

# Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y Olla Cerámica

## Evaluation of drinking-water treatment by Lifestraw® and Ceramic-pot filters

Andrea Pérez-Vidal<sup>1</sup>, Jaime Díaz-Gómez<sup>2</sup>, Karen L. Salamanca-Rojas<sup>2</sup> y Leidy Y. Rojas-Torres<sup>2</sup>

1 Facultad de Ingeniería, Universidad Santiago de Cali. Cali, Colombia. [andrea.perez00@usc.edu.co](mailto:andrea.perez00@usc.edu.co); [andraperezvidal@hotmail.com](mailto:andraperezvidal@hotmail.com)

2 Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Boyacá. Tunja, Colombia. [jaimediaz@uniboyaca.edu.co](mailto:jaimediaz@uniboyaca.edu.co); [klsalamancar@gmail.com](mailto:klsalamancar@gmail.com); [lyrojas@uniboyaca.edu.co](mailto:lyrojas@uniboyaca.edu.co)

Recibido 30 Enero 2015/Enviado para Modificación 4 Junio 2015/Aceptado 18 Noviembre 2015

### RESUMEN

**Objetivo** Evaluar la eficiencia de dos sistemas de filtración casera: LifeStraw® family (FM) y Filtro de Olla Cerámica (FOC) en el tratamiento del agua para consumo humano bajo condiciones controladas de laboratorio y en términos de remoción de Turbiedad y *E. coli*.

**Métodos** Ambos sistemas se operaron durante 6 meses tratando diariamente 7,5 litros de sustrato sintético. La turbiedad del sustrato se ajustó con Caolín y la concentración de *E. coli* con la réplica de la cepa ATCC 95922. Los resultados obtenidos en términos de remoción de turbiedad y *E. coli* fueron evaluados con un análisis de varianza (ANOVA) y considerando aspectos operativos y de mantenimiento.

**Resultados** La turbiedad del sustrato sintético presentó un promedio  $32,3 \pm 2,8$  UNT y la concentración de *E. coli*  $3,9 \times 10^5$  UFC/100mL. Ambos sistemas de filtración disminuyeron la turbiedad a niveles menores de 2 UNT y lograron la inactivación del 100 % de *E. coli*. Se encontraron diferencias significativas en la remoción de turbiedad siendo más eficiente el FM ( $99,2 \% \pm 0,4$ ) que el FOC ( $97,6 \% \pm 1.14$ ).

**Conclusiones** Los dos sistemas de filtración son adecuados para el tratamiento del agua a nivel casero, cumpliendo con la reglamentación Colombiana. El FM resultó más eficiente en remoción de turbiedad y tasa de filtración; Sin embargo, cuando se tienen en cuenta aspectos como aceptabilidad social operación, mantenimiento y vida útil, el filtro de olla cerámica parece más apropiado especialmente en áreas rurales.

**Palabras Clave:** Agua potable, *Escherichia coli*, filtración, tratamiento del agua, turbiedad del agua (*fuentes: DeCS, BIREME*)

## ABSTRACT

**Objective** To evaluate under laboratory conditions, the removal efficiency of turbidity and *E. coli* of two household water filters: LifeStraw® family (MF) and ceramic pot filter (CPF).

**Methods** The two systems were operated over 6 months using two identical control units per system, treating 7.5 L/d of a synthetic substrate used as raw water. The turbidity of the substrate was adjusted with Kaolinite and the *E. coli* concentration, with a replica of the ATCC 95922 strain. The differences of effluent quality of the systems, in terms of turbidity and *E. coli*, were evaluated with Analysis of Variance (ANOVA). Operative and maintenance aspects, that could limit or enhance the use of the systems, were also considered in the evaluation.

**Results** The water synthetic substrate quality had an average of  $32.2 \pm 2.8$  NTU for turbidity and  $3.9 \times 10^5$  UFC/100 mL for *E. coli*. Both systems reduce the turbidity to values below 2 NTU with an inactivation of 100 % of *E. coli*. Statistical differences were found between the systems in terms of turbidity removal, MF being more efficient than the CPF ( $99.2 \pm 0.4$  % and  $97.6 \pm 1.14$ , respectively).

**Conclusions** Both systems are suitable for household water supply treatment, achieving the water quality standards established by Colombian regulations. The MF was more efficient for suspended solids removal and filtration rate, but when economic, operative, and maintenance aspects along with social acceptability and lifespan are considered, the CPF seems more suitable, especially in rural areas.

**Key Words:** Drinking water, *Escherichia coli*, filtration, water treatment, water turbidity (source: MeSH, NLM).

Investigaciones realizadas en salud ambiental indican que el consumo de agua insalubre y malas condiciones de saneamiento e higiene, son factores de riesgo causantes de enfermedades diarreicas (1). El 88 % de los casos de diarrea en el mundo, son atribuibles al consumo de agua no segura o deficiencias en higiene y saneamiento que resultan en la muerte anual de 1,5 millones de personas, siendo en su mayoría niños menores de cinco años (2). En la región de América Latina y el Caribe, las enfermedades diarreicas constituyen la segunda causa de morbi-mortalidad de niños menores de cinco años (3) y en Colombia ocasionan la muerte anual de 2 300 personas (4).

Durante décadas, el acceso universal al agua potable y saneamiento ha sido promovido como un paso esencial en la reducción de esta carga de morbilidad, que afecta principalmente a niños de países en desarrollo (5). La meta fijada en el séptimo Objetivo de Desarrollo del Milenio con relación al acceso sostenible al agua potable y servicios básicos de saneamiento, fue alcanzada en el año 2010 como lo indica la Organización Mundial de la Salud (OMS), lográndose que más de 2 000 millones de personas entre 1990 y 2010, obtuvieran acceso a fuentes mejoradas de suministro

de agua que incluyeron abastecimiento por tuberías y pozos. Sin embargo, el 11 % de la población mundial (783 millones de personas) aún continúa sin acceso al agua potable, acentuándose el problema en las zonas rurales y evidenciando falencias en la equidad y cobertura sanitaria universal (6,1).

En Colombia, entre 1990 y 2010 la cobertura global de acceso a fuentes mejoradas de agua, se incrementó del 89 al 92 %, siendo mayor en la zona urbana (98 a 99 %) comparada con la zona rural (69 a 72 %) (6) lo que evidencia una marcada inequidad en materia ambiental. Además de la cobertura de abastecimiento, la calidad del agua juega un papel relevante en la protección de la salud pública. Como lo demostró el Informe Nacional de Calidad de Agua para Consumo Humano periodo 2007 - 2011 del Instituto Nacional de Salud aproximadamente un 30 % del total de agua suministrada en el país presentaba un riesgo alto (21,9 %) o era inviable sanitariamente (7,9 %) según los datos del Índice de Riesgo de la Calidad de Agua para Consumo Humano (IRCA) (7,8).

En la zona rural, los niveles de riesgo por calidad de agua son más elevados que en la zona urbana pues hacia el año 2012 el 64 % del agua suministrada en la zona rural se catalogó entre riesgo alto (45 %) e inviable sanitariamente (19 %), a diferencia de la zona urbana solo el 16 % se clasificó entre riesgo alto (11 %) e inviable (5 %). Debido a esta problemática, es necesario considerar opciones de abastecimiento y tratamiento de agua que impliquen intervenciones de bajo costo, simples, de fácil aceptación social y que puedan reducir el riesgo microbiológico y sus potenciales efectos en la salud.

A nivel doméstico se han documentado algunos métodos de tratamiento para remover turbiedad y microorganismos patógenos. Estos métodos pueden agruparse como *i*) Sistemas basados en la aplicación de calor o Luz Ultravioleta (hervir el agua; radiación solar; desinfección solar; lámparas UV), *ii*) Tratamientos químicos (coagulación, floculación y precipitación; Adsorción; Intercambio iónico; desinfección química) y *iii*) Métodos físicos de remoción (sedimentación o clarificación; Filtración con membranas, Filtros cerámicos; Filtros con medio granular o arena; Aireación) (5,9).

Con relación al uso de sistemas de filtración caseros, existen estudios a nivel internacional que han evaluado la viabilidad de diferentes tecnologías para comunidades rurales como filtros lentos en arena (10,11), filtros de velas cerámicas (12-14), filtros de membrana (15,16) y Ollas cerámicas (17-19). En Colombia se reportan algunos estudios relacionados con filtros de velas cerámicas (20) y ollas cerámicas (21,22), operados durante cortos periodos de tiempo.

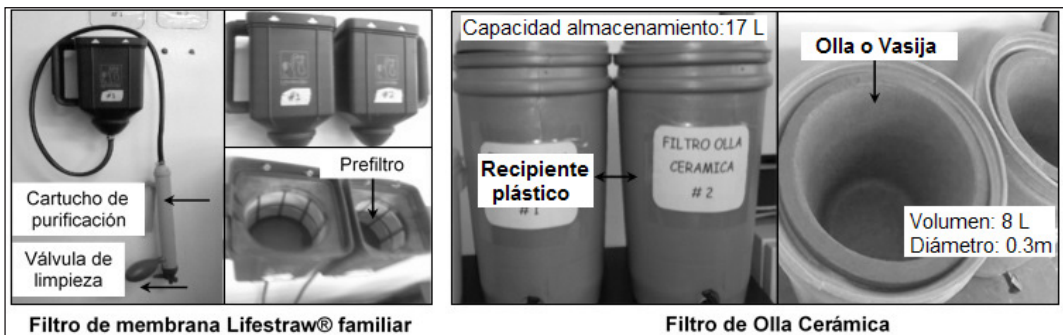
Conscientes de la problemática nacional de calidad de agua, particularmente la zona rural del país, instituciones humanitarias como OXFAM y Acción Contra el Hambre (ACF-Colombia) desde hace algunas décadas han brindado apoyo a las comunidades afectadas por el conflicto armado en diferentes aspectos, entre ellos el relacionado con el acceso a agua potable (20). Un resultado de este esfuerzo se consigna en el presente artículo de investigación.

En este estudio, se evaluó la eficiencia de reducción de turbiedad y *E. coli* de dos sistemas de filtración casera (Lifestraw® familiar y Filtro de Olla Cerámica) operados bajo condiciones controladas de laboratorio. Adicionalmente, se evaluaron aspectos técnicos, operativos y de mantenimiento, que podrían afectar el grado de apropiación y aceptación de estas tecnologías por parte de la población.

## MÉTODOS

La investigación se realizó en el Laboratorio de Análisis Ambiental de la Universidad de Boyacá (Tunja, Colombia) durante un periodo de 6 meses y se contó con la financiación de OXFAM, ACF-Colombia y Colciencias. En el estudio se evaluaron por duplicado y bajo condiciones controladas, dos modelos de filtros caseros: Filtro de membrana Lifestraw® familiar (FM) de tecnología suiza desarrollada por la compañía internacional Vestergaard y distribuida en Colombia por Iwana Green (23) y el Filtro de Olla Cerámica (FOC) impregnada de plata coloidal, fabricada en Colombia (24) (Figura 1).

**Figura 1.** Filtro Lifestraw® familiar y Filtro de Olla Cerámica



La fase experimental del estudio comprendió tres fases: *i*) preparación del sustrato sintético, *ii*) Operación y mantenimiento de los sistemas de filtración y *iii*) análisis estadístico de resultados. A continuación se describe cada fase.

Preparación del sustrato sintético

Se estableció un volumen diario a filtrar de sustrato sintético de 7,5 litros por filtro; esta cantidad es equivalente al requerimiento mínimo de agua para el consumo humano y preparación de alimentos por persona, considerando las necesidades de las mujeres lactantes (25). Se empleó agua ultrapura en un equipo de purificación (Cascada™ Pall Corporation) como base para la preparación del sustrato. Se ajustaron las variables de Turbiedad, Sólidos Disueltos Totales (SDT) y *E.coli* siguiendo las recomendaciones del Protocolo de la EPA (26) y las recomendaciones de algunos autores como se describe en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Características fisicoquímicas y microbiológicas del sustrato sintético

| Variable                      | Valor                       | Descripción   |
|-------------------------------|-----------------------------|---|
| Turbiedad                     | 30 UNT                      | Se adicionó Caolín <sup>a</sup> en una concentración de 0,2 g/L <sup>b</sup>  |
| Sólidos Disueltos Totales SDT | 1 500 mg/L                  | Se adicionó NaCl grado comercial en una concentración de 1,6 g/L <sup>b</sup>   |
| <i>E.coli</i>                 | 1x10 <sup>5</sup> UFC/100ml | Réplica de la cepa ATCC 95922 liofilizada marca Microbiologics® con el método de siembra por aislamiento y cultivo en caja de Petri con agar selectivo para Coliformes <sup>c</sup> |

<sup>a</sup>(27,28); <sup>b</sup>La concentración fue determinada a partir de ensayos preliminares en un 1 litro de agua y usando 30 minutos de agitación de la mezcla <sup>c</sup>(14)

### Operación y mantenimiento de los sistemas de filtración

Para garantizar la homogeneidad del sustrato sintético, se preparaban diariamente 30 litros en un mismo recipiente. Durante la operación de los sistemas se realizó el seguimiento diario de la Turbiedad (Método: 2130B) en el sustrato y el efluente filtrado y la medición semanal de SDT (Método: 2540B; 2540D) y *E. coli* (Método: SM9222B) de acuerdo con APHA (29). Adicionalmente, se realizó la medición de otros parámetros de control como pH (4500-H+B), conductividad (2510B), color aparente (2120F) y la tasa de filtración (L/hora). Las actividades de mantenimiento se realizaron conforme a lo recomendado por los proveedores de cada sistema.

### Análisis estadístico

Basado en un modelo completamente al azar, se definieron como variables de respuesta turbiedad y *E. coli* y se emplearon herramientas de la estadística descriptiva y un análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias significativas. Para el procesamiento de los datos se empleó el software de libre acceso “R-Project”.

## RESULTADOS

### Preparación del sustrato sintético

Debido al elevado volumen de sustrato sintético que se debía preparar diariamente, no fue posible seguir lo recomendado por algunos autores con relación al tiempo de agitación de 24 horas para lograr la completa hidratación y disolución de las partículas de Caolín (27,28). Sin embargo, el tiempo de 30 minutos de agitación empleado en esta investigación fue adecuado para garantizar una baja variabilidad de la turbiedad (C.V: 0,09) como se muestra en la Tabla 2. En general, las características del sustrato sintético a lo largo del estudio variaron de acuerdo con lo recomendado en el protocolo de la EPA (26), que establece un valor de 30 UNT y 1 500 mg/L de SDT como condición crítica y una reducción mínima de 5 unidades logarítmicas para bacterias.

**Tabla 2.** Variación de las características fisicoquímicas y microbiológicas del sustrato sintético

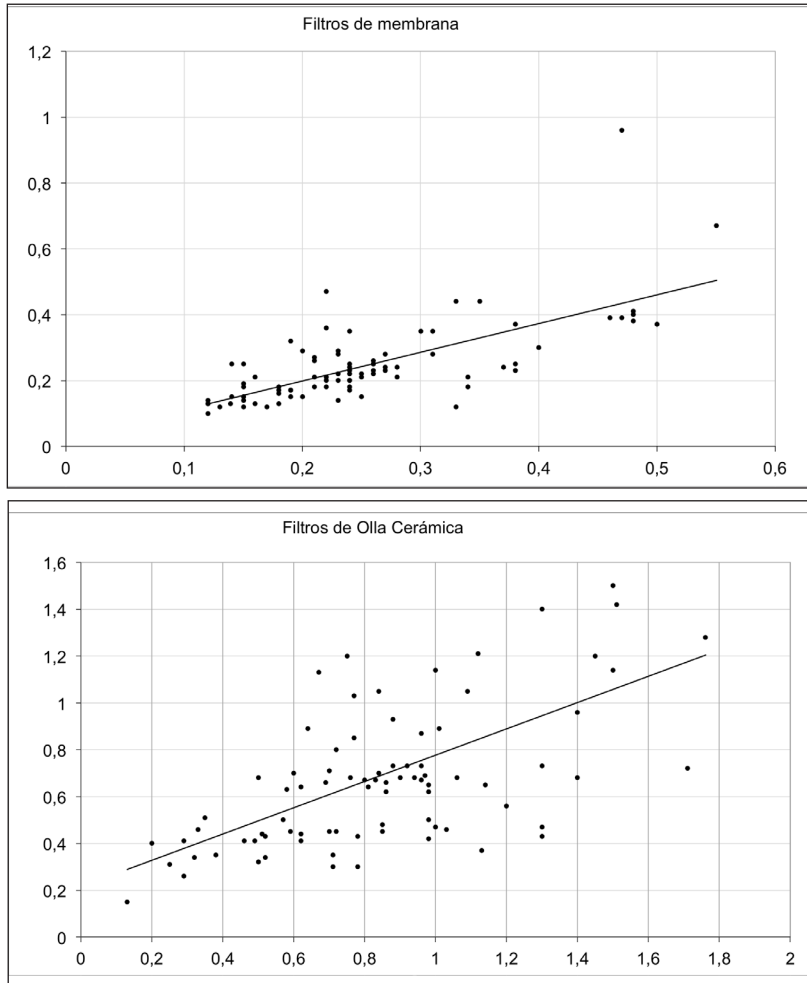
| Variable       | Unidades | Promedio            | DS <sup>b</sup>      | Mínimo              | Máximo              |
|----------------|----------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| pH             | -        | 7,3 <sup>a</sup>    | ± 0,6                | 5,4                 | 9,9                 |
| Conductividad  | µs/cm    | 2 454               | ± 61,2               | 2 428               | 2 794               |
| Turbiedad      | UNT      | 32,33               | ± 2,8                | 25,6                | 40,4                |
| SDT            | mg/L     | 1 627               | ± 112                | 1 400               | 1 800               |
| <i>E. coli</i> | UFC/ml   | 3,9x10 <sup>5</sup> | ±2,2x10 <sup>1</sup> | 1,2x10 <sup>5</sup> | 8,2x10 <sup>5</sup> |

<sup>a</sup> Media geométrica; <sup>b</sup> Desviación estándar

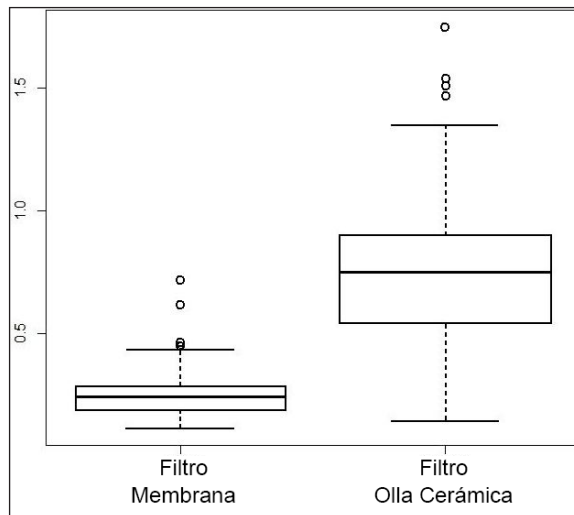
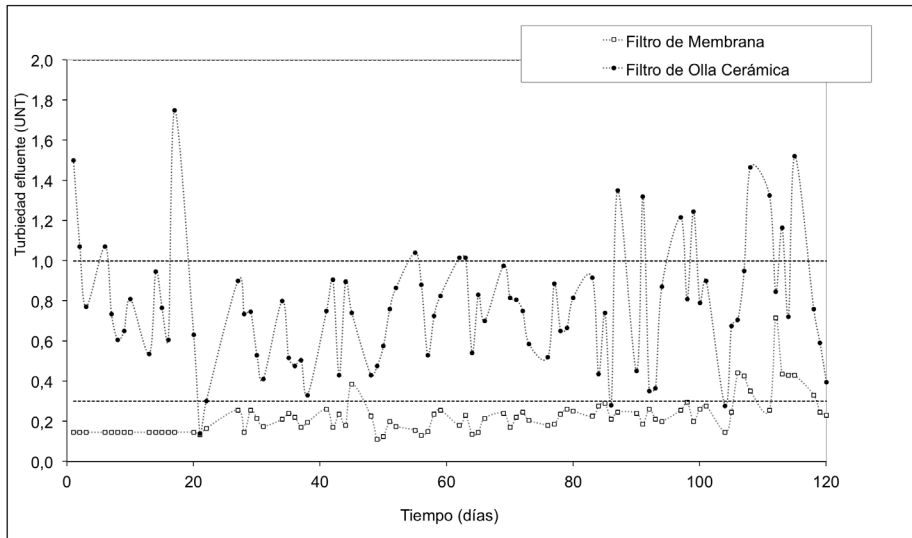
### Operación y mantenimiento de los sistemas de filtración

El análisis de correlación entre los duplicados de cada sistema de filtración, mostró para la variable turbiedad, una alta correlación lineal y positiva, presentando valores del coeficiente de Pearson de 0,70 para los filtros de membrana y 0,57 para los filtros olla cerámica como se muestra en la Figura 2. Se destaca que el comportamiento de los filtros de membrana (FM) fue más homogéneo comparado con los filtros de olla cerámica (FOC), debido a la inherente variabilidad que acompaña la fabricación artesanal y poco estandarizada de los filtros de olla cerámica (30) lo que puede ocasionar mayor variabilidad en su comportamiento y eficiencias.

La Figura 3 muestra mediante diagramas de dispersión y de cajas y alambres la variación de los datos de turbiedad del efluente filtrado de ambos sistemas. Durante todo el estudio, ambos modelos de filtros lograron reducir la turbiedad hasta valores inferiores al límite de la norma nacional de calidad de agua (31), que establece un valor máximo de turbiedad para el agua potable de 2,0 UNT.

**Figura 2.** Correlación de la variable turbiedad entre duplicados de cada filtro

Con relación a la reducción del riesgo microbiológico, los resultados mostraron que ambos sistemas de filtración lograron la eliminación total de la bacteria *E. coli* alcanzando eficiencias del 100 % (reducción de 5 unidades logarítmicas). Respecto a las variables de control como SDT, pH, conductividad y color aparente, la Tabla 3 detalla los resultados obtenidos a lo largo del estudio.

**Figura 3.** Variación de la turbiedad efluente de los sistemas de filtración

### Análisis estadístico

El análisis de varianza ANOVA se realizó solo con la variable Turbiedad ya que la concentración de *E. coli* en todos los efluentes de los filtros siempre fue cero. Los resultados mostraron que existen diferencias significativas entre los dos modelos de filtración ( $gl=1$ ,  $F=93,2$   $p<0,0001$ ) en términos de remoción de turbiedad siendo más eficiente el filtro de membrana.



**Tabla 3.** Análisis estadístico de las características del efluente filtrado y variación de la tasa de filtración

| Variable  |                            | FM      | FOC     | Res. 2115 (31) |
|---|----------------------------|---------|---------|----------------|
| pH<br>n <sup>a</sup> = 120                      | Promedio                   | 7,3     | 7,4     | 6,5–9,0        |
|   | DS <sup>b</sup>            | ± 0,5   | ±0,4    |                |
|   | Mínimo                     | 5,4     | 6       |                |
|   | Máximo                     | 9,8     | 8,6     |                |
| Color aparente<br>(UPC)<br>n <sup>a</sup> = 120 | Promedio                   | 5       | 8       | 15             |
|   | DS <sup>b</sup>            | ±2,9    | ± 4,1   |                |
|   | Mínimo                     | 0       | 0       |                |
|   | Máximo                     | 15      | 24      |                |
| Conductividad (µS/cm)<br>n <sup>a</sup> = 120   | Promedio                   | 2 296   | 2 340   | 1 000          |
|   | DS <sup>b</sup>            | ±121,3  | ±131,1  |                |
|   | Mínimo                     | 1 982   | 2 084   |                |
|   | Máximo                     | 2 543   | 2 615   |                |
| SDT (mg/L) n <sup>a</sup> = 24                  | Promedio                   | 1 597   | 1 585   | -              |
|   | DS <sup>b</sup>            | ± 140,7 | ± 213,2 |                |
|   | Mínimo                     | 1 447   | 1 120   |                |
|   | Máximo                     | 1 950   | 2 071   |                |
| Tasa de filtración (L/hora)                     | Promedio<br>1 <sup>c</sup> | 12,4    | 0,35    | -              |
|   | Promedio<br>2 <sup>d</sup> | 13,5    | 0,28    |                |
|   | Promedio<br>3 <sup>e</sup> | 12,3    | 0,28    |                |
|   |                            |         |         |                |

<sup>a</sup>: n: número de datos; <sup>b</sup>DS: Desviación Standard ; <sup>c</sup> Valor promedio durante los días 1 a 60 de operación del sistema; <sup>d</sup> Valor promedio durante los días 60 a 90 de operación del sistema; <sup>e</sup> Valor promedio durante los días 90 a 120 de operación del sistema

## DISCUSIÓN

Los dos modelos de filtración garantizaron durante todo el periodo de evaluación, valores de turbiedad en el efluente conforme a lo establecido en la reglamentación nacional, además de cumplir con el estándar internacional (32) de 1,0 UNT en el 100 % de los datos para los FM y el 85 % para los FOC. De acuerdo con algunos autores (32,33), valores de turbiedad menores a 0,3 UNT en el agua filtrada contribuyen a reducir el riesgo microbiológico por presencia de *Giardia* y *Cryptosporidium* y favorecen la eliminación de bacterias y virus en un posterior proceso de desinfección. La distribución de los datos en los diagramas de cajas y alambres indica que el 75 % de los datos de turbiedad del FM garantizaron esta condición, mostrando mayor eficiencia en este sistema comparado con el FOC.

La alta variabilidad observada en el gráfico de dispersión para el FOC, se debe probablemente a que durante la operación del filtro en ocasiones se presentaba un leve desprendimiento de partículas de arcilla que pu-

dieron incrementar la turbiedad, como también lo reportó el estudio de Vidal (21). Las eficiencias promedio de reducción de turbiedad logradas en el FM fueron de  $99,2 \% \pm 0,42$  y para el FOC de  $97,6 \% \pm 1,14$ , lo que mostró que el FM fue más eficiente en la remoción de material particulado, resultados que también fueron confirmados por el análisis estadístico de varianza. Los porcentajes de remoción alcanzados con el FM fueron similares a los reportados por IwanaGreen (34) y para el FOC las eficiencias alcanzadas fueron mayores a las reportadas por Vidal (21). El estudio desarrollado en la Universidad de Arizona con filtros LifeStraw® familiar, mostró que esta tecnología continúa siendo eficiente para valores críticos de turbiedad en el agua cruda de hasta de 100 UNT en un volumen máximo filtrado de 18 000 litros (9). Por el contrario, para los FOC se recomienda que sean operados con turbiedades menores a 50 UNT para alcanzar eficiencias de remoción entre 83–99 % (24).

La eficiencia microbiológica de ambos sistemas fue igual, alcanzando una reducción de 5 unidades logarítmicas de *E. coli* como también lo indican otros estudios en filtros de olla cerámica que reportan reducciones hasta de 5 unidades logarítmicas de coliformes fecales y totales (21, 22) y reducciones de la carga de *E. coli* superiores a 6 unidades logarítmicas en FM (16,17).

En el estudio realizado por Bielefeldt (19) en filtros de olla cerámica, el uso de un afluente con una concentración mayor de *E. coli* ( $10^6$  UFC/mL) redujo las eficiencias alcanzando solo una remoción entre 3 y 4 unidades logarítmicas. Lo que muestra que el filtro de olla cerámica presenta un límite menor de eficiencia que el filtro de membrana para la eliminación de *E. coli*, siendo indispensable conocer con anterioridad las características microbiológicas del afluente a tratar, antes de implementar cualquier tipo de tecnología en una comunidad.

El estudio de Van der Laan (30) demostró que el principal mecanismo de inactivación de *E. coli* en los filtros de olla cerámica impregnados de plata coloidal es el tiempo de almacenamiento en el recipiente plástico, el cual le brinda mayor tiempo de contacto al agua filtrada con la plata disuelta, evitando la recontaminación del agua y proporcionando un efecto desinfectante a largo plazo. Además de los beneficios de la plata coloidal como bactericida (19), también impide el crecimiento de biopelículas en las paredes de la olla, principalmente en zonas con temperaturas mayores a  $9,5$  °C como lo confirman los estudios de Vidal (21) y van der Laan (30). Esta ventaja favorece la implementación de la tecnología en zonas tropicales en las que se alcanzan temperaturas mayores.

Respecto a la calidad del agua filtrada en términos de pH y color aparente, se cumplió con lo establecido en la reglamentación nacional para ambos modelos de filtros. No se observó un incremento apreciable del pH como si lo reportó Langtane (17) quien indicó que la arcilla aportó alcalinidad al efluente filtrado. En cuanto SDT, ninguno de los sistemas logró remover este tipo de sólidos.

Aunque estadísticamente se confirmó la existencia de diferencias significativas entre ambos sistemas, en términos de la variable turbiedad, se requiere de un análisis integral de los resultados considerando variables de tipo económico, operativo y de mantenimiento, que pueden influir en el grado de sostenibilidad y aceptación de una tecnología por parte de las comunidades (14).

Desde el punto de vista económico, los filtros de membrana son importados por lo tanto su facilidad de adquisición y costo podrían limitar la implementación de esta tecnología en comunidades alejadas de centros urbanos. El filtro de olla cerámica es una tecnología que puede ser desarrollada, mejorada y estandarizada en Colombia por su facilidad de manufactura y además de resultar más económica que el filtro de membrana, podría tener una vida útil más prolongada como lo muestran los estudios de Lantagne (17) y Campbell (18) quienes evaluaron la eficiencia de eliminación de coliformes totales, fecales y *E. coli* en filtros con 5 y 7 años de funcionamiento, obteniendo eficiencias del 100 %. Sin embargo, Lantagne (17), recomienda reemplazar el baño de plata coloidal una vez al año como margen de seguridad.

Con relación a la tasa de filtración, el FM presentó valores más elevados y poco variables en el tiempo (12,3–13,5 L/ hora) favoreciendo un mayor suministro de agua diaria, comparada con el FOC (0,28 – 0,35 L/ hora) que muestra una mayor limitación en este aspecto. Sin embargo, se resalta que el FOC cuenta con un sistema de almacenamiento, que además de reducir el riesgo de recontaminación del agua, favorece la inactivación de *E. coli* (30) y sirve para almacenar al menos 17 litros de agua filtrada, sistema con el que no cuenta el FM. Independiente de la existencia o no de un sistema de almacenamiento, es necesario que los usuarios conozcan y se concienticen de la importancia de tener adecuadas prácticas de higiene y almacenamiento seguro del agua, para evitar riesgos a la salud por recontaminación del agua filtrada.

El mantenimiento de los sistemas de filtración es un aspecto clave para garantizar su desempeño; el filtro de membrana demanda mayor cuidado durante la limpieza diaria, siendo indispensable realizarla como lo indica el manual de funcionamiento, de lo contrario, se podría comprometer la calidad microbioló-

gica del agua filtrada. El FOC requiere un mínimo de mantenimiento, concentrándose en la limpieza diaria de la olla mediante lavado con agua y cuando se observa una evidente disminución de la tasa de filtración, se puede cepillar con suavidad las paredes de la olla para remover material acumulado en los poros (24), la disminución de la tasa de filtración puede atribuirse a la baja carga hidráulica (altura de lámina de agua) o malas prácticas de limpieza (17).

Los resultados del estudio permiten concluir que ambos sistemas son adecuados para el tratamiento del agua a nivel casero garantizando el cumplimiento de la reglamentación en términos de las variables turbiedad, pH, Color y *E. coli*; sin embargo, el FM resultó más eficiente en la remoción de sólidos suspendidos, lo que probablemente favorecería una mejor calidad microbiológica comparada con el FOC. Considerando variables económicas, operativas, mantenimiento y vida útil de los sistemas, el filtro de Olla Cerámica resulta más ventajoso considerando el contexto de las comunidades rurales del país. Por otra parte, la selección de una u otra tecnología, obliga a que dentro del proceso de aceptación de la comunidad se considere su capacitación para garantizar las eficiencias esperadas y se acompañe el proceso con un programa educación sanitaria que promueva las buenas prácticas de higiene y manejo adecuado del agua para consumo humano a nivel familiar \*

**Agradecimientos:** a OXFAM, Acción Contra el Hambre ACF-Colombia, COLCIENCIAS (Convocatoria de Semillero de Investigación 2013) y la Universidad de Boyacá por el apoyo financiero recibido para la ejecución del proyecto. A la Universidad Santiago de Cali–USC mediante convenio con la Universidad de Boyacá.

**Conflicto de intereses:** Ninguno.

## REFERENCIAS

1. Dye C, Boerma T, Evans D, Harries A, Lienhardt C, McManus J, et al [Internet]. Informe sobre la salud en el mundo 2013. Investigaciones para una cobertura sanitaria universal. Luxembourg: Organización Mundial de la Salud; 2013. p. 44. Disponible en: [http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/85763/1/9789240691223\\_spa.pdf?ua=1](http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/85763/1/9789240691223_spa.pdf?ua=1). Consultado enero del 2015.
2. Prüss-Üstün A, Boss R, Gore F, Bartram J [Internet]. Safer water, better health Costs, benefits and sustainability of interventions to protect and promote health. Geneva: Water Health Organization; 2008. Disponible en: [http://whqlibdoc.who.int/publications/2008/9789241596435\\_eng.pdf](http://whqlibdoc.who.int/publications/2008/9789241596435_eng.pdf). Consultado enero del 2015.
3. Organización Panamericana de la Salud [Internet]. Agua y Saneamiento: evidencias para políticas públicas con enfoque en derechos humanos y resultados en salud pública. Washington: Organización Panamericana de la Salud; 2011. Disponible en: [http://www.paho.org/tierra/images/pdf/agua\\_y\\_saneamiento\\_web.pdf](http://www.paho.org/tierra/images/pdf/agua_y_saneamiento_web.pdf). Consultado enero del 2015.

4. Consejo Nacional de Política Económica y Social – CONPES [Internet]. Lineamientos para la formulación de la política integral de salud ambiental con énfasis en los componentes de calidad de aire, calidad de agua y seguridad química 3550. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3550%20-%202008.pdf>. Consultado diciembre del 2014.
5. Sobsey, M [Internet]. *Managing Water in the Home: Accelerated Health Gains from Improved Water Supply*. Geneva: Water Health Organization; 2008. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/WSH02.07.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/WSH02.07.pdf). Consultado enero del 2015.
6. Water Health Organization, United Nations Children´s Fund [Internet]. *Progress on drinking water and sanitation. Joint monitoring programme update*. USA: WHO – UNICEF; 2012. Disponible en: [http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789280646320\\_eng.pdf?ua=1](http://whqlibdoc.who.int/publications/2012/9789280646320_eng.pdf?ua=1). Consultado enero del 2015.
7. Ministerio de Salud y Protección Social [Internet]. *Informe Nacional Calidad de Agua para Consumo Humano Julio 2007 – diciembre 2011*. Bogotá: MinSalud; 2013. Disponible en: <http://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/Informe%20Nacional%20Calidad%20de%20Agua%20Julio%202007%20a%20Diciembre%202011.pdf>. Consultado Diciembre del 2014.
8. Instituto Nacional de Salud [Internet]. *Estado de la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en Colombia Año 2012. Subsistema de Información para la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano SIVICAP*. Bogotá: INS; 2013. Disponible en: <http://www.ins.gov.co/sivicap/Normatividad/Informe%20Vigilancia%20Calidad%20Agua%20a%C3%B1o%202012.pdf>. Consultado Diciembre del 2014.
9. Peter-Varbanets M, Zurbrügg C, Swartz C, Pronk W. Review. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Research*. 2009; 43(2): 245-265.
10. Jenkins MW, Tiwari SK, Darby J. Bacterial, viral and turbidity removal by intermittent slow sand filtration for household use in developing countries: Experimental investigation and modeling. *Water Research*. 2011; 45(18): 6227-6239
11. Elliott MA, DiGiano FA, Sobsey MD. Virus attenuation by microbial mechanisms during the idle time of a household slow sand filter. *Water Research*. 2011; 45(14): 4092-4102.
12. Franz A. A performance study of ceramic candle filters in Kenya including tests for coliphage removal. Tesis de grado de Maestría en Ingeniería Civil y Ambiental [2004]. Massachusetts Institute of Technology. Disponible en: <http://web.mit.edu/watsan/Docs/Student%20Theses/Kenya/AmberFranz-Thesis%205-18-05.pdf>. Consultado en enero de 2015.
13. Sobsey MD, Stauber CE, Casanova LM, Brown JM, Elliott M.A. Point of Use Household Drinking Water Filtration: A Practical, Effective Solution for Access to Safe Drinking Water. *Environmental Science & Technology* 2008; 42(12): 4261-4267.
14. Mwabi JK, Adeyemo FE, Mahlangu TO, Mamba BB, Brouckaert BM, Swartz CD, et al. Household water treatment systems: A solution to the production of safe drinking water by the low-income communities of Southern Africa. *Physics and Chemistry of the Earth* 2011; 36(14-15):1120-1128.
15. Naranjo J, Gerba CP [Internet]. *LifeStraw® Family Filter Testing. Efficacy evaluation. Final report*. Department of Soil, Water and Environmental Science. USA: The University of Arizona; 2008. Disponible en: [http://www.iwanagreen.com/pdf/Prueba\\_tecnica\\_LSF\\_Arizona.pdf](http://www.iwanagreen.com/pdf/Prueba_tecnica_LSF_Arizona.pdf). Consultado en noviembre del 2014.
16. Walters A. A performance evaluation of the lifestraw: a personal point of use water purifier for the developing world. Tesis de grado de Maestría [2008]. University of North Carolina at Chapel Hill. Disponible en: <https://cdr.lib.unc.edu/indexablecontent/uiuid:45203e5b-9c32-4793-bb81-c52f8a7497fc>. Consultado en enero del 2015.
17. Lantagne DS [Internet]. *Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver-Impregnated Ceramic Filter. Report 1: Intrinsic Effectiveness. Report 2: Field investigation*;

2001. Disponible en <http://web.mit.edu/watsan/Docs/Other%20Documents/ceramicpot/PPF-Report1-Daniele%20Lantagne,%2012-01.pdf> Consultado noviembre del 2014.
18. Campbell E [Internet]. Study on Life Span of Ceramic Filter Colloidal Silver Pot Shaped (CSP) Model; 2005. Disponible en: <http://www.potterswithoutborders.com/2011/06/study-on-life-span-of-ceramic-filter-colloidal-silver-pot-shaped-csp-model/>. Consultado octubre del 2014.
  19. Bielefeldt AR, Kowalski K, Summers RS. Bacterial Treatment Effectiveness of Point-Of-Use Ceramic Water Filters. *Water Research*. 2009; 43(14): 3559-3565.
  20. Clasen T, García G, Boisson S, Collin S. Household-based ceramic water filters for the prevention of diarrhea: a randomized, controlled trial of a pilot program in Colombia. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene* 2005; 73 (4): 790–795.
  21. Vidal SM. Evaluación de la efectividad del filtro a base de arcilla y plata coloidal en la potabilización de agua, medida por pruebas fisicoquímicas y microbiológicas. Tesis de Tecnología Química [2010]. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. Disponible en: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/2086/1/628352V648.pdf>. Consultado enero de 2015.
  22. Lerman DA. Filtros cerámicos una alternativa de agua segura. Facultad de Ciencias Ambientales. Tesis de Maestría en Ecotecnología [2012]. Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/2710/1/6281683L616.pdf> Consultado enero de 2015
  23. Iwanagreen [Internet]. Purificadores de agua microbiológicos. Domésticos, portátiles e instantáneos. Lifestraw. Brochure 2011. Disponible en: [http://www.iwanagreen.com/pdf/brochure\\_ls.pdf](http://www.iwanagreen.com/pdf/brochure_ls.pdf) . Consultado octubre del 2014.
  24. Center for Affordable Water and Sanitation Technology [Internet]. Hojas Informativas para el tratamiento de agua a nivel domiciliar y su almacenamiento seguro: Filtro de Olla Cerámica. Disponible en: [http://resources.cawst.org/es/asset/hoja-informativa-filtro-de-cer%C3%A1mica-tipo-olla-detallada\\_](http://resources.cawst.org/es/asset/hoja-informativa-filtro-de-cer%C3%A1mica-tipo-olla-detallada_) Consultado enero del 2014.
  25. Howard G, Bartram J [Internet]. Domestic Water Quantity, Service Level and Health. Geneva: World Health Organization; 2003. Disponible en: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/wsh0302/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/wsh0302/en/). Consultado enero del 2015.
  26. Environmental Protection Agency EPA. Guide standard and protocol for testing microbiological water purifiers. Registration Division. Office of pesticide program. Criteria and Standards division, Office of drinking water. USA: EPA; 1987.
  27. Tassinari B, Doherty S, Marison IW. Submicron capsules extracted from rapeseed as novel flocculant agents for the treatment of turbid water. *Water Research*. 2013; 47(14):4957-4965.
  28. Muthuraman G, Sasikala S. Removal of turbidity from drinking water using natural coagulants. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2014; 20(4):1727-1731.
  29. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 Edition. United States: APHA, AWWA, WEF; 2012.
  30. Van Der LH, Van Halem D, Smeets PWMH, Soppe AIA, Kroesbergen J, Wubbels FG, et al. Bacteria and virus removal effectiveness of ceramic pot filters with different silver applications in a long term experiment. *Water Research*. 2014; 51:47-54.
  31. Ministerio de Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 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. Bogotá D.C: República de Colombia, 2007.
  32. United States Environmental Protection Agency USEPA [Internet]. National primary drinking water regulations. USA: EPA; Mayo 2009. Disponible en: <http://www.epa.gov/ogwdw/consumer/pdf/mcl.pdf>. Consultado enero del 2014.
  33. Heller L, Bastos RKX, Vieira MBCM, Bevilacqua PD, Alves LLB, Santana MMM, et al.

- Oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*. 2004; 13(2):79-92.
34. IwanaGreen [Internet]. Análisis realizados por la Universidad de Antioquia – Colombia. Estudios técnicos – pruebas de laboratorio LifeStraw® Family y LifeStraw® Community. 2010. Disponible en: <http://www.iwanagreen.com/laboratorio.php>. Consultado diciembre del 2014.