



EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA FiME EN UNIDADES DE POLIPROPILENO UTILIZANDO LECHOS FILTRANTES ALTERNATIVOS.

Jorge Isaac Rojas Betancourt, Andrés Felipe Rojas Cardozo¹ y Haimar Ariel Vega Serrano²

¹ Auxiliares de investigación. Integrantes Semillero SIXTRAK. Ingeniería Ambiental. Universidad Libre Seccional Socorro. jorge.rojas@mail.unilibresoc.edu.co andres.rojas@mail.unilibresoc.edu.co

² Ingeniero Civil: Especialista en Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas. Especialista en Administración. Director de la seccional de investigación. Docente investigador. Ingeniería Ambiental, Universidad Libre Seccional Socorro. Colombia. haimar.vega@unilibre.edu.co

Recepción artículo marzo 11 de 2014. Aceptación artículo diciembre 6 de 2016

EL CENTAURO. ISSN: 2027-1212

RESUMEN

Figura 1. Filtros Gruesos Descendentes FiME adaptado



El Sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME) adaptado en unidades de polipropileno presenta una baja eficiencia en el filtro grueso descendente (FGDe) disminuyendo remoción frente al tren de carga.

Se planteó como objetivo el evaluar la eficiencia del sistema de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de polipropileno utilizando lechos filtrantes alternativos. Para ello se efectuó la operación, seguimiento y mantenimiento del sistema; se diseñó y construyó un FGDe en lecho filtrante en antracita y se puso en operación el filtro lento de Arena FLA de Río, se realizaron monitoreos al sistema: 7 compuestos y 4 puntuales.

Con una confiabilidad del 95%, se determinó una diferencia significativa entre la remoción de la antracita (94%) y la grava (92%) en indicadores físicos y menor diferencia entre la remoción de la arena sílice (80%) y arena de río (81%). La dosis óptima definida de hipoclorito de sodio Blancox al 5,25 fue de 0,06 ml/L en laboratorio y de 0,1 ml/L en campo.

Se concluyó que el FiME adaptado cumple con la Resolución 2115 de 2007 en los indicadores físicos. La antracita es una alternativa eficiente como medio filtrante que aumenta la remoción en los filtros gruesos y la arena de río es una opción válida para ser utilizada como lecho biológico.

Palabras clave

Antracita, FiME, filtro grueso, filtro lento, grava.

ABSTRACT

Problem: Multi-Stage Filtration System (FiME) adapted in polypropylene units presents a low efficiency in the downstream coarse filter (FGDe) decreasing the clearance versus the freight train. **Objective:** To evaluate the efficiency of the Multi-Stage Filtration System (FiME) in polypropylene units using alternative leach fields. **Methodology:** the operation, monitoring and maintenance of the system was carried out to evaluate its efficiency, and it was designed and built a FGDe in an anthracite filter bed and put into operation the slow filter sand FLA of river. **Monitoring of the system** was carried out in 7 compounds and 4 points. **Results:** With a reliability of 95%, a significant difference was determined between the removal of anthracite (94%) and gravel (92%) in physical indicators and less difference between the removal of silica sand (80%) and river sand (81%). The optimal dose of Blancox sodium hypochlorite at 5.25 was 0.06 ml/L in laboratory and 0.1 ml/L in the field. **Conclusion:** the adapted FiME complies with Resolution 2115 of 2007 in physical indicators. The anthracite is an efficient alternative as a filtering medium that increases removal in thick filters and river sand is an option to be used as a biological bed.

Keywords

Anthracite, FiME, coarse filter, slow filter, gravel.

1. INTRODUCCIÓN**1.1. Descripción del problema**

Las descargas de residuos provenientes de actividades humanas y naturales de alguna manera, interfieren con el uso deseable del agua, son uno de los principales focos de contaminación del necesario líquido (Sierra Rodríguez, 2011: 34).

Las enfermedades relacionadas con la contaminación del agua de consumo tienen una gran repercusión en la salud de las personas. Las medidas destinadas a mejorar la calidad del agua de consumo proporcionan beneficios significativos para la salud (OMS, 2006: 11)

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 plásticos respecto de las equivalentes en concreto, los sistemas han sido evaluados y presentaron remociones altas (Rueda y Velasco, 2013: 14).

El sistema en unidades plásticas presenta una remoción de turbiedad promedio del 83%, con un máximo de 99% y un mínimo 54% donde el 33,5% lo realiza el Filtro Grueso Dinámico (FGDi), el 28,3% el Filtro Grueso Descendente (FGDe) y el 19,2% el Filtro Lento de Arena (FLA); el sistema plástico presenta una remoción del color aparente promedio 79% con un máximo del 92% y un mínimo del 56%, donde el 30,7 lo realiza el FGDi, el 26,9 el FGDe y el 16,1% el FLA; el sistema presenta una remoción de coliformes fecales del 87% (Rueda y Velasco, 2013: 14).

Aunque el FiME está cumpliendo con los indicadores físicos que exige la Resolución 2115 de 2007 se observó la necesidad de mejorar su eficiencia en cada uno de los filtros con el fin de disminuir la carga física y microbiológica que llega a los Filtros Lentos de Arena para que el proceso de desinfección sea el más sencillo y económico de realizar.

1.2. Antecedentes

Al evaluar las condiciones de operación del sistema de filtración en múltiples etapas FiME en tanques plásticos con pre-sedimentación y retro-lavado en la Universidad Libre Seccional Socorro 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 (Vega Serrano, 2013: 12).

La evaluación de la eficiencia de los sistemas de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de concreto y plástico en la Hacienda Majavita alcanzó remociones en el sistema en concreto de 89% en color aparente y 94% de turbiedad, 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. (Rueda y Velasco, 2013: 14).

Se desarrolló un sistema compacto de Filtración en Múltiples Etapas – FiME – para el tratamiento de fuentes de abastecimiento superficial, sencillo, eficiente y económico, seleccionado bajo aspectos ambientales, sociales, tecnológicos y económicos. Los resultados de la evaluación técnica muestran que las remociones medias alcanzadas para turbiedad es del (90%) representadas en una media de agua cruda de 23,5 NTU y una media de agua tratada de 1,38 NTU, color aparente (86%) representadas en una media de agua cruda de 97,2 UPC y una media de agua tratada de 10,0 UPC y coliformes fecales (99%) representadas en una media de agua cruda de 3772 UFC/100 cm³ y una media de agua tratada de 555 UFC/100 cm³ que son comparables con los resultados de investigaciones anteriores en las que se utilizan tasas inferiores para el diseño de los procesos de filtración, evidenciando que el sistema propuesto es competitivo aunque presenta algunas deficiencias hidráulicas que producen un flujo no ideal. (Naranjo Fernández, 2009: 7).

1.3. Pregunta problema

¿Cuál es la eficiencia del sistema de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de plástico utilizando lechos filtrantes alternativos en la Hacienda Majavita?

1.4. Justificación

La investigación se realizó por la necesidad que tiene el sistema FiME de la Universidad Libre de seguir suministrando agua adecuada para el beneficio que se le realiza al café para el uso del baño y laboratorios que se encuentran en la Hacienda Majavita y poder llegar a proveer agua potable para el consumo humano.

1.5. Objetivo general

Evaluar la eficiencia del sistema de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de plástico utilizando lechos filtrantes alternativos en la Hacienda Majavita.

1.6. Objetivos específicos

- Comparar las remociones de parámetros físicos en filtración gruesa descendente de lecho filtrante en antracita respecto de gravillas.
- Identificar la diferencia en remoción de parámetros físicos y microbiológicos entre la filtración lenta en arena de río respecto de la sílice.
- Establecer la desinfección en el sistema para remover los microorganismos patógenos del agua.

2. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación tuvo un enfoque cuantitativo por estar basada en recopilación de datos mediante monitoreos de parámetros físicos y microbiológicos de calidad del agua de la fuente de abastecimiento y en cada una de las unidades del sistema de filtración y realización de prueba a las muestras tomadas en los monitoreos. Se realizó un diseño experimental completamente al azar mediante un análisis de varianzas (ANOVA) para comparar la eficiencia de los Filtros Gruesos Descendentes y Filtros Lentos de Arena del sistema adaptado en tanques de polipropileno, además de realizar estadística descriptiva para exponer el comportamiento de los indicadores físicos y microbiológicos del agua.

2.2. Localización

El proyecto se realizó en la Hacienda Majavita propiedad de la Universidad Libre localizada en el Socorro, Santander, a una elevación de 1350 m sobre el nivel medio del mar, a una latitud N 7° 28' 25" y longitud W 73° 14' 08". Con una temperatura promedio de 24°C, precipitaciones 1250 mm por año y una evaporación potencial de 1200 mm.

2.3. Variables (unidades de estudio)

Se tuvo en cuenta los indicadores expuestos en la Resolución 2115 de 2007 en los artículos 2, 4º, 9º ítem 2 y 11.

En la etapa 1 del proyecto (condiciones normales) las variables establecidas se detalla en la tabla 1.

Tabla 1. Variables etapa 1

Tipo	Variable	Unidad
Dependiente	Remoción	%
Independiente	Lecho filtrante	Tipo
	Caudal	ml/s
	Tiempo de operación	día
Interviniente	Turbiedad	UNT
	Potencial de Hidrógeno	Unidad de pH
	Color aparente	UPC
	Coliformes Totales y Fecales	UFC/100 cm ³
	Precipitación	mm

En la etapa 2 del proyecto (condiciones extremas) las variables establecidas se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. Variables etapa 2

Tipo	Variable	Unidad
Dependiente	Remoción	%
Independiente	Lecho filtrante	Tipo
	Caudal	ml/s
	Tiempo de operación	día
	Turbiedad	UNT
	Color aparente	UPC
Interviniente	Coliformes Totales y Fecales	UFC/100 cm ³

2.4. Técnicas de investigación

En la realización de este proyecto se utilizaron métodos cuantitativos y se les realizó estadística descriptiva para detallar el comportamiento de las unidades en estudio, luego, mediante la estadística diferencial se obtuvo la comparación entre los filtros de estudio.

El desarrollo de la investigación se ejecutó en campo bajo la toma de muestras en los monitoreos, se realizó la tamización de la antracita y la arcilla del trazador en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Libre Seccional Socorro, en el Laboratorio de Aguas de la Universidad Libre Seccional Socorro se realizaron las diferentes pruebas para obtener los indicadores de estudio con el apoyo del director del proyecto, los directores de los laboratorios y los auxiliares asignados de los mismos.

En la ejecución de la investigación la técnica utilizada fue cuantitativa tipo muestreo para determinar los valores de salida y remociones de cada una de las unidades de estudio realizando un diseño experimental de bloques al azar con un análisis de varianzas (ANOVA) en el complemento libre de MegaStat en Excel.

Las técnicas utilizadas en el Laboratorio de Aguas y Microbiología para el análisis de las muestras están indicadas en el Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.

2.5. Materiales y equipos o instrumentos

El sistema de filtración en múltiples etapas FiME el cual es base de la investigación, fue construido con un tanque de llegada, del cual se distribuye agua de manera equitativa a los dos sedimentadores que son parte del proceso de pre-filtración. Por el lado del sistema hecho en concreto para por un Filtro Grueso

Dinámico de flujo descendente, Filtro Grueso Ascendente, Filtro Lento en Arena de Río y tanque de almacenamiento. Por parte del sistema en polipropileno pasa por un Filtro de Protección antes de ingresar al sistema comprendido por un Filtro Grueso Dinámico con flujo descendente, Filtro Grueso Descendente, Filtro Lento en Arena de Río y tanque de almacenamiento.

Los tanques adaptados al sistema en polipropileno contienen Antracita en el Filtro Grueso Descendente, además de triturado bolo de río para la base y Arena de Sílice en el Filtro Lento de Arena, el cual ya estaba acondicionado para ponerlo en funcionamiento.

La antracita utilizada para el lecho filtrante se obtuvo después de ser tamizada; como lecho grueso tiene un tamaño entre 18 mm y 4,75 mm y como lecho fino un tamaño entre 4,74 mm y 2 mm.

Los equipos utilizados fueron cronómetro, flexómetro, turbidímetro, fotómetro, sensor de pH, balanza digital, sistema de filtración en membrana, contador de coliformes manual de contacto y sistema de tamizado.

2.6. Procedimiento

Se empezó con un diagnóstico inicial al sistema para encontrar y arreglar los daños que tenía en su operación, además de los monitoreos compuestos antes de la incorporación del nuevo filtro y de la puesta en funcionamiento de los dos filtros (FGDe-A y FLA-R).

Se retiró el CFC ya que originaba fugas a la entrada al tanque de regulación (Afl), se arreglaron las purgas de la red de distribución hacia el FiME, se gestionó la construcción de las escaleras para el Afl y el tanque elevado de retro-lavado (TER), se incorporó una red de retro-lavado alterno y se arreglaron el filtro grueso ascendente (FGA) y el FLA del sistema en concreto.

En el diseño y construcción del filtro se tuvo en cuenta el diseño del Filtro Grueso Descendente en grava (FGD-G) que tiene el FiME en unidades en polipropileno; realizado por el Ingeniero Haimar Vega en el trabajo de investigación: Evaluación del Sistema de Filtración en Múltiples Etapas (FiME) en tanques plásticos con pre-sedimentación y retro-lavado en la Hacienda Majavita, para que tenga los mismos parámetros de diseño y construcción con el fin de evaluarlo en condiciones iguales.

Tabla 3. Variables etapa 2

Posición	Espesor Capa (cm)	Tamaño (mm)	Nombre
	Asumido		
Superior	20	18-4,75	Antracita T2
Inferior	30	4,74 - 2	Antracita T1
Soporte 1	5	1 - 3	Gravilla T1
Soporte 2	5	3 - 5	Gravilla T2
Base	10	10 - 20	Bolo de río 1/2"
Total Lecho	70		Tamizado

Una vez se determinó los tamaños de antracita y la cantidad que al tamizar se iba a obtener, se gestionó con el Centro de Investigación de la Universidad Libre la adquisición de la cantidad necesaria de antracita para llenar el tanque que sería utilizado como Filtro Grueso Descendente en Antracita.

Después de adquirir la antracita, se tamizó toda en el Laboratorio de Suelos utilizando el sistema de tamizado del laboratorio con los tamices 3/4, 4, 10 y fondo. Una vez obtenido los dos tamaños de antracita necesarios para llenar el tanque del nuevo filtro, se lavó con agua abundante para terminar de separar el polvillo que acompaña a los tamaños que se van a utilizar.

Luego se construyó el Filtro Grueso Descendente en Antracita teniendo en cuenta las especificaciones del FGDe-G tanto de la red de distribución como de la red de retro-lavado. Después de instalado el nuevo filtro se empezó a llenar con los sustratos teniendo en cuenta la tabla 3.

Se dejó instalado el tanque junto con la red de distribución y se empezó a hacer las Unidades de Distribución de Caudal (UDQ) para los Filtros Gruesos Descendentes y los Filtros Lentos de Arena, para esto, se contó con la asesoría del Director del proyecto Ingeniero Haimar Vega.

Al terminar la instalación total de las nuevas unidades que entrarían en funcionamiento en el sistema en unidades de polipropileno, se empezó su operación en el mes de enero de 2014 y así empezar su evaluación a partir del mes de febrero del mismo año realizando monitoreos compuestos y puntuales.

2.7. Población y muestra

Se realizaron tres monitoreos en el año 2013, en los meses de julio, agosto y octubre, en 11 puntos de salida de cada unidad para ser evaluados los indicadores de estudio obteniendo un total de 33 muestras compuestas.

Se realizaron 4 monitoreos en el año 2014 en los meses de febrero y marzo en 14 puntos de salida de cada unidad para ser evaluados los indicadores de estudio obteniendo un total de 56 muestras compuestas.

Se realizaron 4 monitoreos puntuales en el mes de mayo del año 2014 cada 3 días para un total de 64 muestras puntuales a la salida de los Filtros Gruesos Descendentes y Filtros Lentos de Arena del sistema en unidades de polipropileno.

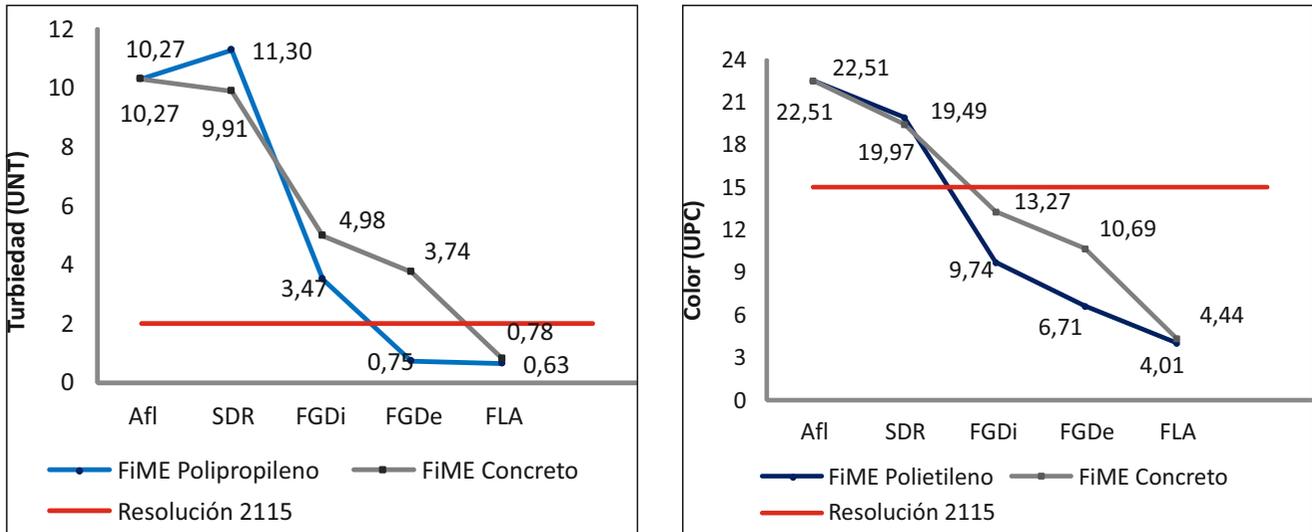
En cuanto a la unidad de desinfección se tomaron seis (6) muestras de agua tratada, se analizaron en el Laboratorio de Aguas y se compararon con la Resolución 2115 de 2007.

3. RESULTADOS

3.1. Remociones de parámetros físicos en filtración gruesa descendente de lecho filtrante en antracita respecto de gravillas

Se evaluaron las unidades teniendo en cuenta los indicadores turbiedad y color aparente, se halló el promedio de salida en cada unidad para establecer la remoción de cada unidad y su eficiencia frente al tren de carga y la eficiencia total del sistema frente a la Resolución 2115/2007, en la figura 2 se puede observar que los sedimentadores aumentaron la turbiedad de entrada, esto debido a que durante dos días de monitoreo en los meses de febrero y marzo el agua que provenía del arroyo La Nacuma no contaba con turbiedades altas (menor a 10 UNT) lo que provocaba que el sedimentador no trabajara eficientemente, al contrario, aumentaba la turbiedad que ya había removido en días anteriores. La eficiencia del sistema, teniendo en cuenta los dos indicadores físicos de estudio, fue alta, al cumplir con los requisitos mínimos de la Ley.

Figura 2. Comportamiento de la turbiedad y color aparente en los sistemas FiME en concreto y polipropileno



Después de realizar los monitoreos compuestos, se estudiaron individualmente los FGDe del sistema adaptado comparando sus lechos filtrantes mediante monitoreos puntuales realizados los días 21, 23 y 30 de mayo de 2014 obteniendo 36 muestras puntuales, los datos fueron recopilados en una base de datos y se analizaron utilizando el software libre complemento de Excel MegaStat. (ver tabla 4)

Tabla 4. Estadística descriptiva para el indicador turbiedad y color aparente en lo FGDe

Parámetro Estadístico	Salida (UNT)			Salida (UPC)		
	FGDi	FGDe-G	FGDe-A	FGDi	FGDe-G	FGDe-A
Conteo	36	36	36	36	36	36
Media	42,2	3,0	2,3	49,4	13,79	12,45
Varianza	224,03	0,43	0,47	243,4	8,2	10,4
Desviación Estándar	15,0	0,65	0,69	15,6	2,9	3,2
Valor mínimo	17,4	1,93	1,1	21	9,3	7,6
Valor máximo	73,1	4,13	3,87	82,1	20,3	19,7
Rango	55,7	2,2	2,77	61,1	11	12,1
Coefficiente de Variación (CV)	35,47%	21,69%	29,73%	31,61%	20,74%	25,93%

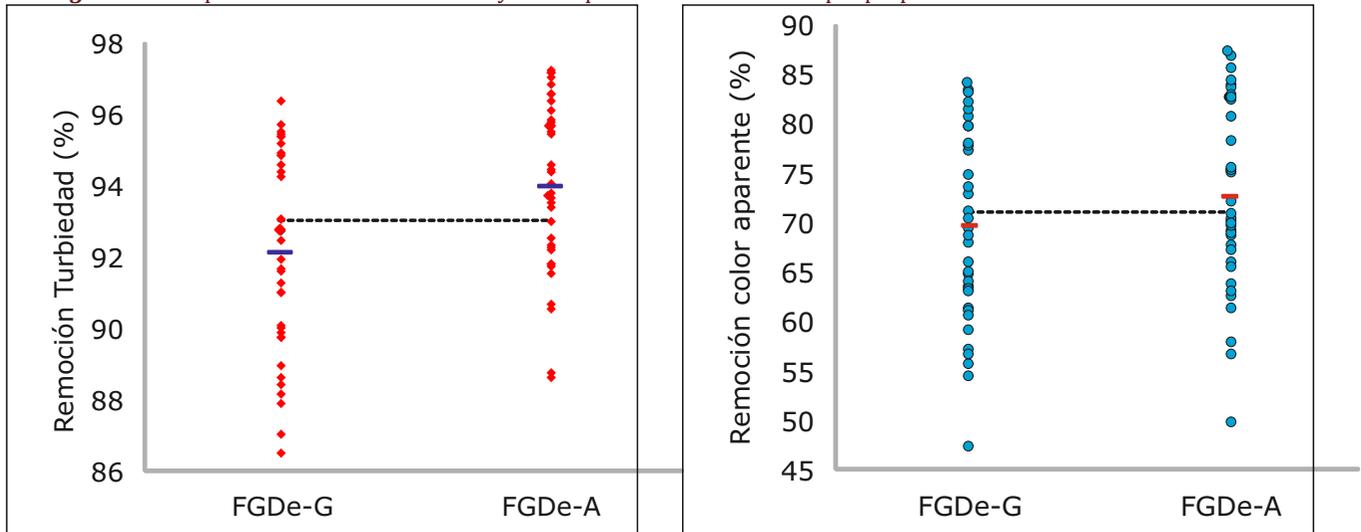
Se realizó un análisis de varianza a los datos obtenidos de turbiedad y color aparente.

Tabla 5. ANOVA para un diseño completamente al azar de turbiedad y color aparente de los FGDe

Fuentes	Turbiedad					Color aparente				
	Suma de cuadrados	G L	Cuadrado Medio	Fisher	p-value	Suma de cuadrados	G L	Cuadrado Medio	Fisher	p-value
Tratamiento	63,54	1	63,54	9,32	0,0032	169,9	1	169,9	1,83	0,1805
Error	447,42	70	8,82			6499,4	70	92,8		
Total	540,96	71				6669,3	71			

En la tabla 5 se observa el ANOVA a los datos obtenidos durante los monitores puntuales del año 2014 indicando que el valor p-value es menor al Fisher de la tabla lo que indica que uno de los tratamientos es diferente al otro, al observar la figura 3 encontramos que el tratamiento FGDe-A es el que contiene los valores de remoción de turbiedad mayor, por lo que se pudo determinar que existe diferencia significativa entre utilizar como lecho filtrante Grava y Antracita, siendo esta última más eficiente en la remoción de turbiedad y color aparente.

Figura 3. Comportamiento de la turbiedad y color aparente en los FGDe en polipropileno



3.2. Diferencia en remoción de parámetros físicos y microbiológicos entre la filtración lenta en arena de río de la sílice.

El día 27 de mayo se realizó un monitoreo puntual obteniendo 10 muestras puntuales, los datos fueron recopilados en una base de datos y se analizaron utilizando el software libre complemento de Excel MegaStat.

Tabla 6. Estadística descriptiva para el indicador turbiedad y color aparente en los FLA

Parámetro Estadístico	Salida (UNT)			Salida (UPC)		
	FGDi	FGDe-G	FGDe-A	FGDi	FGDe-G	FGDe-A
Conteo	10	10	10	10	10	10
Media	10,1	1,36	1,28	24,63	9,03	8,58
Varianza	3,86	0,05	0,005	0,805	1,45	0,85
Desviación Estándar	1,96	0,23	0,23	0,897	1,20	0,92
Valor mínimo	6,78	1,09	0,98	23,2	7,5	7,1
Valor máximo	13,7	1,81	1,78	25,9	11,7	10,2
Rango	6,92	0,72	0,8	2,7	4,2	3,1
Coefficiente de Variación (CV)	19,47%	17,09%	18,18%	3,64%	13,31%	10,75%

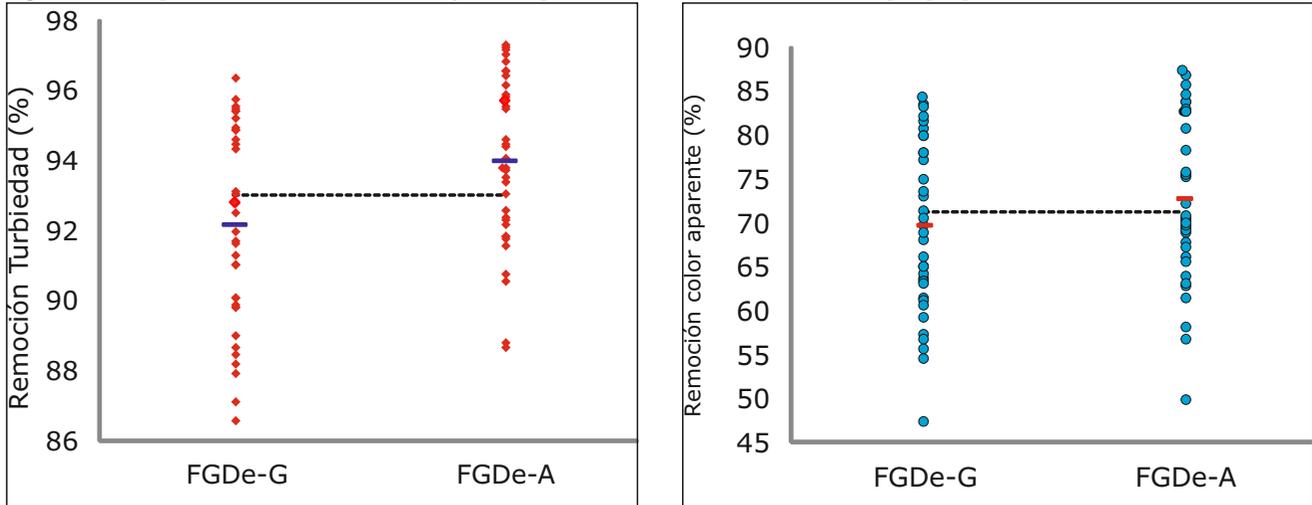
Se realizó un análisis de varianza a los datos obtenidos de turbiedad y color aparente como se indica en la tabla 6.

Tabla 7. ANOVA para un diseño completamente al azar de turbiedad y color aparente de los FGDe

Fuentes	Turbiedad					Color aparente				
	Suma de cuadrados	G L	Cuadrado Medio	Fisher	p-value	Suma de cuadrados	G L	Cuadrado Medio	Fisher	p-value
Tratamiento	3,0385	1	3,04	0,18	0,6730	16,6968	1	16,70	0,68	0,4212
Error	297,17	18	16,5			443,60	18	24,64		
Total	300,21	19				460,29	19			

En la tabla 7 se observa el análisis de varianza a los datos obtenidos durante los monitores puntuales del año 2014 indicando que en turbiedad el valor p-value es mayor al Fisher de la tabla lo que demuestra que con un 95% de significancia no existe diferencia entre los tratamientos, y en color aparente sucede lo contrario lo que indica que con un 95 % de significancia existe diferencia entre los tratamientos, al observar la figura 4 encontramos que el tratamiento FLA-R es el que contiene los valores de remoción de color aparente mayor, por lo que se puede determinar que existe diferencia significativa entre utilizar como lecho filtrante arena de río y arena sílice, siendo esta última más eficiente en la remoción color aparente.

Figura 4. Comportamiento de la turbiedad y color aparente en los FLA del sistema en polipropileno



El comportamiento microbiológico de los FLA estuvo similar en los dos tratamientos obteniendo remociones por encima del 90% a partir de la utilización de los dos filtros.

En la figura 5 se aprecia el comportamiento de los coliformes en los filtros lentos de arena donde se aprecia un incremento con el tiempo, probablemente debido a las lluvias en la zona de vertiente de la quebrada donde está la captación.

Figura 5. Valores logarítmicos de salida de los FLA en coliformes totales

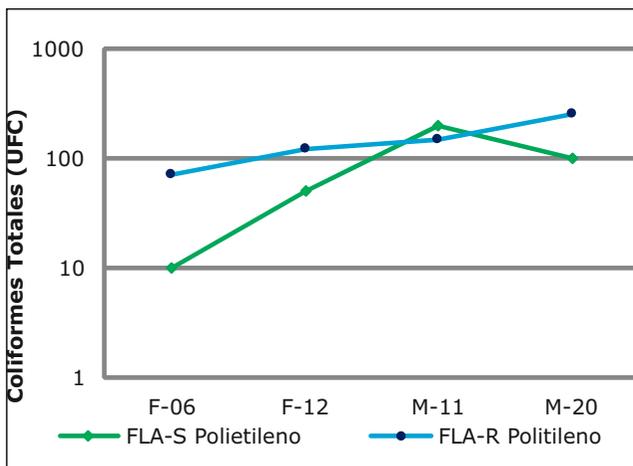


Tabla 8. ANOVA para un diseño completamente al azar de turbiedad y color aparente de los FGDe

Fecha	Afl CFC/100 cm ³	Remoción Porcentaje (%)		
		FLA-R _C	FLA-R _P	FLA-S
Feb-06-2014	2720	100	100	100
Feb-12-2014	280	100	92,9	100
Mar-11-2014	800	100	100,0	93,8
Mar-20-2014	1200	87,5	100	100

3.3. Sistema de desinfección para remover los microorganismos patógenos del agua

Establecer un sistema de dosificación al FiME es complejo debido a que la mayoría del agua que sale de él es utilizada para el beneficio del café y en esta actividad el agua no debe contener cloro, para implementar el proceso de desinfección hay varias alternativas entre la que encontramos el Hipoclorito de Sodio NaClO. Esta alternativa fue escogida debido a que el desinfectante más común es el hipoclorito de sodio ya que es de fácil manejo, no es tóxico a menos que sea ingerido, de fácil transporte, no requiere de equipos sofisticados para su aplicación (RAS Título C, 2000: 76).

Se estableció la cantidad de cloro en ppm del cloro comercial marca Blancox al 5,25% de concentración mediante diluciones para obtener el factor de dilución que fue de 50625 ppm.

Se tomaron 10 litros de muestra y se colocaron dentro de 10 vasos de precipitado de 1 litro cada uno y se le agregaron diferentes cantidades de cloro directamente entre los 0,01 ml/L y 0,1 ml/L para determinar la dosis óptima de cloro mediante el método DPD a intervalos de 15 minutos durante 1 hora y construir la curva de demanda de cloro donde se encontró que la dosis óptima de cloro es de 0,06 ml en un tiempo mínimo de exposición de 30 minutos (ver figura 6)

Figura 6. Curva de demanda de cloro

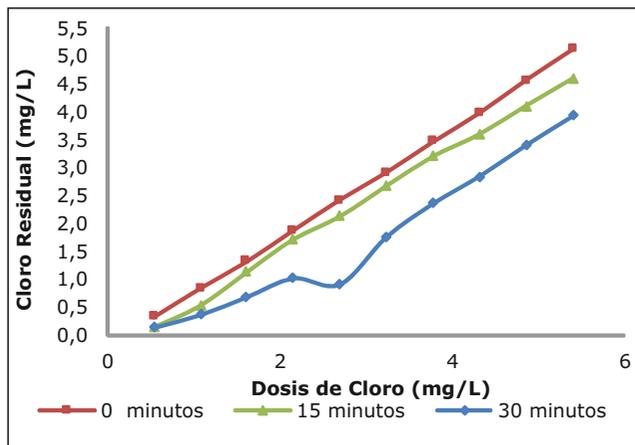


Figura 7. Muestras en la incubadora



Una vez se obtuvo la dosis óptima de hipoclorito de sodio al 5,25% se procedió a llevar al FiME el tanque de 250 L y el Blancox comercial junto con una probeta para medir la cantidad a agregar, para esto se tuvo en cuenta el tiempo estimado en que el tanque de 250 L se llenaría, por lo que se realizó un aforo volumétrico a la entrada del tanque de almacenamiento del FiME de polipropileno dando un caudal promedio de 25 ml/s, al realizarse la prueba en campo la dosis óptima se sugiere que sea mayor, por lo que se aumentó un 70% dando 25 ml para los 250 litros.

Después de incorporar los 25 ml de hipoclorito de sodio en el tanque se mezclaron paulatinamente durante media hora y se dejó llenar. Una vez lleno el tanque después de las 2 horas con 46 minutos aproximadamente se retiró la entrada de agua y se volvió a mezclar, seguidamente, se recolectaron 3 muestras puntuales en frascos de muestra microbiológica, una en la llegada de agua al tanque de almacenamiento del FiME en polipropileno, otra tomada en la parte superficial y otra en la llave de salida de abajo del tanque.

Se realizaron las pruebas de laboratorio de cloro residual obteniendo valores entre 1,16 mg/L y 0,45 mg/L y coliformes totales y fecales con valores de 0 UFC/100 cm³ (tabla 9).

Tabla 9. Turbiedad, cloro residual, pH, cloro residual, coliformes totales y coliformes fecales de las muestras

Junio 18 - 2014		Turbiedad	Color aparente	pH	Cloro Residual	Coliformes totales	Coliformes fecales
Muestra	Hora	NTU	UPC		mg/L	UFC/100 ml	
Entrada	0	0,67	5,2	7,89	0,01	126	1
Superficial	3	0,41	3,7	7,62	1,16	0	0
Profunda	3	0,39	3,6	7,65	1,32	0	0
Superficial	18	0,42	3,5	7,69	0,45	0	0
Profunda	18	0,41	3,5	7,71	0,50	0	0

4. DISCUSIÓN

Según Naranjo en su tesis de maestría Desarrollo de un sistema compacto de potabilización los valores de salida de los sistemas de potabilización compactos FiME en turbiedad tuvieron una media de 1,38 UNT con una desviación estándar de 0,68 dando lugar a unas remociones del 90% mientras que el FiME adaptado en tanques de polipropileno de la Universidad Libre alcanzó valores de salida de 0,63 NTU con una desviación estándar de 0,34 alcanzando

remociones del 91%.

Por otra parte, los valores de salida de los sistemas de potabilización compactos FiME en color aparente adquirieron remociones del 86% con una media de 10,0 UPC y una desviación estándar de 9,7 mientras que el FiME adaptado en tanques de polipropileno alcanzó una media de 4,01 UPC con una desviación estándar de 3,07 consiguiendo una remoción del 78%. Respecto a los coliformes fecales, Naranjo en su trabajo obtuvo remociones del 99% mientras que el sistema adaptado en unidades de polipropileno alcanzó remociones del 100%.

5. CONCLUSIONES

Al comparar los tratamientos realizados en los Filtros Gruesos Descendentes se encontró que el lecho filtrante en antracita remueve con un 95% de significancia más que el lecho filtrante en gravilla en los indicadores de turbiedad y color aparente obteniendo valores de remoción del 94% en el FGDe-A y del 92% en el FGDe-G en turbiedad y 72,6% en el FGDe-A y 69,5% en color aparente, aunque los dos valores de remoción son altos y cumplen en todo momento con el valor mínimo de entrada a los FLA que es de 10 NTU en turbiedad. Los resultados obtenidos por la antracita en el Filtro Grueso Descendente permiten concluir que es una buena alternativa a utilizar como medio filtrante en los filtros rápidos.

Con un 95% de confiabilidad se encontró que no existe diferencia significativa en los valores de salida y remoción en turbiedad entre el lecho filtrante en arena sílice y el lecho filtrante en arena de río alcanzando valores de remoción del 86% de remoción en la arena de río y del 85% de remoción en la arena sílice. Respecto al color aparente, al comparar los tratamientos se encontró que la arena de río remueve más que la arena sílice con un nivel de significancia del 95% alcanzando valores del 65% en remoción en la arena de río y 63% en remoción en la arena sílice, aunque los dos filtros cumplen con la normatividad. En cuanto a los coliformes totales y fecales tienen altos valores de remoción lo que garantiza que son un buen pre-tratamiento para el proceso de desinfección. Los resultados obtenidos en la comparación de los Filtros Lentos de Arena indican que los dos lechos filtrantes son buenas alternativas

para usarse en los filtros lentos, todo dependería de la fácil adquisición y presupuesto.

El proceso de desinfección directa con hipoclorito de sodio al 5,25% en un volumen determinado de agua después del tratamiento del sistema FiME logra desinfectar el número más probable de coliformes totales y fecales cumpliendo con los valores máximos permisibles en la Resolución 2115 de 2007, además de ser una alternativa viable a utilizar para suministrar agua potable.

5.1. Planes para trabajo futuro

Realizar una comparación de los lechos filtrantes con diferentes tasas de filtración, manejo del agua utilizada en el retro-lavado y adecuación del tanque de almacenamiento de agua potable.

6. AGRADECIMIENTOS

Al ingeniero William Tolosa por brindarnos su apoyo mediante sugerencias y soluciones para la elaboración del proyecto, a la doctora Marta Lucía Díaz por su orientación y dedicación a la elaboración final de este proyecto, al ingeniero Mauricio San Miguel por aportar en este proyecto sus conocimientos de estadística para darle un enfoque más profundo y detallado a los resultados obtenidos y al señor Jaime Castro funcionario de la Planta de Potabilización del Socorro por su colaboración y asesoría en la elaboración de la desinfección del agua del FiME.

7. REFERENCIAS

- Naranjo Fernández, Darío. 2009. Desarrollo de un sistema compacto de potabilización. Informe Tesis de Maestría. Grupo de Ingeniería y Gestión Ambiental – GIGA. Facultad de Ingeniería. Universidad de Antioquia. Págs.: 204
- Organización Mundial de la Salud OMS.2006. Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice a la tercera edición. Ginebra. Vol. 1. ISBN 92 4 154696 4. Pág.: 398
- Organización Panamericana de la Salud - OPS/CEPIS/06.174. 2005. Guía para diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas. Lima. Págs.: 28
- Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS. 2000. Ministerio de Desarrollo Económico. Título C. Sistemas de Potabilización. República de Colombia. Págs.: 182
- Resolución 2115. 2007. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y Ministerio de Protección Social. Diario Oficial. Págs.: 37
- Rueda González, Maryluz y Velasco Poveda, Leidy Tatiana. 2013. Evaluación de la eficiencia de los sistemas de filtración en múltiples etapas FiME en unidades de concreto y plástico en la Hacienda Majavita. Tesis de grado. Universidad Libre. Págs.: 125
- Sierra Ramírez, Carlos Alberto. 2011. Calidad del Agua. Evaluación y diagnóstico. Universidad de Medellín. Ediciones de la U. ISBN 978-958-8692-09-7. Primera Edición. Págs.: 457
- Vega Serrano, Haimar Ariel (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.

