEÑO ESTRUCTURAL Y MODELADO (OBJETIVO ESPECÍFICO 4):** El modelado tridimensional desarrollado en **SketchUp** permitió verificar la coherencia entre el diseño hidráulico y la disposición espacial de las unidades. Se concluye que el empleo de **espesores de muro de 0.15 m** y la inclusión de un **borde libre de 0.20 m** cumplen satisfactoriamente con los requisitos de estanqueidad y seguridad operativa estipulados por el RAS 0330, facilitando además la construcción mediante procesos de obra civil convencional en entornos rurales.

14. RECOMENDACIONES

Con el propósito de asegurar la sostenibilidad técnica y operativa del sistema FiME diseñado para la Vereda San Miguel, se presentan las siguientes recomendaciones fundamentadas en los criterios de ingeniería civil y sanitaria:

14.1 PROTECCIÓN DE UNIDADES CRÍTICAS Y CONTROL DE INSUMOS: Se recomienda la instalación de cubiertas livianas y removibles sobre el **Tanque de Contacto de Cloro** y la unidad de **FGDi**. Esta medida tiene como objetivo impedir la entrada de material vegetal y agentes externos que puedan interferir en la dosificación del desinfectante. Mantener estas unidades protegidas garantiza una concentración de cloro libre estable sin interferencias ambientales.

14.2 GESTIÓN DE ESCORRENTÍAS POR EVENTOS CLIMÁTICOS: Durante la fase operativa, es imperativo monitorear la capacidad de los vertederos de demasías frente a los fuertes aguaceros característicos de Supatá. Se debe asegurar que la precipitación directa no sature la capacidad hidráulica de la planta, impidiendo que el agua cruda sobrepase los niveles de diseño y afecte la calidad del efluente ya tratado.

14.3 PRESERVACIÓN DE LA CAPA BIOLÓGICA EN EL FLA: Es fundamental que el **Filtro Lento en Arena no sea cubierto con materiales opacos**. Debido a que la eficiencia depende de la salud de la **capa biológica (Schmutzdecke)**, se requiere el ingreso de luz solar para sus procesos metabólicos. Cualquier protección superior sobre esta unidad deberá ser traslúcida y permitir la libre circulación de aire.

14.4 PROTOCOLO DE LAVADO Y MANTENIMIENTO DE LECHOS: Se recomienda realizar el **lavado superficial de la FGDi** mediante agitación manual y purga de lodos de forma semanal, especialmente tras eventos de lluvia, para evitar la colmatación profunda. En el caso del FLA, se debe proceder al **raspado de los 2 cm superiores de arena** únicamente cuando la pérdida de carga lo exija, garantizando la recuperación de la tasa de filtración sin remover la totalidad del lecho.

14.4.1 Mantenimiento de unidades

El mantenimiento de las unidades filtrantes es el factor determinante para la vida útil del proyecto. Un error común en sistemas rurales es permitir la colmatación total, lo que obliga al recambio prematuro del material granular.

14.4.2 Lavado Superficial de la Filtración Gruesa Dinámica (FGDi)

La FGDi está diseñada para proteger el sistema de picos de turbiedad. Su limpieza se denomina **lavado superficial o manual**.

- **Mecánica del proceso:** Se debe suspender el ingreso de agua y agitar manualmente la capa superior de grava fina (3-6 mm) con rastrillos o herramientas manuales. Al mismo tiempo, se abren las válvulas de purga de lodos.

- **Frecuencia:** En la Vereda San Miguel, debido a los fuertes aguaceros que arrastran sedimentos de las zonas de pastoreo, este lavado debe realizarse **semanal o inmediatamente** después de un evento de lluvia intensa.

- **Efecto constructivo:** Al realizar este lavado, se evita que el lodo penetre a las capas inferiores de grava gruesa, donde la limpieza sería imposible sin retirar todo el material.

14.4.3 Raspado de la Capa Biológica en el Filtro Lento (FLA)

A diferencia de la grava, la arena no se "lava" con agua a presión; se realiza un **raspado o desnatado**.

- **La Schmutzdecke:** Cuando la pérdida de carga aumenta (el agua pasa muy lento), significa que la capa biológica es demasiado gruesa.

- **Procedimiento:** Se baja el nivel del agua hasta unos 10 cm por debajo de la superficie de la arena. Se retira únicamente la capa superior (aprox. **1 a 2 cm** de arena sucia).

- **Reinicio del sistema:** Tras el raspado, el filtro no entrega agua potable de inmediato. Debe operar en modo de "maduración" durante 24 a 48 horas hasta que la nueva capa biológica se regenere.

- **Espesor crítico:** El espesor de la arena fina disminuirá con cada raspado. Cuando el lecho llegue a un espesor mínimo de **0.50 m**, se debe realizar el re-arenado total de la unidad.

14.5 CONSIDERACIONES SOBRE EL AGUA DE LAVADO

Desde el punto de vista del diseño hidráulico realizado, se debe tener en cuenta:

- **Disposición de lodos:** El agua resultante del lavado de la FGDi contiene una alta concentración de sedimentos orgánicos. Se recomienda que esta agua no retorne directamente a la quebrada aguas abajo de la bocatoma, sino que se conduzca a una pequeña **fosa de sedimentación** o zona de infiltración para no afectar el ecosistema local.

- **Caudal de limpieza:** Las válvulas de purga de 2 o 3 pulgadas instaladas en el fondo de los filtros (según tus diámetros de diseño) deben operarse totalmente abiertas para generar la velocidad de arrastre necesaria que evacúe los lodos depositados en el fondo.

14.6 TIEMPOS DE MADURACIÓN Y PUESTA EN MARCHA:

Tras la instalación inicial del lecho de arena, se establece un periodo de **maduración de 15 a 30 días**. Durante este tiempo, el sistema debe operar en régimen de filtrado a desperdicio. No se recomienda habilitar el servicio hasta que los análisis de laboratorio confirmen que la capa biológica ha madurado lo suficiente para garantizar la remoción microbiológica exigida por la Resolución 2115 de 2007.

15. REFERENCIAS

(OMS), O. m. (2020). *Estadisticas Sanitarias Mundiales 2020: Monitoriando la salud para los ODS, objetivos de desarrollo sostenible. .* Ginebra: Organización mundial de la salud.

Br. Josías Magdiel Martínez Martínez, B. M. (2021). *Evaluacion del Sistema del Filtración en Multiples Etapas (Fime) planta de tratamiento la Isla (Matagalpa - La Dalia - Cominidad la Isla).* Managua: Universidad Nacional de Ingenieria.

Embajada de Suiza en Colombia, U. d. (2018). *PLANIFICACIÓN PARTICIPATIVA DE OPCIONES SOSTENIBLES. Guías metodológicas para la implementación.* Santiago de Cali.

Empresas Aguas de Facativa, A. A. (2025). *Informe de Resultados de Ensayo.* Facatativá .

GERARDO GALVIS CASTAÑO, J. L. (1999). *FILTRACIÓN EN MULTIPLES ESTAPAS, TECNOLOGIA INNOVADORA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA.* Santiago de Cali : Artes Graficas de Univalle.

LOS MINISTROS DE LA PROTECCIÓN SOCIAL Y DE AMBIENTE, V. Y. (2007). *Resolución 2115 de 2007 por medio de la cual se señalan caracteristicas, instrumentos basicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para el consumo humano.* Bogotá D.C.

Mallebrera, F. J. (s.f.). *Abastecimiento de agua-Filtración.* Cartegena: Cartagena, Universidad Politécnica de Cartegena.

MARÍN, D. M. (2012). *Análisis de la Operación y Mantenimiento de la Filtración en Gravas de Flujo Ascendente a Escala Real.* Santiago de Cali: Universidad del Valle .

Ministerio de vivienda, c. y. (2027). *Resolución 0330 de 2017 por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico - RAS.* Bogotá D.C: Ministerio de vivienda, ciudad y territorio.

Quirós, F. R. (2005). *Tratamiento de desinfección de agua potable, empleo de cloro, hipoclorito, dioxido de cloro, cloraminas, ozono y permanganato potásio. .* Madrid: CanalEduca.

Salle, U. d. (2017). *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA VEREDA SAN MIGUEL- SUPATÁ (CUND).* Bogotá D.C .

Salud, O. P. (2005). *Guía para el Diseño de Sistemas de Tratamiento de Filtración En Múltiples Estapas.* 2005: Organización Panamericana de la Salud.

Santander, U. I. (2011). *Analisis Fisicoquímico y Microbilogico en Aguas Subterraneas del corregimiento de San Miguel Del Tigre en Yondó, Antioquia. .* Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

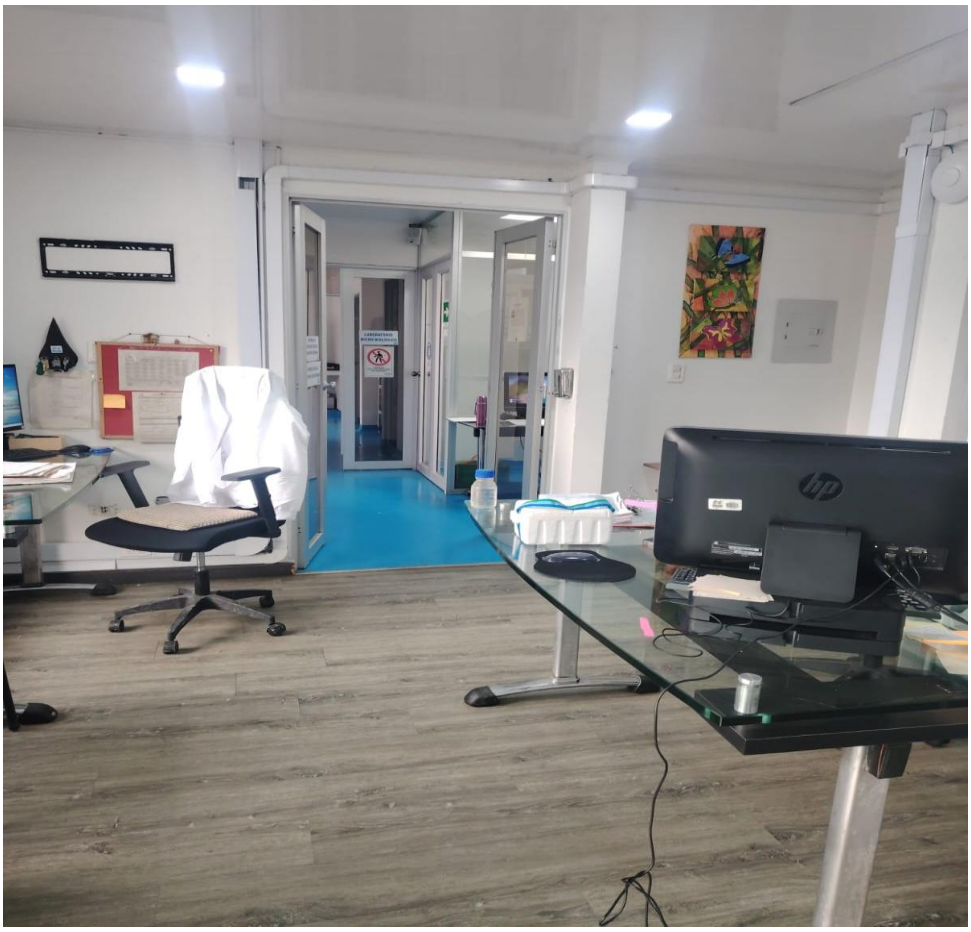
Serrano, H. A. (2013). *Evaluación del sistema de filtración en múltiples etapas FiME en tanques plásticos con pre-sedimentación y retro-lavado en la Hacienda Majavita (Socorro, Santander)* . Socorro: Universidad libre Colombia.

SUPATÁ, R. D. (2023). *Acuerdo 14 de 2023 POR EL CUAL SE REVISA, SE AJUSTA Y SE ADOPTA EL ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARA EL MUNICIPIO DE SUPATÁ CUNDINAMARCA Y SE DICTAN OTRAS DISPOSICIONES.* SUPATÁ CUND. .

16. ANEXO









EMPRESA AGUAS DE FACATATIVÁ. Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios – EAF SAS ESP

CADENA DE CUSTODIA PARA LA RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DE AGUA – CLIENTE EXTERNO

PROCESO ACUEDUCTO

INSTRUCTIVO - TOMA, MANIPULACIÓN, TRANSPORTE, PRESERVACIÓN, CONSERVACIÓN, Y DISPOSICIÓN FINAL DE MUESTRAS DE AGUA

Código: Ft 004-06-1601
Versión No.: 02
Fecha de implementación: 2022-11-04
No. Páginas: 1

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Nombre	Luis Fabian Castro Crispin
Entidad (Si aplica)	
Ciudad y dirección	Sibaté - Calle 2 # 6-36
Número de teléfono	3105716894
e-mail	fabiancrispin70@Gmail.com

INFORMACIÓN DEL MUESTREO

Fecha de toma	22/07/2025			Hora de toma	2:00 PM		
Matriz	Agua Potable		Agua Superficial	X	Agua Subterránea		
	Agua Lluvia		Agua Residual		Otra		
Fuente de abastecimiento	Acueducto Municipal						
Punto de toma – Código (Si aplica)							
Dirección punto de toma	Municipio de Sibaté Cundinamarca, Vereda Pasquilla						
Dispositivo de toma	Otro						
Resultados análisis "in situ"	mg/L Cl:	—	pH	—	Otro	—	
Observaciones							

RESPONSABLE DEL MUESTREO

Nombre	Cargo

ANÁLISIS PARA REALIZAR

Tipo de recipientes	Cantidad de recipientes	Cantidad de muestra por recipiente (ml)	Parámetros	
Plástico de boca ancha	1	1	Paquete fisicoquímico	
			Paquete microbiológico	X
			Otros:	
Vidrio borosilicato estéril				
Otros				

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA

Recibida por	GLORIA TRIANA			
Fecha	2025-07-22		Hora	16 H 35 MIN
Condiciones de conservación	Refrigerada	X	No refrigerada	
Temperatura (°C) de recepción	4.1.			
Tipo de recipiente adecuado	Si	X	No	
Código asignado en el laboratorio	E-25-139			
Observaciones				

El Laboratorio de Aguas de la EAF SAS ESP no se hace responsable por las muestras tomadas por el cliente. Cuando el cliente trae las muestras al Laboratorio se da por entendido que acepta las condiciones y especificaciones técnicas informadas por el mismo.

EMPRESA AGUAS DE FACATATIVÁ, Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios EAF SAS ESP	INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO PROCESO ACUEDUCTO INSTRUCTIVO – CONTROL DE LOS DATOS – LABORATORIO DE AGUAS	Código: Ft 004-06-1802 Versión: 02 Fecha de implementación: 2022-03-29 N° de páginas: 1 de 2

ID. INFORME DE RESULTADOS	IR - MB - E-25-139

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

FECHA DE TOMA	2025-07-22	HORA DE TOMA	14 H
TIPO DE AGUA	Superficial	ANÁLISIS SOLICITADOS	FQ ( ) MB (X)
MUESTRA TOMADA POR	-	LUGAR PUNTO DE TOMA	Orilla
DESCRIPCIÓN PUNTO DE TOMA	-	DIRECCIÓN PUNTO DE TOMA	Supata, Vereda Paraiso
RESULTADOS "IN SITU" pH	-	mg Cl_2/L -	Otros -

INFORMACIÓN DEL SOLICITANTE

NOMBRE	LUIS FABIAN CASTRO CRISPIN	ENTIDAD	-
CIUDAD Y DIRECCIÓN	Supata, Calle 3 No 6-36	TELÉFONO	310 571 6874
EMAIL	fabiancrispin70@gmail.com		

INFORMACIÓN DE RECEPCIÓN

FECHA DE RECEPCIÓN	2025-07-22	TEMPERATURA (°C) DE RECEPCIÓN	4,7
MUESTRA RECIBIDA POR	Gloria Triana- Auxiliar de Laboratorio		

RESULTADOS DE LA MUESTRA Y COMPARACIÓN NORMATIVA (SI APLICA)

ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS

FECHA DE ANÁLISIS: 2025-04-30

ENSAYO	UNIDADES	REFERENCIA	TÉCNICA	RESULTADO	REQUISITO NORMATIVO - RES. 2115 DE 2007
Alcalinidad total	mg $CaCO_3$/L	SM 2320 B	Titulométrica	-	-
Aluminio	mg Al/L	SM 3500-Al B	Fotométrica	-	-
Amonio	mg NH_4^+/L	SM 4500-NH_3 B y G	Fotométrica	-	-
Calcio	mg Ca/L	SM 3500-Ca B	Titulométrica	-	-
Cloro residual libre	mg Cl_2/L	SM 4500-Cl G	Fotométrica	-	-
Cloruros	mg Cl^-/L	SM 4500-Cl^- B	Argentométrica	-	-
Color aparente	UPC	SM 2120 C	Fotométrica	-	-
Conductividad	µs/cm	SM 2510 B	Conductimétrica	-	-
DQO	mg/L	SM 5220 D	Fotométrica	-	-
Dureza cálcica	mg $CaCO_3$/L	SM 2340 C	Titulométrica	-	-
Dureza total	mg $CaCO_3$/L	SM 2340 C	Titulométrica	-	-
Fenoles	mg fenol/L	SM 5530 D	Fotométrica	-	-
Fluoruros	mg F^-/L	SM 4500-F E	Fotométrica	-	-
Fosfatos	mg P/L	SM 4500-P E	Fotométrica	-	-
Hierro total	mg Fe/L		Fotométrica	-	-
Nitratos	mg NO_3^-/L		Fotométrica	-	-
Nitritos	mg NO_2^-/L	SM 4500-NO_2^- B	Fotométrica	-	-
Manganeso	mg/L Mn	SM 3500-Mn B	Fotométrica	-	-
Oxigeno disuelto	mg OD/L	SM 4500-O G	Electrométrica	-	-
pH	Unidades	SM 4500-H^+ B	Electrométrica	-	-
Sulfatos	mg SO_4^{2-}/L	SM 4500-SO_4^{2-} E	Turbidimétrica	-	-
Temperatura	°C	SM 2550 B	Termométrica	-	-
Turbiedad	UNT	SM 2130 B	Nefelométrica	-	-

Convenciones: N.A. No aplica - N.D. No detectado - S.M. Standard Methods for the examination of water and wastewater

EMPRESA AGUAS DE FACATATIVÁ, Acueducto, Alcantarillado, Aseo y Servicios Complementarios EAF SAS ESP	INFORME DE RESULTADOS DE ENSAYO PROCESO ACUEDUCTO INSTRUCTIVO – CONTROL DE LOS DATOS – LABORATORIO DE AGUAS	Código: Ft 004-06-1802 Versión: 02 Fecha de implementación: 2022-03-29 N° de páginas: 2 de 2

ID. INFORME DE RESULTADOS	IR - MB - E-25-139

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

FECHA DE ANÁLISIS: 2025-07-22

ENSAYO	UNIDADES	REFERENCIA	TÉCNICA	RESULTADO	REQUISITO NORMATIVO - RES. 2115 DE 2007
Coliformes totales	UFC/100 ml	SM 9222 H	Filtración por membrana	472	0
Escherichia coli	UFC/100 ml	SM 9222 H	Filtración por membrana	16	0
Mesófilos	UFC/100 ml	SM 9215 D	Filtración por membrana		

DETERMINACIÓN DEL INDICE DE RIESGO DE CALIDAD DE AGUA - IRCA (SOLO APLICA PARA AGUA POTABLE)

La siguiente tabla reporta el índice de riesgo de calidad de agua - IRCA - de acuerdo con los requisitos de la Resolución 2115 de 2007:

PARÁMETRO	PUNTAJE DE RIESGO	PARÁMETRO	PUNTAJE DE RIESGO
Coliformes totales	15	-	-
Escherichia coli	25	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	-	-
-	-	Sumatoria de puntajes de parámetros analizados	40
-	-	Sumatoria de puntajes de parámetros que no cumplen	40
-	-	IRCA (%)	100,00
-	-	Nivel de riesgo	INVIABLE SANITARIAMENTE
-	-		

LOS RESULTADOS SON VÁLIDOS ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA

ESTE INFORME DE RESULTADOS NO PUEDE SER REPRODUCIDO TOTAL NI PARCIALMENTE SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO

AL SER UNA MUESTRA TOMADA POR EL SOLICITANTE, LOS RESULTADOS CONTENIDOS EN EL INFORME SE APLICAN A LAS CONDICIONES EN LAS CUALES SE RECIBIÓ LA MUESTRA

OBSERVACIONES

* Muestra refrigerada * Los datos reportados en el informe, corresponden a los resultados en el laboratorio. El cliente no reportó resultados in situ.* Parámetros analizados: 2.

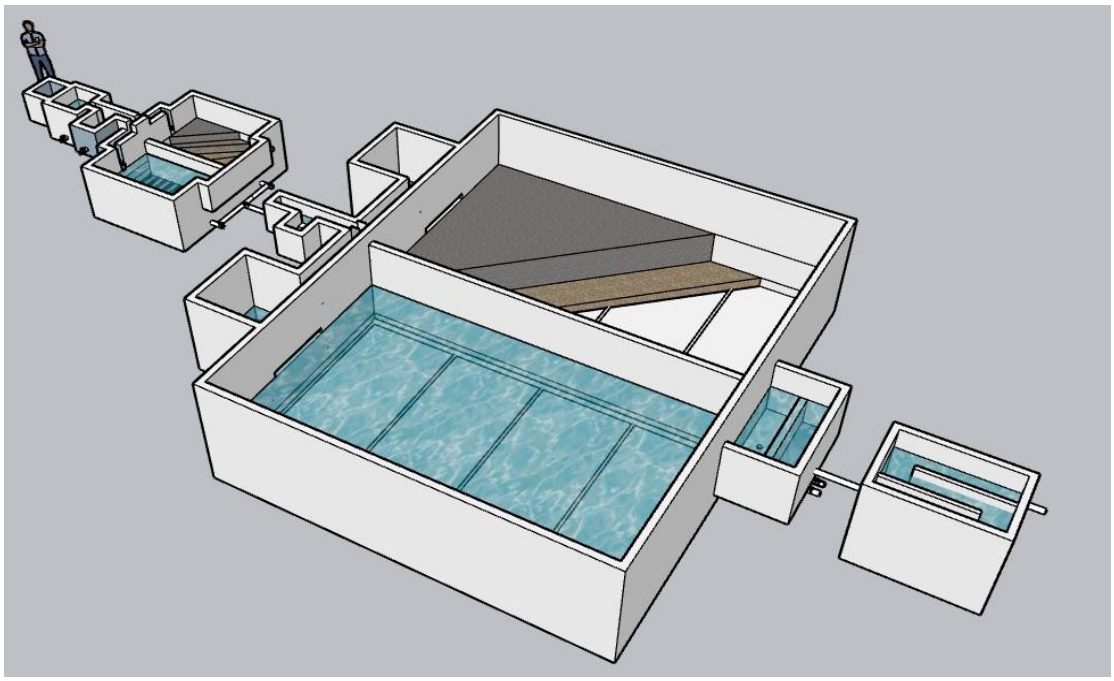
FECHA DEL INFORME	2025-07-25	ELABORÓ	Leidy Rios Rodriguez

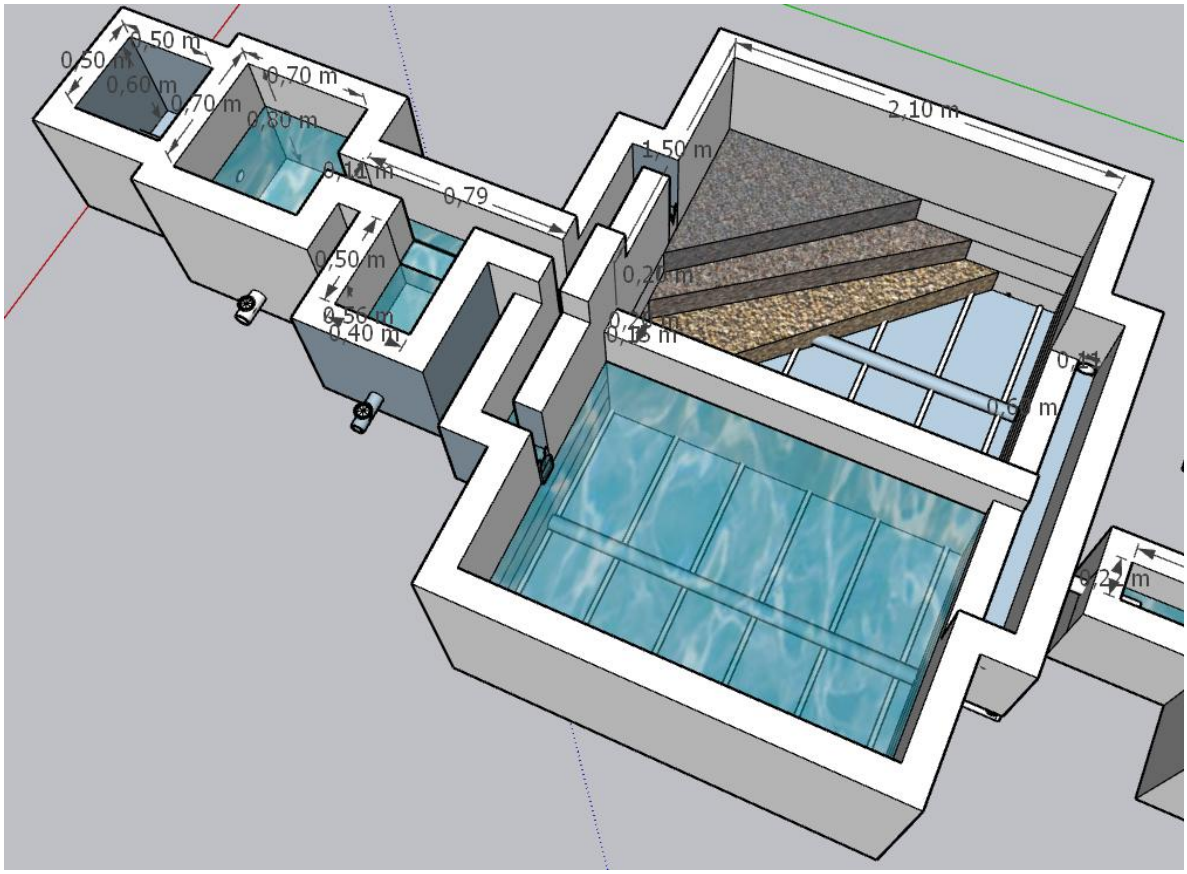
FIRMAS AUTORIZADAS

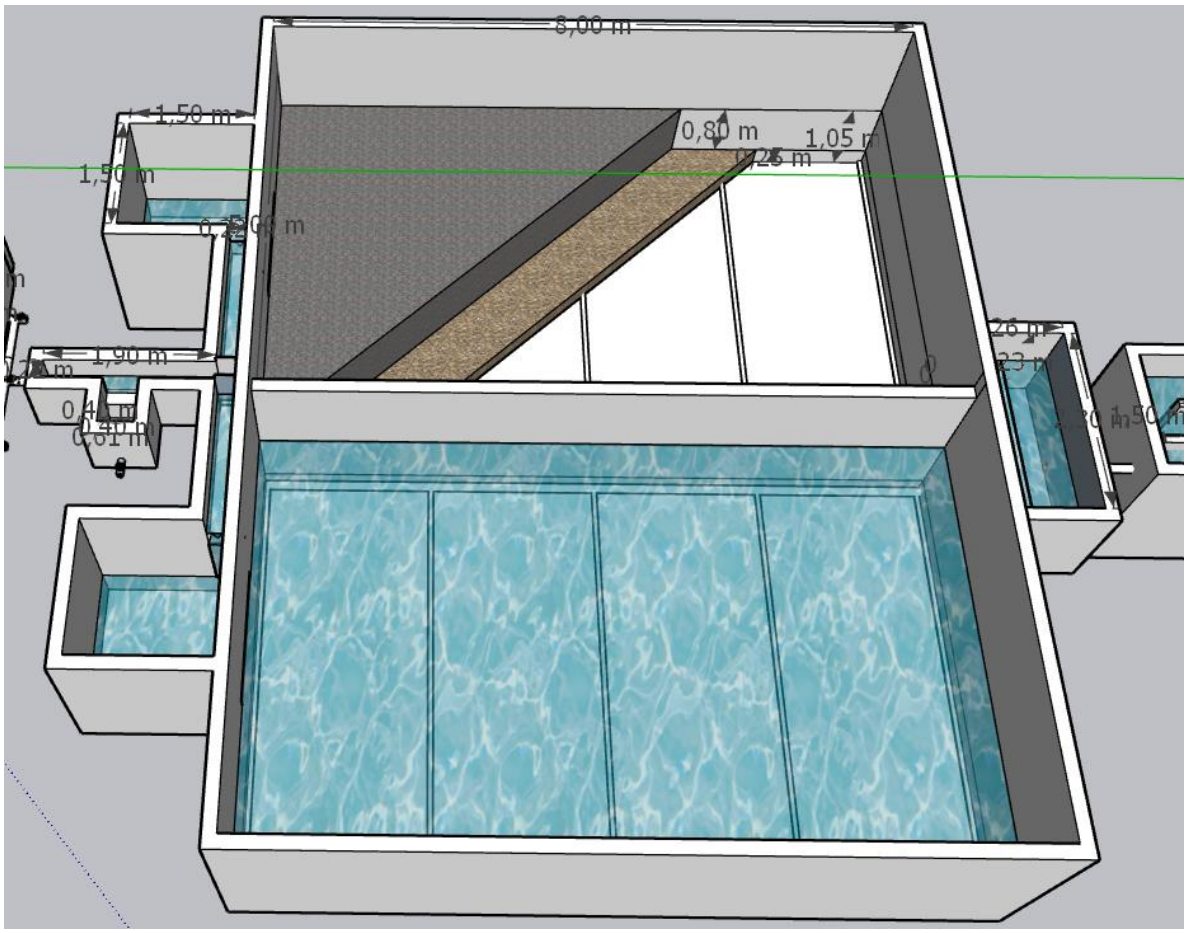
Analizó		Revisó y aprobó	
Cargo	Técnico de Laboratorio	Cargo	Profesional de Laboratorio
Firma		Firma	

FIN DEL INFORME

Carrera 1 Sur Calle 16 Facatativa - Tel. 8425999 - 846066 ext. 330 e-mail: eaafacatativa@acueductofacatativa.gov.co
www.acueductofacatativa.com




0,50 m
0,50 m
0,60 m
0,70 m
0,70 m
0,80 m
0,79
0,50 m
0,56 m
0,40 m
2,10 m
1,50 m
0,20 m
0,60 m



Mas recursos de mis practicas (adjunto documento en Excel, Modelo 3D, Resultados de laboratorios, Monografía)

- PROYECTO FiME - Supatá Cund 2026 - Uniagraria

Bogotá 10 de febrero de 2026

Comité Investigación – Ingeniería Civil

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA AGRARIA DE COLOMBIA

Por medio de la presente me permito informar que el Trabajo de Grado denominado **DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE MEDIANTE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS (FiME) PARA LA VEREDA SAN MIGUEL, MUNICIPIO DE SUPATÁ, CUNDINAMARCA** presentado por el estudiante **Luis Fabián Castro Crispin** ha sido revisado y teniendo en cuenta que cumple con las condiciones exigidas por el Programa de Ingeniería Civil para la sustentación de proyectos de grado, se encuentra APROBADO PARA SUSTENTACIÓN.

Agradezco la atención prestada.



Ing. Juan Carlos Bello Florián

Docente T.C. – Ing. Civil