

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Construcción, Operación Y Mantenimiento De Un Sistema De Filtración En Múltiples Etapas, (FIME) Construido En El Predio Denominado San Miguelito, Ubicado En La Vereda Hipaquira Del Municipio De Garagoa Boyacá

Andrés Yesid González Bueno

Trabajo de Grado Para Optar el Título de Especialista En Ordenamiento Y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas.

Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Santo Tomas, Decanatura Abierta y a Distancia

Especialización en Gestión y Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

Bogotá Junio de 2020

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Construcción, Operación Y Mantenimiento De Un Sistema De Filtración En Múltiples Etapas, (FIME) Construido En El Predio Denominado San Miguelito, Ubicado En La Vereda Hipaquira Del Municipio De Garagoa Boyacá

Andrés Yesid González Bueno

Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Santo Tomas, Decanatura Abierta y a Distancia

Especialización en Gestión y Ordenamiento y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas

Docente Tutor, Esp. Msc. Paulo Germán García Murillo

Facultad De Ciencias Y Tecnologías (DUAD)

Programa Administración Ambiental Y De Los Recursos Naturales

Bogotá Junio de 2020

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Introducción.....	9
Resumen.....	11
Palabras clave.....	12
1. Problema.....	12
1.1 Descripción.....	12
1.2 Sistematización.....	16
1.2.1 Pregunta problema.....	17
1.2 Formulación.....	17
1.4 Antecedentes.....	17
1.5 Justificación.....	21
1.6 Hipótesis.....	22
1.7 Objetivos.....	22
1.7.1 Objetivo general.....	22
1.7.2 Objetivos específicos.....	23
2. Marco Referencial.....	23
2.1 Materiales y métodos.....	26
2.2 Marco Teórico.....	27
2.3 Tratamiento de agua.....	28
2.3.1 Indicadores fisicoquímicos.....	28
2.3.1.1 Turbiedad del agua.....	28
2.3.1.2 Color.....	28
2.3.1.3 Potencial de hidrogeno pH.....	29
2.3.1.4 Sólidos y residuos.....	29
2.4 Pre tratamiento.....	30
2.5 Filtración en múltiples etapas.....	30
2.6 Proceso de diseño Fime.....	31
2.6.1 Diseño filtro grueso dinámico FGDi.....	36
.....	41
2.6.2 Diseño filtro grueso descendente FGDe.....	41
2.6.3 Diseño filtro lento de arena FLA.....	43
3. Marco legal.....	44
3.1 Normatividad.....	45

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

3.1.1	Características físicas.	45
3.1.2	Características Químicas.	45
4.	Marco Geográfico.	46
5.	Metodología.	47
5.1	Localización.	47
5.2	Tipo de investigación.	48
5.3	Variables.	48
5.4	Técnicas e Instrumentos.	49
6.	Resultados.	50
7.	Discusión.	53
8.	Conclusiones.	53
8.1	Recomendaciones.	54
9.	Referencias bibliográficas.	55
10.	Anexos.	56

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Listado de tablas.

Tabla 1 Rangos de calidad de agua para orientar la selección de opciones del Fime.....	31
Tabla 2 Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas.....	32
Tabla 3. Criterios de diseño recomendados para filtros gruesos dinámicos	36
Tabla 4 Lineamientos para el diseño de filtros gruesos dinámicos.	37
Tabla 5. Lineamientos para el diseño de filtros gruesos dinámicos.	38
Tabla 6. Eficiencias de remoción encontradas en fuentes superficiales tratadas por filtros gruesos dinámicos.	38
Tabla 7. Distribución de lechos filtrantes en FGDi.	40
Tabla 8. Distribución lechos filtrantes FGDe.	42
Tabla 9. Distribución lechos filtrantes FLA.	43
Tabla 10. Normatividad ambiental aplicada a calidad de agua.	44
Tabla 11. Valores máximos calidad de agua potable, resolución 2115; 2007.....	45
Tabla 12. Elementos y compuestos presentes en el agua, con afectaciones a la salud humana. ..	46
Tabla 13. Definición de variables.	48
Tabla 14. Indicadores físico-químicos y microbiológicos.....	48
Tabla 15. Definición de variables.	49

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Listado de ilustraciones.

Ilustración 1. Vereda Hipaquira, municipio de Garagoa, Boyacá.	16
Ilustración 2. Diseño Filtro Grueso Dinámico. FGDi.	41
Ilustración 3. Diseño filtro Grueso Descendente. FGDe.	42
Ilustración 4. Diseño filtro Lento De Arena. FLA.	44
Ilustración 5. Localizacion municipio de Garagoa (POMCA Rio Garagoa).	47
Ilustración 6. Remoción turbiedad en el agua.	50
Ilustración 7. Remoción Coliformes totales en el agua.	50
Ilustración 8. Ilustración color en el agua.	51

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Listado de imágenes.

Imagen 1. Vertimiento de contaminantes sobre fuentes hídricas, principal afectación para el recurso hídrico.	13
Imagen 2. Afectación a fauna acuática contaminación recurso hídrico.....	14
Imagen 3. Preparación del terreno para la instalación del sistema.	32
Imagen 4. Obtención material granulares según diseño del sistema.	33
Imagen 5. Lavado de materiales granulares.....	34
Imagen 6. Angeo utilizado para la separación de materiales granulares.	34
Imagen 7. Instalación de material granular para cada unidad.....	35
Imagen 8. Puesta en marcha del sistema de filtración en múltiples etapas Fime.	36
Imagen 9. Comunidad beneficiada con la implementación del sistema de filtración en múltiples etapas Fime.	52

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Agradecimientos

El autor presenta sus agradecimientos a DIOS principalmente quien ha sido mi fortaleza, quien me ha dado la fuerza necesaria para seguir fuerte en cada resto personal y profesional.

A mis padres Yesid y Sonia quienes me han enseñado la importancia de crecer y por quienes me levanto cada mañana para dar lo mejor de mí, para ellos este trabajo.

Al ingeniero paulo German García murillo por su acompañamiento y asesoría en este proceso de investigación.

Al ingeniero Haimar Ariel Vega Serrano como consultor y asesor en la construcción de este sistema basado en su amplia experiencia en este tipo de unidades de filtración.

A la comunidad de la vereda Hipaquira del municipio de Garagoa, Boyacá por quienes se desarrolló este proyecto y gracias por su apoyo y dedicación.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Introducción.

Según los objetivos de desarrollo sostenible planteados por el Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo más de 850 millones de personas no tienen acceso suficiente a agua potable, el uso medio de agua por persona/día es de 200 a 300 litros en la mayoría de los países europeos, frente a los menos de 10 litros en otros en vías de desarrollo, 2 millones de personas al año mueren por enfermedades causadas por el mal uso del agua, cerca de 4.000 niños menores de cinco años mueren al día por falta de agua potable y saneamiento adecuado.

La problemática que se genera entorno a la contaminación del recurso hídrico no es muy ajena para un país como Colombia, pues según el DANE en el censo de 2018 el 13,6% de la población no tiene acceso a acueducto de allí la aparición de enfermedades generadas por el consumo de agua contaminada.

Para el municipio de Garagoa ubicado en el sur occidente de Boyacá especialmente sobre la parte baja de la vereda Hipaquira, la problemática que gira entorno a la calidad del agua es bastante preocupante, pues desde hace ya varios años se ha buscado que el acueducto de las veredas Fumbaque y resguardo abajo abstengan también a esta comunidad, pero no ha sido posible pues los altos costos de instalación de una red de distribución ha sido el principal obstáculo para permitir que toda la comunidad tenga acceso al agua potable, sumado así mismo que actualmente esta población se abastece de corrientes y nacimientos naturales que difícilmente podrán cumplir con las condiciones mínimas para considerarse agua potable.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Los riesgos sanitarios asociados a las aguas superficiales se han agravado en muchos países en desarrollo, debido a la pobre protección de estos recursos y al inadecuado manejo de los residuos sólidos y líquidos (PAHO, 1997). Por ejemplo, en Colombia solamente 206 (menos del 20%) de los municipios cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales, y esta es sólo una pequeña muestra de las falencias en este tema. Las fuentes superficiales pueden sufrir cambios impredecibles y erráticos en su calidad debido a la escorrentía durante los períodos de lluvia. Este es un problema crítico para los operadores de los sistemas de abastecimiento de agua, en particular, en algunos países andinos y del caribe donde el 80% de estos sistemas dependen de las fuentes superficiales (Foster et al, 1987; Ministerio de Desarrollo de Colombia, 1998). Las fuentes superficiales pueden acarrear riesgos sanitarios considerables, por lo que requieren un adecuado tratamiento para remover o reducir de ellas los organismos causantes de enfermedades. Este riesgo es menor para las fuentes protegidas en las zonas montañosas, que para los ríos en zonas planas cercanas a las áreas densamente pobladas. (Galvis, Galvis, Sánchez y Latorre 2007)

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Resumen.

En la parte baja de la vereda Hipaquira del municipio de Garagoa, Boyacá, se realizó la construcción de un sistema de filtración en múltiples etapas FiME, sistema que fue diseñado de acuerdo a las condiciones naturales del recurso hídrico que suministra a esta comunidad, esta construcción se realizó con base al diseño realizado teniendo en cuenta los análisis de laboratorio realizados a la muestra de agua analizados por el laboratorio de aguas de la corporación autónoma regional de Chivor, Corpochivor. El objetivo era determinar las condiciones en las cuales el sistema operaba con el fin de garantizar el suministro del recurso hídrico a esta comunidad según los lineamientos de la resolución 2115 de 2007 para calidad de agua. Las condiciones del efluente fueron turbiedad (0,59 NTU), color (34 UPC) y Coliformes totales (628 UFC/100ml) pruebas iniciales realizadas en día 02 de Junio de 2020, posteriormente se realizó la evaluación del filtro en operación el día 10 de julio encontrando turbiedad (0,12 NTU), color (2 UPC) y Coliformes totales (0UFC/100ml), con porcentajes de remoción para turbiedad de 79.7%, color 94.1 % y Coliformes totales 100%.

Después de realizadas actividades de seguimiento y monitoreo al sistema se logró concluir que las unidades cumplen con los objetivos de remoción de contaminantes en el agua y dan cumplimiento a los lineamientos establecidos en la resolución 2115 para calidad de agua, convirtiéndose en una alternativa fácil, económica y eficiente para las comunidades de la vereda Hipaquira quienes no tienen acceso al agua de calidad para el desarrollo de sus actividades propias, el propósito principal de este proyecto fueron evaluar la eficiencia del filtro en relación con los parámetros de potabilidad del agua según la normatividad vigente.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Palabras clave.

Turbiedad, calidad de agua, filtración, agua potable y Coliformes fecales y totales.

1. Problema.

1.1 Descripción.

La provisión de agua potable a pobladores carenciados es una de las medidas que ayudan a paliar los problemas sociales, económicos y de salud. Alrededor de 1,200 millones de personas en el mundo carecen de acceso adecuado al agua potable; de ellos, las dos terceras partes viven en zonas rurales en condiciones de vida muy inferiores a las de las poblaciones urbanas (Wegelin, 2000). Según la OMS (2002), en Latinoamérica mueren unos 80,000 niños cada año debido a enfermedades transmitidas generalmente por agua insalubre (cuadros gastrointestinales, hepatitis, fiebre tifoidea o cólera). Se estima que un 30% de la población de la región bebe agua de ríos, vertientes, pozos, estanques y otras fuentes muchas veces contaminadas.

En varias regiones de Colombia y otros países andinos, se tienen limitaciones para aprovechar adecuadamente las tecnologías de tratamiento de agua químicamente coagulada y filtración rápida, debido a las dificultades para adquirir, transportar, almacenar y dosificar coagulantes químicos. Esta condición ha venido afectando a la sostenibilidad de los sistemas de abastecimiento de agua, principalmente en localidades pequeñas, abastecías por fuentes superficiales que representan cambios bruscos en la calidad del agua. (Galvis, 2004:2).

Las fuentes superficiales pueden sufrir cambios impredecibles y erráticos en su calidad debido a la escorrentía durante los períodos de lluvia. Este es un problema crítico para los operadores de los sistemas de abastecimiento de agua, en particular, en algunos países andinos y

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá. del Caribe donde el 80% de estos sistemas dependen de las fuentes superficiales (Foster et al, 1987; Ministerio de Desarrollo de Colombia, 1998). Las fuentes superficiales pueden acarrear riesgos sanitarios considerables, por lo que requieren un adecuado tratamiento para remover o reducir de ellas los organismos causantes de enfermedades. Este riesgo es menor para las fuentes protegidas en las zonas montañosas, que para los ríos en zonas planas cercanas a las áreas densamente pobladas. (Sánchez et al, 2006: 7).

La problemática sanitaria generada por las inadecuadas condiciones del agua de la cual se abastecen los habitantes de la vereda Hipaquira del municipio de Garagoa son preocupantes, pues desde sus asentamientos en estas latitudes no han contado con suministro por parte de la red de acueducto veredal más cercana (vereda Fumbaque y Resguardo Abajo) y ven muy difícil la introducción de sistemas de potabilización de agua por parte del gobierno municipal y regional en su vereda. Esta vereda es de las más importantes y representa la dispensa alimenticia del municipio, además de que en la zona se genera la producción de ganado y aves.

Imagen 1.

Vertimiento de contaminantes sobre fuentes hídricas, principal afectación para el recurso hídrico.



Fuente. Informe especial a tratar el agua semana sostenible, revista semana 2013.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

El municipio y la mayoría de las veredas del mismo cuenta con suministro de agua por parte del acueducto municipal (las más cercanas) y acueductos veredales, que a pesar de que no suministran de manera continua si prestan el servicio de acuerdo a la normatividad ambiental vigente.

El agua y alimentos contaminados tienen una gran importancia en la transmisión de patógenos causantes del síndrome diarreico, por lo que se hace necesario tener estrategias que permitan un manejo adecuado de ella. La Organización Mundial de la Salud OMS calcula que la morbilidad (número de casos) y mortalidad (número de muertes) derivadas de las enfermedades más graves asociadas con el agua se reduciría entre un 20 y un 80 %, si se garantizara su potabilidad y adecuada canalización. Aunque estas enfermedades generalmente no son mortales, pueden ser extremadamente dolorosas e impiden trabajar a quienes las padecen, e incluso a veces impiden el movimiento (Moncada Campos, 2005).

Imagen 2.

Afectación a fauna acuática contaminación recurso hídrico.



Fuente. "Contaminación del Agua". Autor: Julia Máxima Uriarte. Para: Caracteristicas.co.

Última edición: 9 de marzo de 2020. Disponible en:

<https://www.caracteristicas.co/contaminacion-del-agua/>. Consultado: 24 de septiembre de 2020

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Fuente: <https://www.caracteristicas.co/contaminacion-del-agua/#ixzz6Yy4eURYT>.

La turbiedad define el grado de opacidad producido en el agua por la material particulado en suspensión. Debido a que los materiales que provocan la turbiedad son los responsables del color, la concentración de las sustancias determina la transparencia del agua. Puesto que limita el paso de la luz a través de ella. La forma más frecuente como el hombre aumenta la turbiedad del agua es por la construcción de obras de ingeniería (carreteras, canteras), que dejan el terreno expuesto a la erosión. La construcción de vías requiere en particular, un estudio de impacto ambiental detallado con el fin de disponer adecuadamente el exceso de materiales extraídos para evitar ser arrastrados por las lluvias. En especial en el trópico donde las precipitaciones son frecuentes y altas, este se convierte en uno de los factores más perturbadores de los ecosistemas acuáticos. Asimismo, la deforestación y la agricultura intensiva se convierten en fuente de sedimentos que al depositarse en el fondo de los ríos y lagos destruyen los hábitats de numerosas especies. La turbiedad se convierte, por tanto en una medida visual de la contaminación. (Roldan, 2003: 2).

La calidad y la ingesta directa de agua de fuentes contaminadas o indirecta a través de alimentos de consumo crudo como hortalizas regadas por aguas residuales sin tratar o insuficientemente tratadas, así como el contacto con campos regados con estas aguas y sin tomar las debidas restricciones, representan un elevado riesgo de infección parasítica (giardiasis, amebiasis, teniasis, ascariasis), vírica (hepatitis, diarreas por rotavirus) y bacteriana (cólera, tifoidea, y Enfermedad Diarreica Aguda EDA en general) (MinAgricultura. 2011:8).

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Ilustración 1.

Vereda Hipaquira, municipio de Garagoa, Boyacá.



Fuente. Autor.

Nota: Las difíciles zonas de acceso en la parte alta y baja de la vereda Hipaquira, ilustración 1, del municipio de Garagoa representan una de las grandes problemáticas para el acceso al agua potable pues esta situación ha dificultado la fácil y económica instalación de una red de acueducto que pueda suministrar agua potable a esta comunidad.

1.2 Sistematización.

- Cuáles son los materiales necesarios para la construcción de filtro?
- Bajo que lineamientos debe estar construido el sistema?
- Cuáles son las dimensiones del filtro y la cantidad de sustratos?

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

1.2.1 Pregunta problema.

Cuáles son las características físicas que debe tener un filtro diseñado en múltiples etapas para generar agua potable?

1.2 Formulación.

Se deben evaluar los siguientes aspectos:

- Qué condiciones debe tener el filtro para que opere de manera adecuada generando agua potable.
- Que materiales deben ser utilizados para la construcción del filtro.
- Cuáles son los lineamientos para la construcción del filtro.

1.4 Antecedentes.

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 (FG) y Filtro Lento en Arena (FLA) (Vargas y Galvis, 2007).

La cooperación suiza para américa central desarrollo el programa de agua, saneamiento e higiene AGUASAN “juntos por el bienestar y el desarrollo” en Honduras y Nicaragua, dentro del cual se realizó el seguimiento a diferentes plantas de tratamiento de agua potable que implementan el sistema de filtración en múltiples etapas para comunidades rurales, dentro de los factores más relevantes de la operación de estos sistemas encontramos que presentan porcentajes

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá. de remoción para Coliformes fecales entre el 90% y 100%, y que a pesar de que la mayoría de los sistemas evaluados no cuentan con las herramientas básicas para su operación estos demuestran que este tipo de sistemas tienen altos índices de eficacia y representan una opción fácil y económica para las comunidades más alejadas. Es importante tener en cuenta que estos sistemas son complementados con cloración que representa un proceso que no se desarrolló para nuestro prototipo, sin embargo la operación de los filtros que hacen parte del sistema FiME son y operan de manera similar.

La facultad de ingeniería de procesos, escuela profesional de ingeniería ambiental de la universidad nacional de san Agustín de Arequipa, Perú, desarrollo la evaluación del sistema de filtración en múltiples etapas como alternativa de tratamiento de aguas residuales domesticas para la cuenca baja del Rio Tambo, allí se realizó la implementación de este sistema no para agua potable si no para agua residual, sin embargo se encontró que los porcentajes de remoción para variables como Coliformes y solidos suspendidos son muy favorables teniendo en cuenta que las características del agua que abastece el sistema son altamente contaminantes y por consiguiente su tratamiento es mucho más complejo, esta investigación realizo la comparación de este sistemas FiME con una PTAR encontrando que los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio para el sistema filtración en múltiples etapas representan valores mucho más cercanos al cumplimiento de la normatividad ambiental para ese país y que se recomiendan realizar algunos ajustes de forma en la construcción del sistema pero que este puede llegar a ser operado de manera satisfactoria mejorando las condiciones de operación de los sistemas convencionales de PTAR.

En la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro se construyeron dos sistemas de filtración en múltiples etapas FiME, uno en concreto cumpliendo especificaciones de

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el equivalente en tanques plásticos para evaluar la operación bajo condiciones locales y comparar su eficiencia, los sistemas fueron operados y presentaron remociones apropiadas. Las lluvias fuertes generaron deslizamientos en la vertiente de la fuente de abastecimiento y cambiaron las propiedades del agua incrementado la turbiedad colmatado los filtros. El objetivo consistió en evaluar las condiciones de operación del sistema de filtración en múltiples etapas FiME en tanques plásticos con pre-sedimentación y retro-lavado para establecer las remociones, para ello se diseñaron los componentes adicionales, se instalaron en el sistema, incluyendo una matriz en botellas plásticas en el pre-sedimentador, haciendo seguimiento y monitoreo tomando un total de 15 muestras compuestas durante el periodo comprendido entre febrero de 2011 y septiembre de 2012, analizando indicadores establecidos en la resolución 2115. Las características del efluente fueron en turbiedad un promedio de 3.6 UNT con una remoción del 84.6%, el color aparente fue de 11.8 UPC con remoción del 72.8%, Coliformes totales 1,600 UFC/100 ml y remoción del 93.7%, en Coliformes fecales 62 UFC/100 ml removiendo el 96.5% sin utilización de desinfectantes, también se evaluaron otros indicadores establecidos en la normatividad cumpliendo con los rangos establecidos. Los valores promedio en las remociones fueron afectados al operar el sistema en rangos de turbiedad superiores a los de diseño. El sistema FiME evaluado en tanques de plástico y bajo condiciones específicas de operación logro cumplir con el objetivo de mejorar la calidad del agua para los usos que se le están dando en la Hacienda Majavita al reportar valores en los rangos establecidos en la mayoría de los indicadores, siendo necesario algunos cambios para lograr suministrar agua potable y cumplir con la resolución 2115 a cabalidad, convirtiéndose en una alternativa viable para las fincas de la región donde se tenga una entorno apropiado. (Vega Serrano, 2007).

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

En el municipio de Togüí se realizó la construcción y operación de un Fime, encontramos que para la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Togüí, Boyacá se desarrolló en el año 2018 una evaluación hidráulica (Higuera y Parra 2018) de este sistema que a pesar de que maneja proporciones mucho más grandes con caudales de 5,5 l/s y unidades de metros, el sistema mostro que opera de manera satisfactoria y los resultados se ven en las condiciones óptimas del agua que tratan y que a pesar que se deben realizar algunos ajustes técnicos el sistema garantiza la calidad y la cantidad del recurso para los habitantes de Togüí, esta planta opera bajo condiciones normales y la operación del sistema Fime se realiza previo al tratamiento convencional lo que ha mejorado la eficiencia del sistema aumentando porcentajes de remoción de contaminantes. Este sistema cuenta con FGD, FGDe y FLA instalados en serie tienen remociones del más del 80% de contaminantes teniendo en cuenta las condiciones de operación y las características de la fuente de abastecimiento, en relación al prototipo este fue construido con el mismo objetivo pero para menores caudales.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos por las diferentes investigaciones y resultados relacionados anteriormente encontramos que efectivamente el sistema de filtración en múltiples etapas corresponde a un sistema de tratamiento de agua de bajo costo y de fácil operación y mantenimiento que representa una ayuda inigualable a las comunidades que presentan dificultades para el acceso al agua potable, principalmente en los países en vías de desarrollo. Así pues la implementación y diseño de estos sistemas estan ligados a las condiciones físico-químicas del agua que abastece el sistema pues de eso depende realizar un adecuado diseño que se ajuste a las necesidades de tratamiento del agua.

Para el diseño de este tipo de sistemas se concluye principalmente que es importante garantizar el tipo de materiales granulares a utilizar como lo son arenas, gravas y gravillas pues

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.
del cumplimiento de diámetros de estos elementos y de su adecuada limpieza y remoción de materia orgánica dependerá la eficiencia en operación del sistema de filtración en múltiples etapas FiME.

1.5 Justificación.

Según el programa de las naciones unidas para el desarrollo, dentro de sus objetivos de desarrollo sostenible (6 agua limpia y saneamiento). La escasez de agua afecta a más del 40 por ciento de la población mundial, una cifra alarmante que probablemente crecerá con el aumento de las temperaturas globales producto del cambio climático. Aunque 2.100 millones de personas han conseguido acceso a mejores condiciones de agua y saneamiento desde 1990, la decreciente disponibilidad de agua potable de calidad es un problema importante que aqueja a todos los continentes. PNUD (objetivos de desarrollo sostenible 6) 2020.

El diseño y puesta en marcha de este prototipo nace debido a la necesidad de la comunidad de la vereda Hipaquira del municipio de Garagoa, Boyacá, (predio San Miguelito) en relación a que se presentan deficiencias en la calidad y cobertura del recurso hídrico necesario para el desarrollo de sus actividades básicas y agropecuarias, este sistema garantiza el tratamiento del agua a bajo costo y que a comparación de otros sistemas no utiliza aditivos químicos que alteran las condiciones naturales del agua y que son de difícil acceso y altos costos, este sistema utiliza materiales granulares que garantizan la filtración del agua de manera eficaz, este sistema puede ser operado por personal con bajos niveles de escolaridad y representa una solución fácil, rápida y económica para esta comunidad que ha sufrido las consecuencias de no tener agua potable durante muchos años atrás.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Es importante mencionar que a pesar de que en mercado se encuentran diferentes sistemas de tratamiento de agua no se comparan con este tipo de sistema de filtración en múltiples etapas, teniendo en cuenta que estos sistemas operan bajo estándares que requieren inicialmente de inversiones alta y de un seguimiento, control y operación de personal altamente calificado con el fin de garantizar su optimo desempeño, a diferencia de este sistema que opera de manera fácil y sencilla, puede ser operado con personal de la comunidad y los materiales para su construcción son de fácil acceso y opera sin la presencia de sustancias químicas de ningún tipo.

A diferencia de sistemas de tratamiento convencionales con planta de tratamiento de agua potable encontramos que sumándole a la adición de sustancias químicas para el tratamiento de agua se debe disponer no solo de uno si no de varios trabajadores para su puesta en marcha, el sistema está proyectado con el fin de garantizar la calidad y disponibilidad del recurso hídrico a esta comunidad.

1.6 Hipótesis.

La construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas permitirá garantizar la disponibilidad, cantidad y calidad de agua potable a la comunidad del predio San Miguelito de la Vereda Hipaquira del municipio de Garagoa en el departamento de Boyacá.

1.7 Objetivos.

1.7.1 Objetivo general.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Construir, operar y evaluar un sistema de filtración en múltiples etapas FiME para obtener agua potable en el predio San Miguelito, vereda Hipaquira, municipio de Garagoa, Boyacá.

1.7.2 Objetivos específicos.

- Determinar bajo que parámetros debe ser construido (Diseño) el sistema de filtración en múltiples etapas buscando que garantice la calidad del agua para consumo.
- Determinar porcentajes de remoción de contaminantes post puesta en marcha del sistema de filtración en múltiples etapas.

2. Marco Referencial.

La vereda Hipaquira con un área de 387,91 Ha y con una población de 430 habitantes, representa una de las dispensas agropecuarias más importantes para el municipio de Garagoa y el valle de Tenza, así pues sus principales actividades agrícolas están enfocadas en pastos para ganadería, arveja, tomate, habichuela, maíz, arracacha, pepino, yuca, café, plátano, caña y fique, también se presentan en estas zonas la presencia de frentes de explotación de materiales granulares base, subbase, piedra rajón, piedra filtro y diferentes materiales producidos para el mejoramiento y construcción de obras de infraestructura vial. (PBOT Garagoa 2007)

Dentro de las principales causas de contaminación hídrica en el sector rural del municipio encontramos que la mayoría de la viviendas de la vereda Hipaquira no cuenta con el adecuado manejo y disposición de aguas residuales, lo que afecta considerablemente las condiciones naturales del recurso hídrico, las pocas viviendas que cuentan con pozo séptico no operan el sistema de manera adecuada y no garantizan la disposición de la totalidad del caudal que generan, por esta razón se presentan vertimientos con altas cargas contaminantes.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

En relación a los aspectos biofísicos de la vereda Hipaquira encontramos elementos florísticos propios de áreas intervenidas con procesos de quema, cultivos y ganadería extensiva entre otros que descienden de la parte alta para ocupar los espacios vacíos de lo que antiguamente era el bosque. Posteriormente se utilizan para pastoreo o extracción de materiales en la combustión doméstica. (PBOT Garagoa 2007)

Los nacimientos de las fuentes, los cauces de caudales continuos constituyen ecosistemas estratégicos, como fuentes surtidoras de agua tanto para el consumo humano, como actividades productivas en el sector agropecuario, abrevaderos y pequeños riego. Existen especies vegetales que se utilizan para la construcción, aserrío y actividades extractivas de fibras, sin embargo el mayor potencial que tiene la vegetación es la protección que le brinda al recurso suelo, hábitat natural para diferentes especies animales y permitir la recarga de acuíferos que van a beneficiar al hombre. (PBOT Garagoa 2007)

En el municipio de Garagoa se encuentran tres unidades geomorfológicas que por su composición afectan la calidad de agua en las parte altas y generan presencia de sólidos en suspensión, estas son:

Denudacional: está ligado a la meteorización y erosión de las rocas, se ocurre en formaciones de mediana y baja resistencia compuesta especialmente por lutitas, arcillolitas y algunas areniscas deleznales poco resistentes a los fenómenos superficiales.

Estructural: ocurre en rocas de alta resistencia, donde los procesos denudativos son secundarios y las geoformas se deben a procesos estructurales principalmente.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Deposicional: están representada por depósitos cuaternarios de origen coluvial, compuestos por materiales provenientes de la roca preexistentes y depositados en las zonas bajas por acción del agua y la roca.

Estas condiciones y tipos de suelo presentes en la zona sumando los cambios de pendientes en recorridos cortos de las diferentes corrientes de agua superficiales afectan la calidad, cantidad y cobertura del recurso teniendo en cuenta que la difícil topografía de estas zonas no ha permitido la instalación de redes de acueducto veredal lo que afecta significativamente las condiciones de vida de la comunidad de la vereda Hipaquira.

En relación al aspecto hidrológico encontramos diferentes corrientes de bajo caudal en las áreas relacionadas con la zona de intervención, se presentan algunos nacimientos naturales que son aprovechados por la comunidad de manera artesanal para el desarrollo de sus actividades propias, a mayor escala encontramos dos cuencas hidrográficas importantes Rio Súnuba y Rio Garagoa que al unirse forman el Rio Batá, donde hoy en día comienza el embalse la esmeralda en el sitio denominado Las Juntas, este embalse tiene una longitud de 22 Km y un área de inundación de 1260 Ha, con una capacidad de almacenamiento de 815 millones de m³, este embalse constituye el eje ambiental no solamente de Garagoa, sino de toda la región, ya que origina impactos ambientales y sociales de gran magnitud y hoy es fundamental para el desarrollo regional. (PBOT Garagoa 2007).

Dentro de las actividades agropecuarias más representativas tenemos que los usos actuales de suelo en la provincia de Neira según el plan de básico de ordenamiento territorial, muestran una alta utilización para actividades ganaderas (el 70% de los suelos se destinan a pastos) que representa una actividad que afecta considerablemente la calidad de agua por la

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.
ampliación de esta frontera y una baja destinación a actividades agrícolas (13%), estas cifras se van aumentando hacia actividades pecuarias en razón de la especialización en municipios como San Luis de Gaceno, Macanal y Santa María en donde los porcentajes de suelos para pastos están por encima del 73%. (PBOT Garagoa 2007).

2.1 Materiales y métodos.

La puesta en marcha de esta alternativa económica para suministrar agua potable a la población de la vereda Hipaquira del municipio de Garagoa, Boyacá, es la implementación de una serie de estrategias económicas, ambientales y técnicas que permiten de una manera fácil, rápida y económica suministrar agua a esta comunidad, dicho prototipo de filtro fue utilizado según las condiciones de sus entorno para suministrar agua en la parte alta de la casona Majavita en el Socorro, Santander, allí se realizó el análisis detallado de la fuente de abastecimiento al sistema y se evaluó el rendimiento del sistema con unidades previas que mejorarían los parámetros del agua en especial la turbiedad, siguiendo estos lineamientos y recomendaciones se proyectó la construcción y operación de este sistema, es así como el sistema opera teniendo en cuenta las condiciones de la fuente de abastecimiento y siguiendo los lineamientos de diseño para su construcción y operación.

La construcción y operación de este sistema se puede considerar sostenible, teniendo en cuenta que sigue los lineamientos ambientales al mejorar las condiciones del agua de una manera natural sin aditivos químicos que alteran las condiciones naturales del recurso hídrico, así mismo tiene un impacto muy positivo sobre las comunidades pues mejora sus condiciones de vida y facilita el desarrollo de las actividades agropecuarias, además tiene un bajo costo pues su

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá. construcción y operación se basan en elementos de fácil acceso y de muy bajos costos, lo que permite que sea implementado por las comunidades menos favorecidas.

Relacionado con antecedentes en la construcción y operación de un Fime, encontramos que para la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Togüí, Boyacá se desarrolló en el año 2018 una evaluación hidráulica (Higuera y Parra 2018) de este sistema que a pesar de que maneja proporciones mucho más grandes con caudales de 5,5 l/s y unidades de metros, el sistema mostro que opera de manera satisfactoria y los resultados se ven en las condiciones óptimas del agua que tratan y que a pesar que se deben realizar algunos ajustes técnicos el sistema garantiza la calidad y la cantidad del recurso para los habitantes de Togüí.

2.2 Marco Teórico.

La Universidad de los Llanos ha implementado sistemas FiME en tanques plásticos en instituciones educativas de la región, los que se caracterizan por tratar un caudal de 250 litros al día, con velocidades de flujo del orden de 0.01 m/h para el filtro grueso y el filtro lento de arena. La fuente de abastecimiento, en la mayoría de las instituciones, son pozos superficiales no profundos (aljibes – jagüeyes), no aislados, con deficiente protección contra las aguas de escorrentía. El agua de estos pozos suele ser ácida, con elevado contenido de hierro, además es frecuente la presencia de Coliformes fecales por su proximidad con los pozos sépticos de las viviendas. Los sistemas están conformados por cuatro (4) tanques de PVC de 250 litros (Prada, 2009: 149).

La calidad del agua, efluente de las plantas obtenida, cumple con las exigencias de las normas vigentes en materia de agua potable, hecho que sólo se puede atribuir al proceso de potabilización realizado en razón que son conocidas las características de las aguas de

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá. abastecimiento. En especial se debe resaltar la ausencia de Coliformes fecales, lo que elimina los riesgos más comunes para los usuarios. La tecnología FiME, entonces, se convierte en una herramienta eficaz para la potabilización del agua en pequeña escala, como lo demuestran los trabajos de la Universidad de los Llanos (Prada, 2009: 155).

2.3 Tratamiento de agua.

Este sistema de filtración el múltiples etapas debe ser ajustado para zona en específico, teniendo en cuenta que las condiciones del agua que es tratada varía de acuerdo a su localización, de allí depende el diseño del sistema y la operación del mismo.

2.3.1 Indicadores fisicoquímicos.

Los indicadores que nos permiten conocer la calidad del agua son:

2.3.1.1 Turbiedad del agua.

La turbidez en un agua es la dificultad del agua para transmitir la luz, está causada por la presencia de diversas materias en suspensión: arcillas, limos, coloides, plancton y otros organismos microscópicos. Estas partículas suelen tener desde dimensiones coloidales, de alrededor de 10 nm, hasta diámetros del orden de 0.1 mm.

La medida de la turbidez se realiza mediante un espectrofotómetro, y se mide en UNT (unidades nefelométricas de turbidez).

2.3.1.2 Color.

Idóneamente, el agua de consumo no debe tener ningún color apreciable. Generalmente, el color en el agua de consumo se debe a la presencia de materia orgánica coloreada (principalmente ácidos húmicos y fúlvicos) asociada al humus del suelo. Asimismo, la presencia

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá. de hierro y otros metales, bien como impurezas naturales o como resultado de la corrosión, también tiene una gran influencia en el color del agua. También puede proceder de la contaminación de la fuente de agua con vertidos industriales y puede ser el primer indicio de una situación peligrosa. Si el agua de un sistema de abastecimiento tiene color, se debe investigar su origen, sobre todo si se ha producido un cambio sustancial. (OMS, 2004: 173).

En la formación del color en el agua intervienen, entre otros factores, el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la materia disponible y la solubilidad de los compuestos coloreados. Se denomina color aparente a aquel que presenta el agua cruda o natural y color verdadero al que queda luego de que el agua ha sido filtrada. Existen muchos métodos de remoción del color. Los principales son la coagulación por compuestos químicos como el alumbre y el sulfato férrico a pH bajos y las unidades de contacto o filtración ascendente. (Roldan, 2003: 2).

2.3.1.3 Potencial de hidrogeno pH.

Según la Resolución 2115 el valor para el potencial de hidrógeno pH del agua para consumo humano, deberá estar comprendido entre 6.5 y 9.0.

El pH influye en algunos fenómenos que ocurren en el agua, como la corrosión y las incrustaciones en las redes de distribución. Aunque podría decirse que no tiene efectos directos sobre la salud, sí puede influir en los procesos de tratamiento del agua, como la coagulación y la desinfección. Por lo general, las aguas naturales (no contaminadas) exhiben un pH en el rango de 5 a 9. (Barrenechea, 2003: 13).

2.3.1.4 Sólidos y residuos.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Se denomina sólidos a los residuos que se obtienen como materia remanente luego de evaporar y secar una muestra de agua a una temperatura dada. Según el tipo de asociación con el agua, los sólidos pueden encontrarse suspendidos o disueltos. Barrenechea, (2003: 9)

2.4 Pre tratamiento.

Para el caso de implementación de este sistema de tratamiento de agua por múltiples etapas, se toma como abastecimiento el tanque de almacenamiento de la vivienda piloto con el fin de tener un control detallado del caudal que entra al sistema, así como también de minimizar la cantidad de sólidos suspendidos en el agua que se suministra al sistema, el sistema de pretratamiento no se encuentra dentro de este prototipo, la proyección del diseño solo hace parte el sistema de control de caudal y el tratamiento en múltiples etapas.

El pre tratamiento según lo establece el Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS, (MinDesarrollo, 2000: 12), es un proceso previo que tiene como objetivo remover el material orgánico e inorgánico flotante, suspendido o disuelto del agua antes del tratamiento final.

2.5 Filtración en múltiples etapas.

La Filtración en Múltiples Etapas (FiME) es una combinación de Filtración Gruesa en Grava (FG) y de Filtración Lenta en Arena (FLA). Esta combinación hace posible el tratamiento de agua con niveles de contaminación muy superiores a los que se pueden tratar utilizando sólo la FLA. La FiME conserva las ventajas de la FLA como una tecnología robusta y confiable, que puede ser mantenida por operadores con bajos niveles de escolaridad. Es mucho más sostenible que el tratamiento químico del agua para las comunidades rurales, pequeños y medianos municipios de los países en vía desarrollo, así como para las áreas más remotas de los países

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá. industrializados. Otros procesos de tratamiento como la sedimentación, las trampas de arena y rejillas pueden preceder a los sistemas FiME. Donde sea posible, se debe incluir la desinfección final como una barrera de seguridad después de la FiME. (Sánchez et al, 2006:10).

2.6 Proceso de diseño Fime.

El proceso para el diseño del sistema de filtración en múltiples etapa se realizó de acuerdo a la calidad del agua que ingresa al sistema, por la tanto se realizó un análisis previo con el fin de determinar las características del en el diseño del filtro. Se tuvo en cuenta parámetros como turbiedad, color real y Coliformes totales principalmente con el fin de determinar rango de calidad de agua según la siguiente tabla:

Tabla 1

Rangos de calidad de agua para orientar la selección de opciones del Fime.

Rango	Nivel promedio
Bajo	Turbiedad < 10 UNT
	Coliformes fecales < 500 UFC/100 ml
	Color Real < 20 UPC
Intermedio	Turbiedad 10 - 20 UNT
	Coliformes fecales 500 – 10,000 UFC/100 ml
	Color Real: 20 - 30 UPC
Alto	Turbiedad: 20 - 70 UNT
	Coliformes fecales: 10,000 – 20,000 UFC/100 m
	l Color Real 30 - 40 UPC

Fuente: OPS/CEPIS 2005:5

De acuerdo a la tabla anterior se realiza la clasificación de la fuente hídrica como **INTERMEDIO.**

Posterior a la selección de la fuente hídrica se realiza el diseño de las unidades que harán parte del sistema en general, evaluando tipos de material filtrante, dimensiones de tanques y velocidades de filtración.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Previo a determinar el diseño de las unidades que harán parte del sistema se clasifico la corriente teniendo en cuenta los resultados de los análisis de laboratorio realizados a la corriente hídrica de la cual se abastecen.

Tabla 2

Modelo para la selección de un sistema de tratamiento de agua por filtración en múltiples etapas.

	Turbiedad	<10	10-20	20-50	50-70*
Coliformes fecales (UFC/100 ml)	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}

Fuente: Galvis, 1999 110.

FGDi - Filtro Grueso Dinámico

Bajo
Medio
Alto

FGAC - Filtro Grueso Ascendente en Capas

FGAS3 - Filtro Grueso Ascendente en Serie (3 Etapas)

Todas las opciones incluyen FGDi 2.0 y FLA0.15.

El subíndice indica la velocidad de filtración recomendada en m/h

Clasificación fuente según el rango de calidad:

Previo a las actividades del diseño es importante definir la zona para la construcción del sistema que se recomienda con una pendiente suave que facilite el acceso y el traslado de materiales, para este sistema se escogió la parte alta del predio pues cumple con estos requerimientos y es de fácil acceso. En la imagen 3 evidenciamos la preparación del terreno y la nivelación de la zona en donde será instalados los tanques plásticos.

Imagen 3.

Preparación del terreno para la instalación del sistema.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.



Fuente. Autor.

Ubicada la zona para la construcción se procede a realizar le gestión para la obtención de los materiales granulares que harán parte de las unidades de filtración, imagen 4, para este caso se contó con el apoyo de la empresa TRITURADOS VALLE DE TENZA quienes facilitaron el acceso a sus instalaciones y a la realización de las pruebas granulométricas para obtener los materiales según los diámetros exigidos por el diseño realizado.

Imagen 4.

Obtención material granulares según diseño del sistema.



Fuente. Autor.

En la imagen 5 se realizó el lavado de materiales en campo y posteriormente fueron ubicados en los sistemas según el diseño planteado, se realizó la instalación de malla tipo angeo

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.
para la separación entre materiales, con el fin de permitir un retiro adecuado en el momento de la realización del lavado de los mismos, el lavado de estos materiales se realizó con el fin de eliminar residuos orgánicos y materiales de otras dimensiones que pueden afectar la granulometría de los materiales.

Imagen 5.

Lavado de materiales granulares.



Fuente. Autor.

La instalación del angeo permite tener mayor control sobre los sustratos instalados en cada sistema, se debe garantizar la separación de cada uno de los granulares y se debe mantener la homogeneidad de cada sustrato, en la imagen 6 se realizó el corte del angeo y la instalación del mismo permitiendo la separación por capas de los materiales granulares utilizados en la construcción del sistema.

Imagen 6.

Angeo utilizado para la separación de materiales granulares.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.



Fuente. Autor.

Posteriormente en la imagen 7, se realizó la ubicación de los materiales granulares que debe ejecutar de acuerdo al diseño para cada sistema, este debe garantizar la hermeticidad del mismo así como también las alturas para cada sustrato.

Imagen 7.

Instalación de material granular para cada unidad.



Fuente. Autor.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Finalmente se realiza la puesta en marcha del sistema, allí se realiza la toma de caudal de entrada y se da inicio al suministro del recurso hídrico al sistema teniendo en cuenta las alturas y recomendaciones dadas por el diseño para cada unidad, se controló el caudal de entrada de 30 ml/s. en la imagen 8 evidenciamos operación del FGD con la implementación de un sistema de entrada por flautas que mejora la distribución del agua dentro del tanque.

Imagen 8.

Puesta en marcha del sistema de filtración en múltiples etapas Fime.



Fuente. Autor.

2.6.1 Diseño filtro grueso dinámico FGD.

Previo al diseño de esta unidad se tienen en cuenta factores determinantes para calcular las dimensiones y operación del filtro, se tienen en cuenta inicialmente las condiciones del agua a tratar y criterios que se relacionan a continuación:

Tabla 3.

Criterios de diseño recomendados para filtros gruesos dinámicos

Criterios de diseño	valor	Unidad
---------------------	-------	--------

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Periodo de diseño	8-12	Años
Periodo de operación	24	h/d
Velocidad de filtración	2-3	m/h
Número mínimo de unidades en paralelo	2	-
Área de filtración por unidad	<10	m ²
Velocidad del flujo durante el lavado superficial	0.15 – 0.30	m/s
Lecho filtrante	-	-
profundidad	60	cm
Tamaño de las gravas	Ver tabla 4.	mm
Altura del vertedero de rebose.	3-5	cm

Fuente: Galvis et al, 1999:116 y Guía OPS/CEPIS,

2005:13

Después de tener claros algunos criterios de diseño se tienen en cuenta la relación de remoción de los sustratos teniendo en cuenta que los diámetros de los materiales granulares varían, de acuerdo a esta ubicación tienen diferentes porcentajes de remoción de contaminantes presentes en el agua, estas relaciones se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 4

Lineamientos para el diseño de filtros gruesos dinámicos.

Parámetro	Unidad	Objetivos principales del tratamiento			
		Mejorar la calidad del agua		Reducir el impacto de los sólidos suspendidos	
Velocidad de filtración	m/h	0.5-2.0		>5	
Capa del lecho filtrante:					
Superior: grosor y tamaño	m/ mm	0.20	3-5	0.20-0.30	1.5-3
Media: grosor y tamaño	m/ mm	0.20	5-15	0.10	3-5
Inferior: grosor y tamaño	m/ mm	0.20	15-25	0.10	5-15
Velocidad de operación superficial	m/s	Nula o entre 0.1-0.3		Nula o <0.05	
Velocidad de lavado superficial	m/h	0.2-0.4		0.2-0.3	

Fuente: Galvis et al, 1999.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Características de distribución para el lecho de soporte recomendado en filtros gruesos dinámicos por el centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias ambiental CEPIS, 2005:12.

Tabla 5.

Lineamientos para el diseño de filtros gruesos dinámicos.

Capa	Tipo	Diámetro partícula mm	Espesor capa cm
Superior	Arena gruesa	1 -2	50
Segunda	Grava fina	2 – 5	50
Tercera	Grava	5 - 10	50
Inferior	Grava gruesa	10 - 25	150

Fuente: OPS/CEPIS, 2005:12.

Teniendo en cuenta que las dimensiones en las unidades de filtración que tendrá el sistema son muy reducidas, para el diseño de las unidades se tuvieron en cuenta la distribución presentada por el CEPIS en la tabla anterior así como también en el proyecto “sistema de filtración en múltiples etapas FiME en tanques plásticos”, (Vega Serrano ; 2013).

En el siguiente proceso de diseño encontraremos las dimensiones y capas de sustratos utilizados para la construcción de las unidades que hacen parte del sistema de filtración en múltiples etapas.

Según la eficiencia del filtro con la aplicación de este tipo de sistemas los parámetros con porcentajes de remoción son:

Tabla 6.

Eficiencias de remoción encontradas en fuentes superficiales tratadas por filtros gruesos dinámicos.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Indicador	Reducción típica
Sólidos Suspendidos	Entre 70 y 80%, con fuentes en el rango de 10 a 200 mg/l.
Turbiedad	De 30 a 50%, en fuentes de zona plana. En fuentes de ladera remueve aproximadamente 50%. La eficiencia en remoción es afectada por la naturaleza, tamaño y distribución de la partículas
Color Real	Entre 10 - 25%, con fuentes en el rango de 15- 20 UPC.
Hierro, Manganeso	Entre 40 - 70% como hierro total y entre 40 – 60% para manganeso.
Coliformes Fecales	Entre 50- 80%, para niveles en Coliformes fecales en el agua cruda en el rango de 2,000- 100,000 UFC/100 ml y sólidos suspendidos entre 10 y 50 mg/l.

Fuente: Galvis et al, 1999:118

Para dar inicio al diseño de las unidades tomamos de referencia un caudal total de 25 ml/s que es controlado mediante una llave en PVC a la entrada del sistema, posteriormente se calcula el caudal de diseño así:

$$QD = \frac{Q \text{ total}}{(n)\text{numero de unidades.}} \quad QD = \frac{75 \text{ ml/s}}{3} \quad QD = 25 \text{ ml/s}$$

Para el diseño de las unidades de filtración se destinaron tres canecas con capacidad de 63 galones por su facilidad de compra en los mercados locales.

Utilizamos el caudal de diseño para esta unidad 25 ml/s, posteriormente calculamos la velocidad de filtración:

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

$$Vf = \frac{144 * QD}{\pi * D^2} \quad Vf = \frac{144 * 25m/l}{\pi * (60)^2} \quad Vf = 0,31 \text{ m/h}$$

Encontramos que para esta unidad la velocidad de filtración es de 0,31 m/h.

La altura total de la caneca utilizada es de 90 cm una distribución de material granular así:

En la base de la caneca se ubica un espesor de 10 cm como soporte 4 (Triturado de ¾”), posteriormente un soporte 3 con espesor de 5 cm (Triturado de ½”), un soporte 2 de espesor 5 cm (Gravilla T. 2) y un soporte 1 con un espesor de 5 cm (Gravilla T. 1), como lechos encontramos un lecho N.3 de 15 cm de espesor (triturado de ¾ “), un lecho N. 2 con espesor de 15 cm (Triturado de ½”) y finalmente un lecho 1 filtrante de 15 cm (Gravilla T3), para conseguir un borde libre de 10 cm y una cabeza hidráulica de 10 cm.

La distribución de esta unidad se presenta en la siguiente tabla y gráfico:

Tabla 7.

Distribución de lechos filtrantes en FGDi.

Ubicación	Altura capa Cm	Tamaño mm	Nombre
Lecho 1	15	6-13	Gravilla T. 3
Lecho 2	15	13-19	Triturado ½”
Lecho 3	15	13-25	Triturado ¾”
Soporte 1	5	1-2	Gravilla T. 1
Soporte 2	5	2-5	Gravilla T. 2
Soporte 3	5	13-19	Triturado ½”
Soporte 4	10	13-25	Triturado ¾”
Borde libre	10	N/A	N/A
Cabeza hidráulica	10		

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Total del lecho

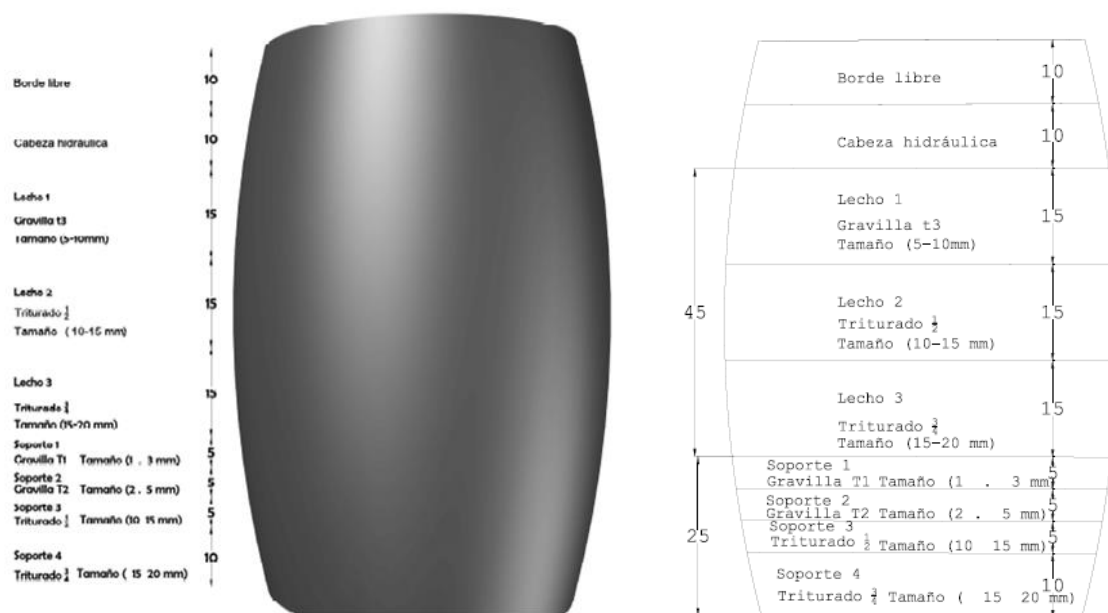
70 cm

Fuente: Autor.

En la ilustración 2 podemos encontrar en detalle las dimensiones con las cuales el sistema debe estar construido, debe realizarse siguiendo estos lineamientos con el fin de permitir que se realice un tratamiento del agua de manera satisfactoria.

Ilustración 2.

Diseño Filtro Grueso Dinámico. FGDí.



2.4.2 Diseño filtro grueso descendente FGDe.

Para el diseño de esta unidad el caudal de diseño 25 ml/s, se calcula la velocidad de filtración teniendo en cuenta las dimensiones del tanque ya definido:

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

$$Vf = \frac{144 * QD}{\pi * D^2}$$

$$Vf = \frac{144 * 25m/l}{\pi * 60^2}$$

$$Vf = 0,31 \text{ m/h}$$

Teniendo en cuenta la distribución de los lechos filtrantes encontramos que tenemos una altura total del tanque de 90 cm, en la base como soporte se ubicado una capa de 10 Cm de triturado de ½” con diámetros entre 13-17 mm, luego un lecho de 15 cm de gravilla T1 con diámetros entre 1-2 mm, en el nivel intermedio una capa de 15 Cm de gravilla T2 con diámetros entre 2 -5 mm, y en la parte superior de la unidad una capa de 15 Cm de gravilla T3 de diámetros entre 6-13 mm, esta unidad tendrá un borde libre de 15 Cm con una cabeza hidráulica de 20 Cm. La distribución de esta unidad se presenta en la siguiente tabla y gráfico:

Tabla 8.

Distribución lechos filtrantes FGDe.

Ubicación	Altura capa Cm	Tamaño mm	Nombre
Lecho 1	15	6-13	Gravilla T3
Lecho 2	15	2-5	Gravilla T2
Lecho 3	15	1-2	Gravilla T1
Soporte 1	10	13-19	Triturado ½”
Borde libre	15	N/A	N/A
Cabeza hidráulica	20		
Total del lecho		55	

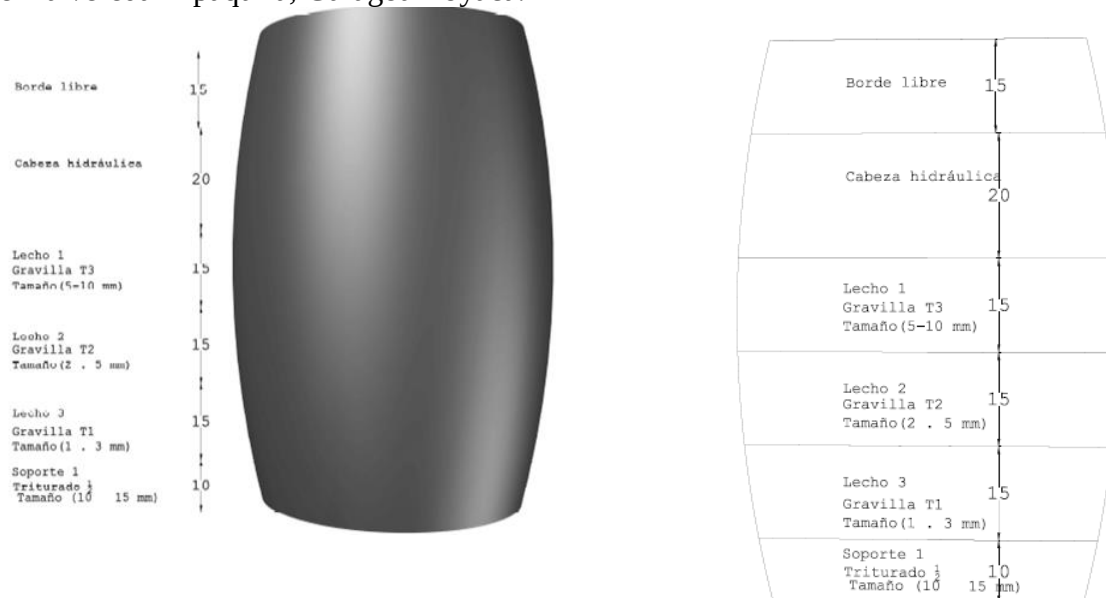
Fuente: Galvis et al, 1999:118

Las especificaciones gráficas para la construcción del filtro grueso descendente las encontramos en la ilustración 3.

Ilustración 3.

Diseño filtro Grueso Descendente. FGDe.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.



2.4.3 Diseño filtro lento de arena FLA.

La filtración lenta en arena (FLA) como etapa principal de tratamiento, juega un papel muy importante en el mejoramiento de la calidad del agua en zonas rurales y urbanas marginadas, por su eficacia, facilidad de diseño y sencillez en su operación y mantenimiento. Los filtros lentos de arena reducen drásticamente el número de virus (total), bacterias (99 - 99.9%), protozoarios o huevos de nematodos (hasta 99.99%) dañinos para la salud. La turbiedad del efluente en un filtro bien diseñado y operado puede llegar a 1 UTN (Visscher, 1998).

Para este diseño utilizamos el caudal de diseño de 25 ml/s.

Hayamos la velocidad de filtración de la unidad:

$$Vf = \frac{144 * QD}{\pi * D^2} \quad Vf = \frac{144 * 25 \text{ m}^3/\text{d}}{\pi * (60 \text{ cm})^2} \quad Vf = 0,31 \text{ m/h}$$

La distribución de esta unidad se presenta en la siguiente tabla y gráfico:

Tabla 9.

Distribución lechos filtrantes FLA.

Ubicación	Altura capa Cm	Tamaño mm	Nombre
-----------	----------------	-----------	--------

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Lecho 1	50	0,15 – 0,35	Arena de rio
Lecho 2	10	6-13	Gravilla T3
Lecho 3	10	13-19	Triturado ½”
Borde libre	10		
Cabeza hidráulica	10	N/A	N/A
Total del lecho	70		

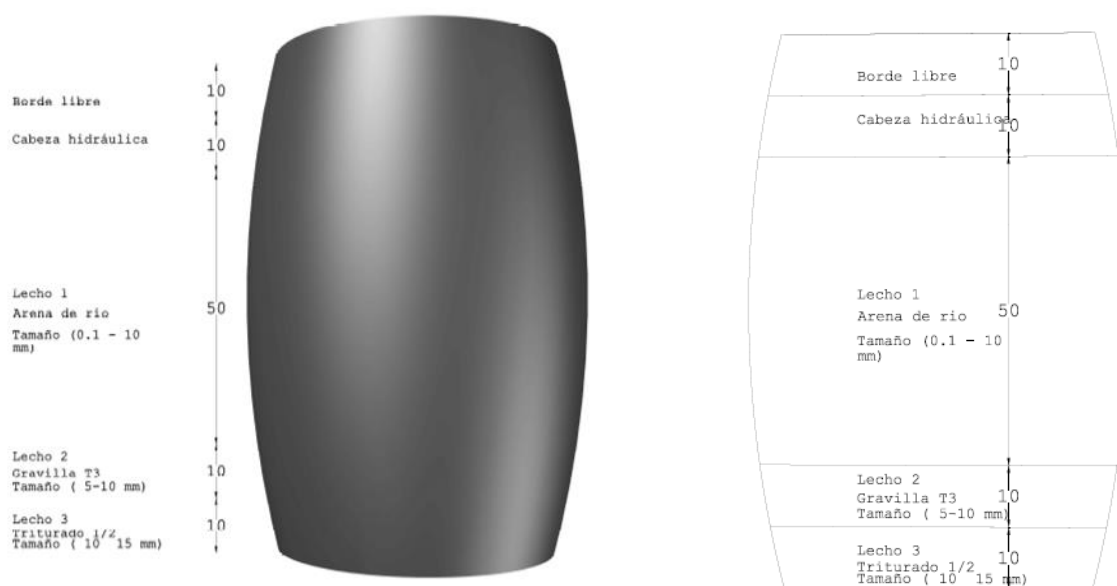
Fuente: Galvis et al, 1999:118

Para la construcción de este sistema se debe garantizar el tamaño de la arena pues de este depende el tratamiento biológico al agua, los detalles de esta unidad se ven en la ilustración

4.

Ilustración 4.

Diseño filtro Lento De Arena. FLA.



3. Marco legal.

Teniendo en cuenta la normatividad aplicada a calidad de agua en el país, se toma como referencia la siguiente normatividad ambiental.

Tabla 10.

Normatividad ambiental aplicada a calidad de agua.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Constitución Nacional de Colombia 1991	Artículo 78, por el cual se reglamenta el Derecho colectivo a un ambiente sano.
Decreto 2811 de 1974 Presidencia de la República.	Código de Recursos naturales Renovables y protección al Medio Ambiente.
Ley 99 de 1993 Presidencia de la República	Por la cual se crea el Ministerio de Medio Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental – SINA
Resolución MAVDT 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano.
Decreto 1575 de 2007 Ministerio de Protección Social	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la

Fuente: Galvis et al, 1999:118

3.1 Normatividad.

La normatividad que aplica para calidad de agua en el territorio colombiano es la resolución 2115 del año 2007, parámetros que serán tenidos en cuenta para determinar la eficiencia en la operación del filtro.

3.1.1 Características físicas.

Las condiciones máximas según la normatividad ambiental vigente para calidad de agua se relacionan a continuación:

Tabla 11.

Valores máximos calidad de agua potable, resolución 2115; 2007.

Características físicas	Expresadas como	Máximo valor aceptable
Color aparente	Unidades de platino cobalto	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
turbiedad	Unidades nefelometricas de turbiedad	2

Fuente: Resolución 2115:2007.

3.1.2 Características Químicas.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Las características químicas que afectan el recurso hídrico y que tienen afectaciones sobre la salud humana que están relacionadas en la resolución 2115 de 2007 se relacionan a continuación.

Tabla 12.

Elementos y compuestos presentes en el agua, con afectaciones a la salud humana.

Elementos y compuestos químicos	Expresadas como	Valor máximo aceptable mg/l
sulfatos	So^2_4	250
molibdeno	Mo	7
Manganeso	Mn	1
magnesio	Mg	36
Hierro total	Fe	3
calcio	Ca	60
Dureza total	CaCo_3	300
Aluminio	Al^{3+}	2
Cloruros	Cl^-	250
Alcalinidad Total	CaCo_3	200
Zinc	Zn	3
Fosfatos	Po_4^3	5

Fuente: Resolución 2115:2007.

La relación de los anteriores parámetros serán tenidos en cuenta para determinar la eficiencia del filtro, teniendo en cuenta las condiciones iniciales del recurso previo al tratamiento.

4. Marco Geográfico.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Garagoa es la capital de la Provincia de Neira, en el Valle de Tenza. Ubicada al suroriente de Boyacá, sobre la cordillera Oriental. Tiene una extensión de 191,75 km², una altura de 1705 msnm. El municipio está ubicado en un plano inclinado, tiene una población aproximada de 16.195 hab, 12.084 en el perímetro urbano y 4.111 en el área rural, la temperatura media es de 19 °C. El principal río de este municipio es el río Garagoa y algunas quebradas como la Quigua y la Colorada. (EOT Garagoa).

Ilustración 5.

Localizacion municipio de Garagoa (POMCA Rio Garagoa).



Fuente: POMCA Rio Garagoa.

5. Metodología.

5.1 Localización.

La zona destinada para la implementación de este proyecto es la parte baja de la vereda Hipaquira del municipio de Garagoa, más exactamente el predio San Miguelito propiedad del señor Uriel Bernal, predio con dificultades para el acceso de agua potable.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

5.2 Tipo de investigación.

La investigación tiene un enfoque exploratorio teniendo en cuenta que se evaluarán las condiciones constructivas y técnicas bajo las cuales debe ser construido el sistema de filtración en múltiples etapas. Además de determinar porcentajes de remoción y eficiencia del sistema con el fin de generar agua potable para la comunidad de la vereda Hipaquira, municipio de Garagoa, Boyacá.

5.3 Variables.

Los datos relacionados con la remoción del sistema están comparados con la resolución 2115 de 2007.

Tabla 13.

Definición de variables.

Tipo de variable	variable	Unidad
Dependiente	Remoción	%
Independiente	Tiempo de operación	Día
intervenientes	precipitaciones	mm

Fuente: elaboración propia.

Indicadores a tener en cuenta en relación a la remoción de carga contaminante del sistema, datos relacionados con la resolución 2115 de 2007.

Tabla 14.

Indicadores físico-químicos y microbiológicos.

Indicador	unidad
------------------	---------------

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

pH	Unidad de pH
Coliformes fecales y totales	UFC/100 ml
Solidos suspendidos totales	Mg/L
Color aparente	Pt-Co
turbiedad	UNT

Fuente: elaboración propia.

Parámetros a tener en cuenta para la operación del sistema.

Tabla 15.

Definición de variables.

parámetros	Unidad
Caudal	ml/s
Velocidad de filtración	m/h
Remoción	%

Fuente: elaboración propia.

5.4 Técnicas e Instrumentos.

La información base para el desarrollo de esta investigación fue de carácter primario, es decir se recogió en campo con los principales actores, allí manifestaron las problemática presentada por la disponibilidad del recurso hídrico y a su vez su calidad, posteriormente se realizó una proyección de alternativas que tuvieran en cuenta la eficiencia y la economía del mismo, razón por la cual se diseñó el sistema de acuerdo a las condiciones físico químicas de la fuente abastecedora, buscando garantizar el adecuado tratamiento del recurso hídrico generando agua para el consumo humano.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

Los análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua previo a la instalación del filtro y posterior al mismo fueron desarrollados por el laboratorio de aguas de la corporación autónoma regional de Chivor (CORPOCHIVOR), en donde se analizaron variables como turbiedad, color, color aparente, sólidos suspendidos totales, Coliformes fecales y totales y PH.

6. Resultados.

Los resultados están basados en los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas inicialmente con el fin de determinar la eficiencia del sistema instalado, allí se evaluaron las características físico – químicas y microbiológicas del agua objeto de tratamiento, obteniendo porcentajes de remoción para turbiedad de 79.7%, color 94.1 % y Coliformes totales 100%.

En la ilustración 6 podemos ver que para el ingreso al sistema se encontraban valores de 0,59 y para la salida encontramos 0,12 lo que nos muestra un porcentaje de remoción del 79.9% para este indicador.

Ilustración 6.

Remoción turbiedad en el agua.

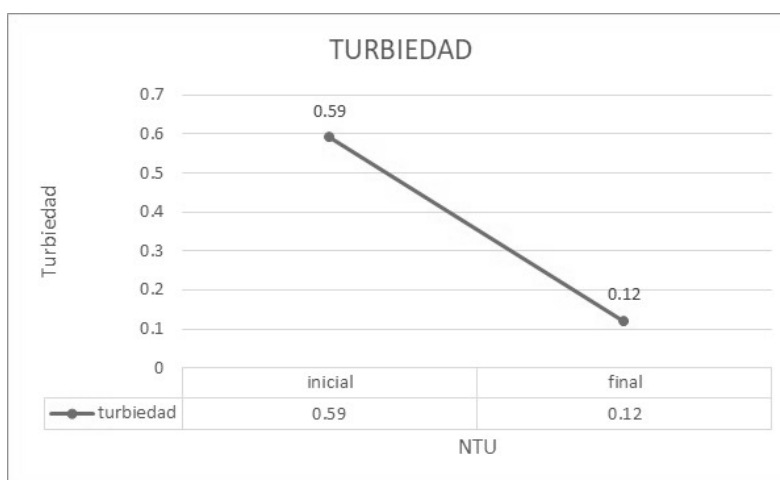
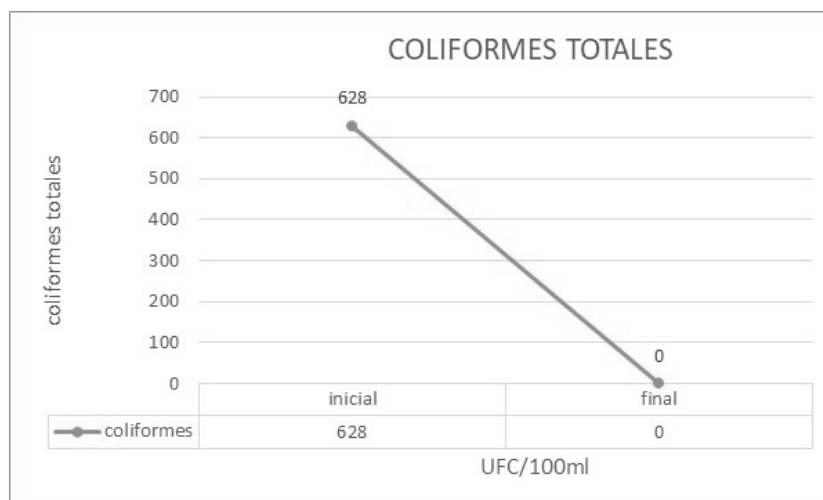


Ilustración 7. Remoción Coliformes totales en el agua.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

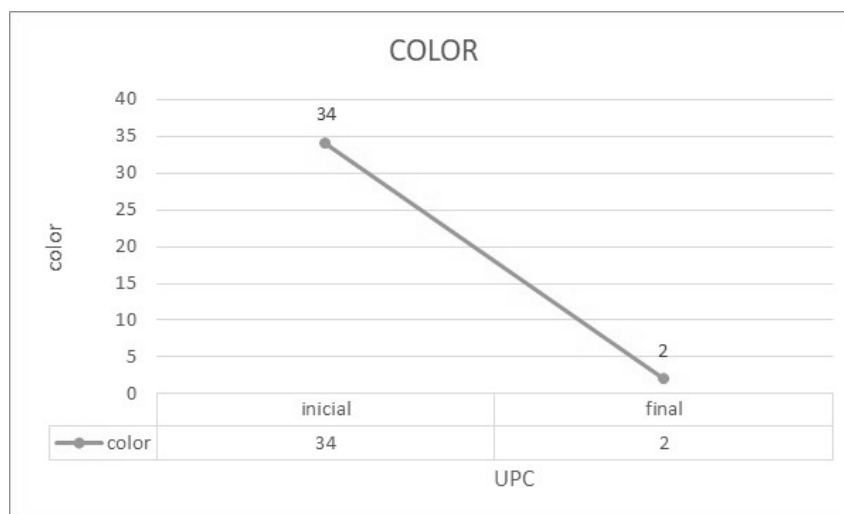
Teniendo en cuenta la importancia en la remoción de Coliformes totales para el agua potable encontramos en el grafico 7 un porcentaje de remoción del 100% para este sistema.



Finalmente para el indicador color encontramos una disminución de 32 UPC, en la ilustración 8 evidenciamos porcentajes de remoción del 94.1%.

Ilustración 8.

Ilustración color en el agua.



Se realizó una evaluación del sistema completo, una muestra a la entrada y a la salida del mismo, comparada con las condiciones iniciales del recurso, con la construcción del filtro se

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá. garantizó el tratamiento del recurso hídrico permitiendo la potabilización del mismo y permitiendo el uso para el consumo humano (Resolución 2115 de 2007).

Los datos relacionados como resultados de este proyecto corresponde a muestras de laboratorio de aguas certificado de la corporación autónoma regional de Chivor, Corpochivor, después de poner en marcha el sistema con una operación de 38 días con flujo constante a la entrada del sistema, lo recomendado según la bibliografía es mínimo 30 días la operación del sistema con el fin de obtener datos reales relacionados con el rendimiento en la operación de los filtros.

En la imagen 9 podemos evidenciar la participación por parte de la comunidad del predio que además de mostrar su interés por la construcción del sistema muestra su iniciativa en la puesta en marcha del sistema y en obtener de una manera fácil y rápida a diferencia de otros sistemas el acceso al agua potable.

Imagen 9.

Comunidad beneficiada con la implementación del sistema de filtración en múltiples etapas Fime.



Fuente. Autor.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

7. Discusión.

Para Vega (2013) La remoción total del FiME construido en tanques de plástico en la hacienda Majavita en el municipio de Socorro, Santander, fue de 84.6% con desviación estándar 8.2 dando un coeficiente de variación de 9.7%, la remoción total de color aparente fue de 72.6% con desviación estándar de 10.0 un coeficiente de variación de 14, la remoción de Coliformes totales en el sistema fue en promedio de 93.7%, datos obtenidos teniendo en cuenta las variaciones en características físico – químicas de la fuente de abastecimiento del sistema, así como también la implementación de unidades previas al ingreso del Fime (Pre - sedimentador).

Teniendo en cuenta los porcentajes de remoción de turbiedad, color y Coliformes totales obtenidos con la construcción del sistema en la vereda Hipaquira (turbiedad de 79.7%, color 94.1 % y Coliformes totales 100%) encontramos que los parámetros de la fuente de abastecimiento son de mejores condiciones lo que permite que el filtro no se sature y opere de manera satisfactoria, así mismo para este sistema se realizó el lavado en detalle de cada uno de los materiales granulares y además se cumplió estrictamente con los diámetros planteados en el diseño. Se enfatiza en la importancia de respetar los diseños del sistema así como también garantizar el caudal de diseño y las condiciones de los materiales granulares, de allí dependerá la eficiencia en la operación del sistema de filtración en múltiples etapas Fime.

Sin embargo los valores de remoción deberían ser superiores, por ello se deben mejorar las condiciones de operación del filtro respecto de espesor de arena, velocidad de filtración y mantenimiento. Según NESC. (2009:2)

8. Conclusiones.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

La puesta en marcha del presente proyecto de grado permitió suministrar agua potable a la comunidad del predio San Miguelito de la vereda Hipaquira del municipio de Garagoa en el departamento de Boyacá, allí se realizó la construcción del sistema de filtración en múltiples etapas Fime, obteniendo porcentajes de remoción de contaminantes que mejoran las condiciones del recurso hídrico así: turbiedad de 79.7%, color 94.1 % y Coliformes totales 100%.

Es importante tener en cuenta que los parámetros para la construcción de las unidades que hacen parte del sistema de filtración en múltiples etapas FiME, que se encuentran en la sección resultados del presente informe, deben estar diseñados en base a los análisis de laboratorio del agua de entrada, así pues, se garantiza la adecuada operación del sistema, además se debe realizar el lavado previo de los materiales granulares con el fin de eliminar materia orgánica o sustancias ajenas a la granulometría de cada material.

8.1 Recomendaciones.

- Es importante tener en cuenta que el flujo del agua en el filtro debe ser constante, pues de eso depende la funcionabilidad del mismo.
- Se debe realizar lavado del filtro de manera regular teniendo en cuenta las condiciones en las cuales opera y la turbiedad del agua que se está entrando al sistema. Ayuda a remover sólidos, turbiedad y color.
- El diseño del sistema fue realizado en base a los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas al agua previa a su tratamiento, lo que quiere decir que la ubicación, tipo y alturas de los sustratos están diseñadas para las características de la fuente de abastecimiento.
- Se debe garantizar la limpieza de los sustratos pues de eso depende la funcionabilidad del sistema, los materiales granulares deben pasar por un proceso de limpieza

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.
que elimine impurezas como material orgánico, arenas y otros que afectan la granulometría de los mismos.

9. Referencias bibliográficas.

Ardila Otero, César David; Carrizosa Garzón Diego y Vega Serrano, Haimar Ariel.

2010. Sistema de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de polipropileno y concreto.

Revista El Centauro: Expresión Libre Comunera. ISSN: 2027-1212. Universidad Libre Seccional Socorro. No 4. Págs.: 39 - 51.

Vega Serrano, Haimar Ariel; 2013. Evaluación del sistema de filtración en múltiples etapas FiME en tanques plásticos con pre- sedimentador y retro- lavado en la hacienda Majavita, Socorro – Santander. Universidad de Manizales.

OMS, organización mundial de la salud, 2020, <https://www.who.int/es>.

"Contaminación del Agua". Autor: Julia Máxima Uriarte. Para: Caracteristicas.co.

Última edición: 9 de marzo de 2020. Disponible en:

<https://www.caracteristicas.co/contaminacion-del-agua/>. Consultado: 24 de septiembre de 2020

Fuente: <https://www.caracteristicas.co/contaminacion-del-agua/#ixzz6Yy4eURYT>

PBOT plan básico de ordenamiento territorial del municipio de Garagoa, Boyacá.

Programa de las naciones unidas para el desarrollo PNUD 2020, objetivos de desarrollo sostenible, objetivo 6 agua limpia y saneamiento,

<https://www.undp.org/content/undp/es/home.html>.

PBOT plan básico de ordenamiento territorial del municipio de Garagoa, Boyacá, diagnóstico del componente Rural 2013.

Construcción, operación y mantenimiento de un sistema de filtración en múltiples etapas “Fime”, en la vereda Hipaquira, Garagoa Boyacá.

OPS, organización panamericana de la salud, 2020, <https://www.paho.org/es>.

Ministerio de agricultura y desarrollo rural 2020, MinAgricultura.

<https://www.minagricultura.gov.co/paginas/default.aspx>

Higuera; Parra 2018, evaluación hidráulica de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de Togüí Boyacá. Pag 65.

ONU. Organización de las naciones unidas; informe anual de Agus 2010.

Instituto de investigación y desarrollo en abastecimiento de agua, saneamiento ambiental y conservación del recurso hídrico, CINARA, Universidad Del Valle 2016.

10. Anexos.

Resultados físico – químicos y microbiológicos, laboratorio de aguas de la corporación autónoma regional de Chivor, CORPOCHIVOR. (Iniciales y finales).