



## SISTEMA DE FILTRACIÓN EN MÚLTIPLES ETAPAS FiME EN UNIDADES DE POLIPROPILENO CON DESINFECCIÓN MEDIANTE LUZ ULTRAVIOLETA

Avance proyecto "Evaluación del sistema de filtración en múltiples etapas FiME en tanques plásticos con pre-sedimentación y retro-lavado, Hacienda Majavita"

Jennifer Carolina Alba Chávez, Magda Patricia González Rangel<sup>1</sup>  
y Haimar Ariel Vega Serrano<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudiante Investigador. Universidad Libre Seccional Socorro, karito\_.166@hotmail.com, magda31g@hotmail.com

<sup>2</sup>Ingeniero Civil: Haimar Ariel Vega Serrano Especialista en Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Especialista en Administración. Director seccional de investigación. Docente investigador. Ingeniería Ambiental, Universidad Libre Seccional Socorro. Colombia. Haimar.vega@mail.unilibresoc.edu.co

Recepción artículo julio 15 de 2015. Aceptación artículo septiembre 20 de 2015

INNOVANDO EN LA U ISSN 2216 - 1236

### RESUMEN

Figura 1. Sistema Filtración Múltiples Etapas.



Debido a la escorrentía superficial originada por las lluvias, los deslizamientos, suelos desnudos y la erosión generada en el sendero ecológico ubicado en la zona de ronda de la micro cuenca La Nacuma, fuente de abastecimiento del sistema de filtración en múltiples etapas (FiME), el agua tiene presencia de sedimentos, materia orgánica y microorganismos que modifican las características físico-químicas y microbiológicas del agua tratada; no dando cumplimiento a los parámetros microbiológicos y físicos (turbiedad y color aparente) que estipula la Resolución 2115 de 2007, sobre agua potable, indicando la necesidad de implementar un sistema de desinfección que no contenga productos de síntesis química, por ello se plantea el objetivo de definir la disminución de la concentración de los parámetros sanitarios del sistema de filtración en múltiples etapas FiME, en unidades de polipropileno con desinfección mediante luz ultravioleta, realizando mantenimiento y seguimiento constante a las diferentes unidades de los sistemas en concreto y polipropileno del FiME, a través de monitoreos compuestos y puntuales diarios, para determinar la remoción y el cumplimiento de los parámetros físicos y microbiológicos del agua del sistema.

También se realizó la implementación de un prototipo de desinfección con luz ultravioleta y se determinó el tiempo óptimo para la eliminación total de coliformes totales y fecales del agua de salida del FiME, logrando obtener agua potable apta para consumo.

### Palabras clave

Agua potable, caudal, coliformes fecales, coliformes totales, desinfección, luz ultravioleta.

ABSTRACT

Due to surface runoff generated by rainfall, landslides, bare soil and erosion generated on the eco trail located in the round area of the micro basin The Nacuma, power supply system Multi-Stage Filtration (FiME), water has the presence of sediment, organic matter and microorganisms that modify the physical-chemical and microbiological characteristics of treated water; not in compliance with microbiological parameters (total and fecal coliforms) and physical (turbidity and apparent color) that states the Resolution 2115/2007, about potable water, indicating the need to implement a disinfection system that contains no synthetic chemical products, so the aim of defining the reduced concentration of healthcare system parameters multi-stage filtration FiME arises, in units polypropylene with ultraviolet disinfection, performing maintenance and constant monitoring of the different units of the systems in concrete and polypropylene FiME by compounds and specific daily monitoring, to determine the compliance and removal of physical parameters and microbiological water system. Implementing a prototype ultraviolet disinfection, was also performed and the optimal time for the total elimination of total and fecal coliforms in water leaving the FiME, achieving drinking water unfit for consumption was determined.

Keywords

Potable water, flow, fecal coliform, total coliform, disinfection, ultraviolet light.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema

Según el Estudio Nacional de Agua (ENA) (2012, p. 3), en la actualidad cada colombiano dispone de 40.000 metros cúbicos de agua al año, pero de no adoptar medidas para su conservación, esta situación generaría a futuro un escenario indeseable en el marco del desarrollo sostenible de Colombia, agudizando la problemática del agua de tal forma que para el año 2020, cada colombiano dispondría de un volumen potencial igual de 1.890 m<sup>3</sup> de agua al año. En Colombia la oferta del recurso hídrico para el abastecimiento de agua potable está condicionada a la cantidad (medido en términos de caudal) y a la calidad de la fuente (asociada a la presencia de materiales contaminantes), esto sumado a la inadecuada planificación del uso y ocupación de los suelos ha contribuido al deterioro de las cuencas y, por ende, a la cantidad y calidad de la oferta hídrica. Debido a que el agua de buena calidad, cantidad y regularidad, en las comunidades rurales y urbanas, es parte fundamental para el mejoramiento de las condiciones de vida; cuando la salud puede verse comprometida por bacterias, virus o parásitos dañinos que contaminan el agua potable, se hace evidente la necesidad del tratamiento de agua en el sitio de consumo, puesto que las condiciones, la inadecuada manipulación, el deficiente estado de las tuberías y la contaminación cruzada hace que el agua se vuelva insalubre y afecte directamente la salud del consumidor (Vidal, 2010, p. 12), por tener alto contenido de microorganismos patógenos, los cuales no deben estar presentes en sistemas de abastecimiento, almacenamiento y distribución de

agua (Marchand Pajares, 2002, p. 9). Anualmente por enfermedades ligadas al agua, mueren 2.4 millones de personas, la mayoría niños (Defensoría del Pueblo Colombia, 2005, p. 6).

Por ello en la actualidad, una vez identificados los factores de riesgo y los diferentes métodos de potabilización, lo importante es encontrar una tecnología que se adapte a las condiciones técnicas, geográficas, demográficas y económicas de las comunidades a abastecer, por tanto es necesario buscar alternativas a bajo costo de implementación, operación y mantenimiento que permita suministrar agua potable dichas comunidades (Lerma, 2012, p. 1).

En la Hacienda Majavita de la Universidad Libre Seccional Socorro se construyeron dos sistemas de filtración en múltiples etapas para evaluar sus condiciones de operación y comparar la eficiencia de las unidades en tanques en polipropileno respecto de las equivalentes en concreto, los resultados demostraron que los tanques en polipropileno presentaron remociones altas.

Las precipitaciones excesivas incrementaron la turbiedad en el agua colmatando los filtros. (Avendaño, Hernández y Vega, 2010). Las investigaciones también permitieron establecer que la colmatación de los filtros del sistema FiME, en la Hacienda Majavita, es causada por la elevada presencia de sólidos y materia orgánica que modifican las características fisicoquímicas y microbiológicas del agua tratada en el FiME, debido a la erosión en el sendero aledaño al cauce y escorrentía superficial; disminuyendo la eficiencia en remoción de indicadores, principalmente en coliformes totales y

fecales, haciéndose necesario la cloración del agua al final del proceso, para garantizar el cumplimiento de la Resolución 2115 de 2007 (Rueda y Velasco, 2013, p. 87).

El agua del sistema posee gran cantidad de sedimentos provenientes de la erosión del suelo, en razón a que estos son considerados "suelos desnudos" que se encuentran cerca de la microcuenca La Nacuma, la cual abastece el FiME, estos sedimentos provocan que el agua de salida del sistema, tanto en polipropileno como en concreto, tenga presencia de coliformes fecales y totales que no permiten el cumplimiento de la normatividad sobre potabilización del agua como lo establece la Resolución 2115 de 2007, además, debido a que este sistema no remueve en su totalidad coliformes fecales y totales es necesaria la utilización de cloración o productos de síntesis química, haciendo que El FiME; un proceso biológico, acuda a productos como el cloro para su desinfección.

## 1.2. Antecedentes

### **Evaluación del sistema de filtración en múltiples etapas FiME en tanques plásticos con pre-sedimentación y retro-lavado (Vega Serrano, 2013).**

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, y 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 de 2007. 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 definidos.

### **Evaluación de la eficiencia de los sistemas de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de concreto y plástico en la Hacienda Majavita (Rueda, Velasco y Vega, 2013).**

Este proyecto consistió en la evaluación de la eficiencia de los sistemas de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de concreto y plástico en la

Hacienda Majavita determinando la remoción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en las unidades de filtración y en los sistemas, comprobando alternativas de mitigación en el control de sólidos en la quebrada Nacuma para el mejoramiento de la calidad del agua y verificando modificaciones en las unidades del sistema para incrementar la eficiencia y remoción de los microorganismos patógenos implementando alternativas de mejora. El FiME en concreto remueve el 89% en color aparente y 94% de turbiedad, mientras que el sistema plástico 84% y 90% respectivamente. En lo referente a las presas se encontraron remociones significativas de 65% SST, 67% turbiedad y 59% color aparente. En cuanto a la desinfección se encontró una cantidad de 10,6 mg/min NaClO sin dilución requerida para la eliminación de microorganismos patógenos.

## 1.3. Pregunta problema

¿Cuánto es la disminución en la concentración de los parámetros sanitarios del sistema de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de polipropileno mediante la desinfección con luz ultravioleta?

## 1.4. Justificación

La Universidad Libre – Socorro ha venido trabajando en la implementación de un sistema de filtración de múltiples etapas (FiME), este proyecto se realizó por la necesidad de obtener agua que cumpla con las especificaciones de la Resolución 2115 de 2007 en cuanto a turbiedad, color aparente, coliformes fecales y totales, por medio de un prototipo que no necesite utilizar productos de síntesis química, con el fin de hacer del FiME un proceso completamente biológico, por este motivo se decidió implementar la desinfección por medio de luz ultravioleta, la cual actúa sobre el ADN de los microorganismos presentes en el agua retardando su habilidad de reproducción y asegurando el cumplimiento de la normatividad vigente, además de ser asequible a sociedades de bajos recursos económicos, permitiendo llevar a estas comunidades agua apta para el consumo humano de una forma sencilla y de rápida instalación, utilizando materiales que estén a su alcance.

## 1.5. Objetivo general

Definir la disminución de la concentración de los parámetros sanitarios del sistema de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de polipropileno con desinfección mediante luz ultravioleta.

1.6. **Objetivos específicos**

- Determinar las características hidráulicas de operación del sistema de filtración en múltiples etapas FiME.
- Identificar la eficiencia en remoción de parámetros físicos y microbiológicos del sistema de filtración en múltiples etapas FiME.
- Establecer las características de construcción y operación de desinfección del agua del FiME por medio de luz UV.

2. **METODOLOGÍA**

2.1. **Tipo de investigación**

La investigación es descriptiva teniendo en cuenta que los indicadores se evaluaron mediante la Resolución 2115 de 2007 y se describió el manejo dado al FiME y las características del sistema, en los cuales se implementaron procesos para mejorar la remoción de parámetros físicos y microbiológicos del agua.

2.2. **Localización**

El proyecto de investigación se realizó en la Hacienda Majavita propiedad de la Universidad Libre localizada en El Socorro Santander, a una elevación de 1350 metros sobre el nivel del mar (msnm), 6°28'32.33" N y 73°15'17.90" O.

2.3. **VARIABLES (unidades de estudio)**

Tabla 1. Variables

Tipo	Variables	Unidad/ Clasificación
Dependiente	Remoción	%
Independiente	Lecho filtrante	Tipo
	Velocidad de filtración	m/h
Intervinientes	Turbiedad	UNT
	Color aparente	UPC
	Coliformes	UFC/100cm <sup>3</sup>

2.4. **Técnicas de investigación**

En la realización del proyecto investigativo se utilizaron técnicas cuantitativas en lo que se refiere a las remociones a través del seguimiento y monitoreo

en las unidades de concreto y polipropileno del FiME, de igual manera que en el sistema de desinfección con luz UV; en este proceso se tomaron muestras compuestas y puntuales para la valoración de los indicadores físicos y microbiológicos.

2.5. **Materiales y equipos o instrumentos**

Los equipos en el laboratorio utilizados en la determinación de los indicadores son calibrados de forma continua, las precisiones son: Espectófotometro (+/- 2 UPC), del Turbídmetro (+/- 2% de la lectura más la luz difusa en el intervalo 0-1000 UNT), del Sensor de pH (+/- 0.005 a temperatura de 15°C-35°C.) y de la balanza digital Clase I (0.0001 g).

Un sistema FiME en unidades en polipropileno, compuesto por:

- Sedimentador con matriz en botellas plásticas PET de 2,5 litros con un ángulo de inclinación de 60°
- Filtro de protección (FP)
- Filtro Grueso Dinámico (FGDi)
- Filtro Grueso Descendente en Grava (FGDe-G)
- Filtro Lento de Arena Sílice (FLA-S)

Este sistema tendrá el montaje de los dos nuevos filtros:

- Filtro Grueso Descendente en Antracita (FGDe-A) que tendrá tres capas, una de grava como base y dos de antracita de diferente tamaño
- Filtro Lento de Arena de Río (FLA-R)
- FiME en unidades de polipropileno con desinfección mediante luz ultravioleta 59

Un sistema FiME en unidades de concreto compuesto por:

- Sedimentador con matriz en botellas PET de 2,5 litros sin ángulo de inclinación
- Filtro Grueso Dinámico (FGD)
- Filtro Grueso Ascendente (FGA)
- Filtro Lento de Arena de Río (FLA-R)

Materiales para la construcción de las cámaras de luz ultravioleta:

- Balastro
- Aluminio
- Red eléctrica
- Lámpara germicida UV de 15W
- Tubo pvc
- Tapones
- Llave de agua
- Teflón

## 2.6. Procedimiento

### 1. Diagnóstico inicial del sistema FiME

Se evaluó todo el sistema de filtración en múltiples etapas, tomando parámetros como: caudal, color, turbiedad, coliformes totales y fecales, observando que su funcionamiento se encontraba en buenas condiciones. En el parámetro de coliformes se analizó la muestra de salida del FiME en el laboratorio de aguas de la Universidad Libre Seccional Socorro, en donde se hallaron coliformes fecales y totales.

### 2. Operación y mantenimiento continuo del sistema FiME.

Después de realizar el diagnóstico se inició el mantenimiento, efectuando limpieza a las unidades que conforman el sistema de filtración en múltiples etapas, retirando los excesos de algas presentes en los filtros lentos de arena para así garantizar su excelente operación en el FiME. Además se realizó lavado de las matrices para retirar los sólidos que afectaban las posteriores unidades del FiME.

### 3. Establecer caudales y velocidades de filtración del sistema en el FiME.

Se tomó caudal diariamente de cada unidad para establecer el caudal promedio del sistema y las respectivas velocidades de filtración del mismo.

4. Realizar los monitoreos y ensayos de laboratorio. Después de tomar las muestras se procedió llevarlas al laboratorio de aguas de la Universidad Libre para llevar a cabo sus análisis. A cada muestra se le realizaron los parámetros de color, turbiedad, coliformes totales y fecales, determinando la eficiencia del FiME. Se efectuaron seis (6) monitoreos durante el desarrollo de la investigación.

### 5. Análisis físicos y microbiológicos

Se hicieron laboratorios microbiológicos para determinar la cantidad de coliformes totales y fecales presentes en el agua de salida del sistema de filtración de múltiples etapas.

### 6. Construcción de la cámara de desinfección con luz ultra violeta

Se tuvieron en cuenta los siguientes factores de diseño de un dispositivo UV: la cámara de agua o el reactor fue diseñado de tal manera que asegure que todos los microbios reciban una dosis suficiente de exposición a la luz ultravioleta; si no, algunos rayos UV experimentan el llamado "corto-circuito", es decir, los microbios pasan por la cámara sin recibir una dosis suficiente de luz ultravioleta.

En el diseño del equipo de desinfección se hizo énfasis en la importancia de asegurar que cada

microorganismo reciba la dosis biocida de radiación en la cámara de contacto.

7. Finalmente se realizaron análisis físicos y microbiológicos del agua de salida de la cámara de desinfección con luz ultra violeta, obteniendo como resultado 0 en coliformes totales y coliformes fecales, observando la efectividad del proceso con la cámara de desinfección para el agua de salida del sistema de filtración en múltiples etapas.

## 2.7. Población y muestra

Se realizaron 6 monitoreos compuestos para coliformes en la entrada del sistema y salida del FLA en concreto y plástico, se tomaron muestras diarias de turbiedad y color para la entrada y salida del sistema.

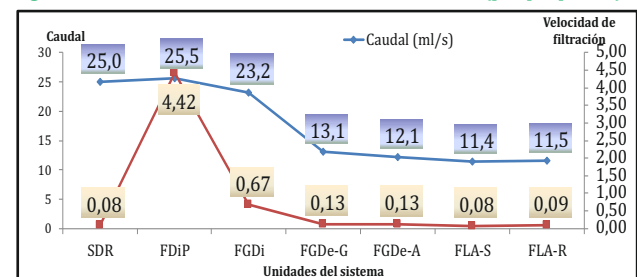
En cuanto al proceso de desinfección del agua del FiME por medio de luz ultravioleta se realizaron muestras de coliformes fecales y totales y se comparó con la Resolución 2115 de 2007, en la que se establecen los valores máximos permisibles de las características del agua para consumo humano.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Determinación de las características hidráulicas de operación del sistema de filtración en múltiples etapas FiME.

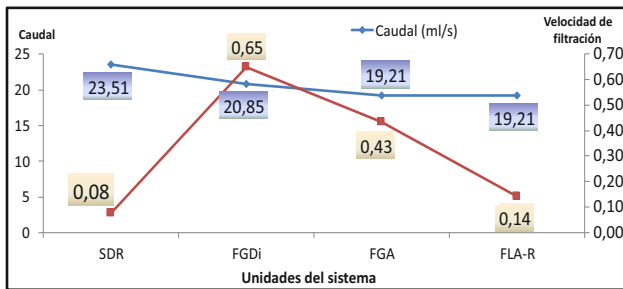
A continuación, en las Figuras 2 a 7, se presenta el comportamiento del caudal y las velocidades de filtración en el sistema en tanques de polipropileno y concreto, tomando como datos para su evaluación, seis (6) monitoreos realizados con muestras compuestas.

Figura 2. Velocidad de Filtración en el sistema FiME (polipropileno)



Según la Figura 2, la unidad que tiene mayor velocidad de filtración es el filtro de protección (FDiP) con 4,42 m/h para un caudal de 25,5 ml/s y la de menor velocidad de filtración es de 0,08 m/h, se encuentra en dos unidades, el sedimentador con caudal de 25 ml/s y los filtros lentos de arena con caudal de 11,5 ml/s.

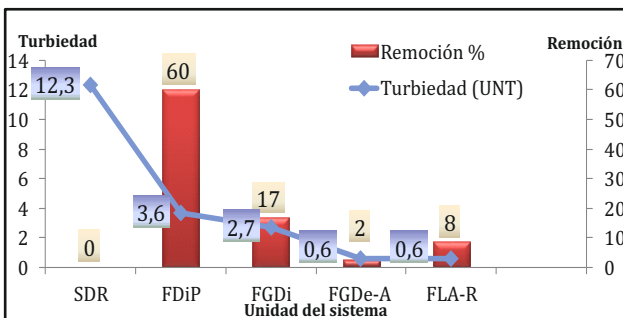
Figura 3. Velocidad de Filtración en el sistema FiME (concreto)



Según la Figura 3, la mayor velocidad de filtración corresponde al filtro grueso dinámico (FGDí) con 0,65 m/h y las menores al sedimentador con 0,08 m/h y el filtro lento de arena (FLA-R) con 0,14 m/h.

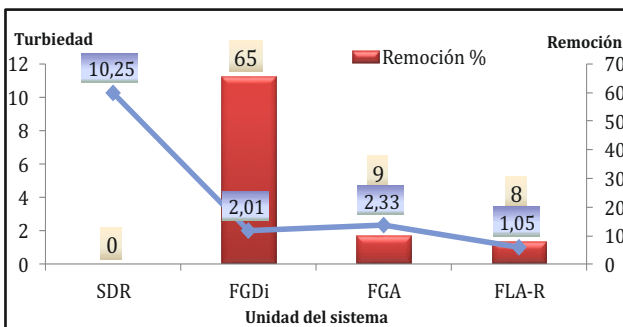
### 3.2. Identificar la eficiencia en remoción de parámetros físicos y microbiológicos del sistema de filtración en múltiples etapas FiME.

Figura 4. Comportamiento de la turbiedad en el sistema FiME (polipropileno)



Según la Figura 4, el filtro de protección tiene una gran capacidad de remoción a comparación de los demás filtros evaluados con un valor de 60%. Se observa también que a partir de los filtros gruesos descendentes la turbiedad ya cumple con la norma, Resolución 2115 de 2007, sobre agua potable que especifica que la turbiedad debe ser menor a 2 UNT.

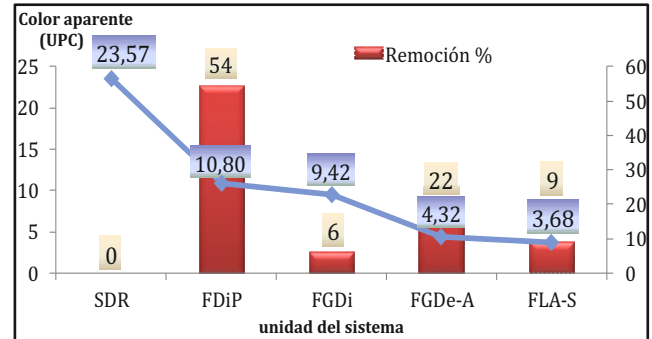
Figura 5. Comportamiento de la turbiedad en el sistema FiME (concreto)



Según la Figura 5, el filtro dinámico es el que posee mayor capacidad de remoción con un 65%,

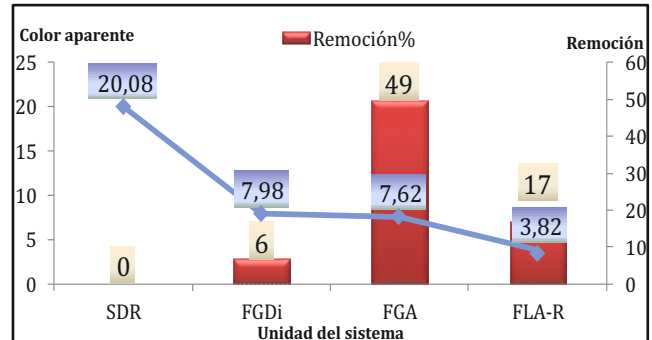
igualmente se observa que solo al final de la filtración en el filtro lento de arena río cumple con la norma con un promedio de 1,05 UNT a la salida, según Resolución 2115 de 2007, sobre agua potable que especifica que la turbiedad debe ser menor a 2 UNT.

Figura 6. Comportamiento del color aparente en el sistema FiME (polipropileno)



Según la Figura 6, el filtro de protección presenta la mayor remoción con un 54%, siendo este el más eficiente en cuanto a disminución del indicador color aparente, pasando de una entrada de 23,57 a 10,80 removiendo, en gran cantidad, el color aparente, con lo cual se puede inferir que a partir del filtro de protección el sistema cumple con la Resolución 2115 de 2007, la cual establece que los valores máximos de color son de 15 UPC.

Figura 7. Comportamiento del color aparente en el sistema FiME (concreto)



Según la Figura 7, el filtro grueso ascendente presenta la mayor remoción de este indicador con un 49%, seguido del filtro lento de arena con un 17% y finalmente está el filtro dinámico con 6%, este último es el más eficiente en cuanto a disminución del indicador color aparente, puesto que pasa de una entrada de 23,57 a 7,98.

### 3.3. Establecer las características de desinfección del agua del FiME por medio de luz ultravioleta.

Se establecieron 3 tiempos de exposición del agua: 5, 10 y 15 minutos, para evaluar el comportamiento de los coliformes fecales y totales en el transcurrir del tiempo, con el fin de determinar el mejor lapso de

## 5. CONCLUSIONES

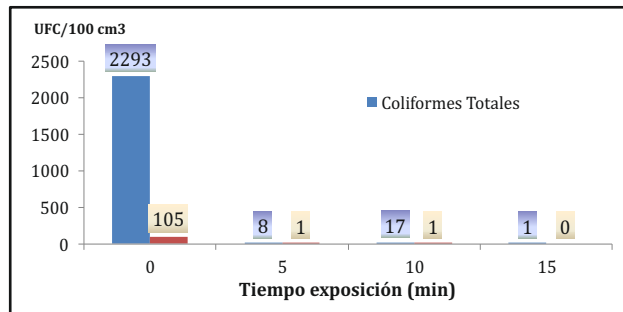
El indicador turbiedad para el sistema en polipropileno cumplió con la normatividad establecida de máximo 2 UNT a partir de los filtros gruesos descendentes, también se observó que el filtro de protección tiene alta capacidad de remoción, mayor que los demás filtros que conforman el sistema en polipropileno, asumiendo la remoción de gran cantidad de la turbiedad que ingresa al FiME; el sistema en concreto cumplió con la normatividad solo al final del mismo, en el filtro lento de arena, pero fue el filtro dinámico el que asumió la mayor cantidad de remoción de turbiedad. En las unidades de filtración lenta en arena, la que mayor remoción de turbiedad obtuvo fue el filtro lento de arena río, comparado con el filtro lento de arena sílice y el de río en concreto.

El indicador de color aparente para el sistema de polipropileno, a partir del filtro de protección cumplió con la normatividad que exige debe ser de máximo 15 UPC. El filtro de protección en el caso de polipropileno y el filtro dinámico en el caso del sistema en concreto, son las unidades que presentan mayor eficiencia en remoción de los dos indicadores evaluados en el FiME.

El efluente del sistema en polipropileno, alcanzó valores medios de coliformes totales de 2293 UFC/100 cm<sup>3</sup> y coliformes fecales de 105 UFC/100 cm<sup>3</sup> para el tiempo evaluado; aplicando la desinfección con luz ultravioleta a los 15 min de tiempo de exposición y en un volumen de agua de 500 ml, se obtuvieron valores de coliformes totales de 0 UFC/100 cm<sup>3</sup> y coliformes fecales de 0 UFC/100 cm<sup>3</sup>, cumpliendo la normatividad vigente, la Resolución 2115 de 2007 sobre agua potable.

exposición, en cuanto a disminución de los indicadores microbiológicos.

**Figura 8.** Comportamiento coliformes fecales y totales en los tiempos de exposición (5, 10 y 15 minutos) respecto de la entrada.



Como lo muestra la Figura 8, la reducción de coliformes tanto fecales como totales es muy grande respecto al efluente, obteniendo datos de entrada de 2293 UFC/100 cm<sup>3</sup> en coliformes totales y 105 UFC/100 cm<sup>3</sup> en fecales y pasando luego de la exposición a la luz ultravioleta a 8, 17 y 1 CT para 5, 10 y 15 minutos y 1, 1 y 0 CF para los mismos tiempos respectivos. El tiempo de exposición óptimo para reducir y eliminar por completo las UFC es 15 min en donde se obtiene valores de uno y cero coliformes totales y fecales respectivamente cumpliendo la normatividad.

## 4. DISCUSIÓN

Según Rueda y Velasco, (2013, p. 52) se encontraron remociones promedio equivalentes a color de 74% en FiME plástico y 82% en concreto, con respecto a la turbiedad 81% y 87% en lo referente a cada FiME. Con esta investigación se obtuvo remociones de color aparente de 88% en FiME polipropileno y 72% en concreto, en turbiedad de 87% y 82% respectivamente, logrando aumentar la remoción de color en los filtros de polipropileno y disminuyendo en el de concreto, para este mismo indicador; en cuanto a turbiedad se logró similar comportamiento aumentando la eficiencia en remoción del sistema en polipropileno pero disminuyendo en la de concreto, evidenciando que la inclusión de un nuevo filtro lento de arena de río aumenta la eficiencia del FiME adaptado.

## 6. REFERENCIAS

Ardila Otero, C., D., y Carrizosa Garzón, D. (2010). Sistema de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de polipropileno y concreto. *Revista el Centauro*. Expresión libre comunera. ISSN 2027-1212. Núm. 4. Editorial Universidad Libre Seccional Socorro. Pág.: 39 - 51.

Avendaño, A., L., y Hernández, E., R. (2011). Características de operación del sistema de filtración en múltiples etapas FiME Hacienda Majavita. *Revista el Centauro*. Expresión libre comunera. ISSN 2027-1212. Nº 5. Editorial Universidad Libre Seccional Socorro. Pág.: 11-20.

Vega 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). Trabajo de Investigación presentado para optar al título de Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales. Págs.: 117

Villamizar Garzón, L., C., y Vega Serrano, H., A. (2012). Evaluación del Sistema de Filtración en Múltiples Etapas FiME con pre-tratamiento y retro-lavado en la Hacienda Majavita. *Revista El Centauro*. Expresión Libre Comunera. ISSN 2027-1212. Núm. 7. Editorial Universidad Libre Seccional Socorro. Págs.: 133-144

CEPIS. 2000. Evaluación de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento en las Américas. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente –CEPIS–, Organización Panamericana de la Salud –OPS–, Lima, Perú.