

Evaluación del efecto de la plata coloidal sobre la calidad química del agua filtrada de dos modelos de filtros caseros.

Evaluation of the effect of colloidal silver on the chemical quality of the filtered Water of two models of homemade filters.

Bryan Camilo Aviles Torres ⁽¹⁾

bryan.aviles00@usc.edu.co

María Alejandra Narváez Garavito ⁽¹⁾

maria.narvaez04@usc.edu.co

Jorge Antonio Silva Leal ⁽²⁾

jorge.silva04@usc.edu.co

Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Programa de Bioingeniería ⁽¹⁾
Universidad Santiago de Cali, Facultad de Ingeniería, Vicerrector Académico, Programa de Bioingeniería ⁽²⁾

Resumen

La potabilización del agua y el saneamiento es un problema de salud pública, donde se evidencia la brecha tecnológica en sistemas de potabilización entre la población urbana y la rural, por lo tanto, para minimizar esta problemática se implementan diversos sistemas de tratamiento para el abastecimiento de agua potable de comunidades con limitaciones socio económicas entre ellos están los sistemas de potabilización caseros como el sistema de filtración de vasija de olla cerámica. En este estudio se evaluó un sistema de filtración de olla cerámica, llamado Ekofil y Ekofil plus, el cual consta de una olla de arcilla impregnada de plata coloidal y el Ekofil plus que cuenta con un refuerzo de cartucho de carbón activado impregnado de plata coloidal. Se evaluó la concentración de plata sobre el efluente filtrado en dos modelos de filtros de olla cerámica usados en el tratamiento de agua para consumo humano, este estudio se realizó bajo condiciones controladas de laboratorio con la medición de dos tipos de agua sintética durante 10 semanas. Los resultados obtenidos en ambos modelos de filtración evidenciaron que la lixiviación de plata estuvo por debajo del límite 0.1 mg/L establecido por la EPA. De acuerdo con las variables de control pH, conductividad y turbiedad se evidenció que el filtro Ekofil fue el más acorde a lo establecido por la normatividad colombiana (Resolución 2115 del 2007) con una remoción de 95.4% y ambos sistemas de potabilización buscan proveer agua segura con el fin de abastecer a comunidades rurales que no cuenten con sistemas de potabilización.

Palabras Clave: Saneamiento, Agua potable, Filtros cerámicos, Plata coloidal.

Abstract

The purification of water and sanitation is a public health problem, where the technological gap in water treatment systems between the urban and rural population is evident, therefore, to minimize this problem, various treatment systems are implemented to supply water. Drinking water of communities with socio-economic limitations among them are the systems of home purification as the filter system by filtering bed of ceramic vessel. In this study we evaluated a ceramic pot filtration system, called Ekofil and Ekofil plus, which consists of a clay pot impregnated with colloidal silver and the Ekofil plus that has an activated carbon cartridge reinforcement impregnated with colloidal silver. The concentration of silver on the filtered effluent was evaluated in two models of ceramic pot filters used in the treatment of water for human consumption, for which the measurement of two types of synthetic water was carried out under controlled laboratory conditions for 10 weeks. The results obtained in both filtration models showed that the silver leaching was below the limit of 0.1 mg / L established by the EPA. According to the control variables pH, conductivity and turbidity, it was evident that the Ekofil filter was the one most in accord with what was established by Colombian regulations (Resolution 2115 of 2007) with a removal of 95.4%. Both systems of potabilization provide safe water in order to supply rural communities that do not have water treatment systems.

Keywords: Colloidal Silver, Drinking Water, Ceramic Filters, Sanitation.

1. INTRODUCCIÓN

El déficit de acceso y potabilización del agua se ve latente en la población rural en comparación con la urbana, dado que esta zona presenta bajos niveles de saneamiento y acceso óptimo al suministro de agua potable, menos del 50% de la población rural en países subdesarrollados cuentan con acceso a dicho suministro (OMS & UNICEF, 2007). De acuerdo con los objetivos de desarrollo sostenible, asegurar el agua potable y asequible para todos se definió como meta para el

año 2030, para ello Colombia tiene el reto de alcanzar una cobertura de acueducto del 99% en el área urbana y 78% en el área rural, de los cuales en el año 2013 fue de 97.16% en el área urbana y de 73.34% en el área rural incluyendo soluciones alternativas (DNP, 2015).

En el Valle del Cauca de los 442 acueductos rurales auditados por la Contraloría departamental, 364 no cumplen con las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano debido a la falta de inversión, bajo nivel socioeconómico de los beneficiarios, viviendas dispersas, limitaciones para nuevas tecnologías o sistemas más complejos, bajo nivel técnico de los operadores, mayor demanda – menor oferta del recurso, pérdida de fuentes abastecedoras, entre otros (Contraloría Departamental del Valle del Cauca, 2019). Debido a la poca cobertura de potabilización de agua para lugares remotos, se evidenció que para el año 2015, 159 millones de personas aún recolectaban agua para consumo directamente de fuentes de agua superficial (WHO/UNICEF, 2017); de acuerdo a este problema se crearon tecnologías para el tratamiento del agua a nivel domiciliario que brinden facilidad de acceso, simplicidad de operación, grado de aceptación por parte de la comunidad y eficacia en la reducción del riesgo microbiológico (Mwabi et al., 2011). En la Tabla 1 se destacan los métodos de potabilización casera más empleados para el mejoramiento de la calidad del agua para consumo humano:

Tabla 1. Métodos de Potabilización Casera

| Método | Descripción |
|--|--|
| Hervir Agua | Hervir el agua es la forma más segura de desinfectar el agua. Es un método bastante efectivo para desinfectar pequeñas cantidades de agua. |
| Desinfección Solar, Desinfección Solar Combinada Con Radiación UV | El calor combinado con la radiación del sol sirve para inactivar los microorganismos que provocan enfermedades presentes en el agua |
| Filtros Cerámicos | Este filtro es tratado con un baño de plata coloidal para garantizar la seguridad bacteriológica |
| Coagulación-Filtración- Cloración | Incorporación de ayudantes químicos para coagular, filtra los sedimentos en el agua, tras lo cual se libera cloro de forma diferida |
| Cloración Y Almacenamiento seguro | Aplicación de cantidades suficientes de cloro al agua tratada para la eliminación de microorganismos patógenos. |

(Sobsey, 2002; OPS, 2005)

Se destaca que la selección de una tecnología para una comunidad depende de múltiples factores como la calidad del agua cruda, la disponibilidad y requerimiento de materiales, tiempo de uso, número de usuarios, preferencias de la población, nivel educativo y la disponibilidad de personal para entrenamiento y monitoreo que aseguren la implementación exitosa de la tecnología (Mwabi et al., 2011). El filtro poroso impregnado con plata coloidal (SIPP) y el matriz estructurado de carbón activado (FME) eliminan microorganismos por encima del 90%, siendo así una alternativa para mejorar la calidad de vida de comunidades rurales que no cuentan con acceso a agua potable, constituyendo una fuente de tratamiento de agua segura y a bajo costo (Peñaranda, 2016). Los filtros cerámicos son sistemas de tratamiento de bajo costo y duraderos, el cual consta de una unidad de tratamiento por lecho filtrante de arcilla, para el caso del Ekofil Plus cuenta con un cartucho de carbón activado y zeolita recubierto por plata coloidal y un recipiente de almacenamiento; la eficacia de la remoción de los contaminantes y microorganismos en los filtros cerámicos dependerá del tamaño del poro, se considera que la eliminación de bacterias y virus es baja (Witt Vicente M & Reiff. Fred M, 1993) por ello se ha complementado con el uso de plata coloidal que provoca una reacción química inactivando agentes patógenos que pueden afectar el organismo humano (Vidal Henao, 2010). En el caso particular de los filtros cerámicos EKOFIL, la plata coloidal se aplica con fines desinfectantes, la vida útil de los filtros de olla cerámica han sido indicados para más de 5 años (Lantagne, 2001; Campbell, 2005). En un estudio realizado se evidenció que según los reportes de las pruebas microbiológicas en los casos en el que fue empleado el uso de plata coloidal a los filtros cerámicos, generaron una desinfección del 100% de las coliformes totales y el E. Coli presentes en el agua cruda, comparado con el otro prototipo de filtración sin plata coloidal se evidenció que la remoción fue parcial de la carga microbiológica del agua.

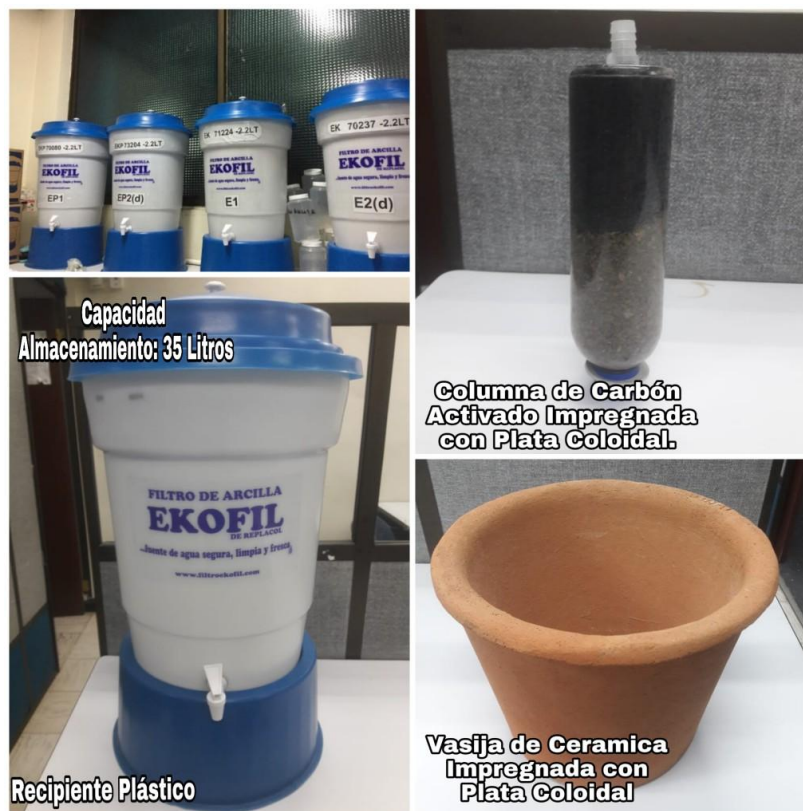
(Ruíz, 2018). Independiente del beneficio al usar filtros cerámicos impregnados de plata Coloidal, se ha evidenciado que se presenta lixiviación de este metal ocasionando reducción de su efecto bactericida durante el tiempo de contacto del agua con la plata en el recipiente de almacenamiento (Van Halem, 2006).

Para (Lansdown, 2006) el efecto que ocasiona la lixiviación de Plata surge a través de la ingesta de este metal por la vía oral ingresando por la boca, estómago e intestinos hasta alcanzar la circulación sanguínea. Reportes señalan que sólo 10% se absorbe y 77% se transporta a través de la circulación sanguínea. Posteriormente sólo 2-4% se mantiene hasta los siguientes 20 días y permanece en el hígado y la piel de manera permanente generando afecciones a la salud como la Argiria, que produce una decoloración azul-gris en la piel, que puede llegar a ocasionar la muerte, pérdida de peso, hipo actividad, niveles de neurotransmisores alterados (Hadrup & Lam, 2014). Se destaca que la mayoría de las personas están expuestas diariamente a cantidades muy pequeñas de plata, presente principalmente en los alimentos, en el agua potable y en el aire, estas se pueden presentar de forma natural en aguas superficiales como ríos y lagos, así como en los suelos o de forma antropogénica como lo son los desechos peligrosos en aguas subterráneas, en la elaboración de joyería, trabajos de fotografía y en las soldaduras (ATSDR, 2016). De acuerdo con lo anterior mencionado, surgió esta investigación cuyo objetivo fue la evaluación de la calidad del agua filtrada con respecto a la lixiviación de plata de los filtros Ekofil y Ekofil plus de la empresa REPLACOL, como una alternativa simple y de bajo costo de potabilización que permita la obtención de agua segura para el consumo humano, bajo condiciones controladas de laboratorio, estableciendo características fisicoquímicas del agua sintética, así como el seguimiento operacional de los sistemas de filtración.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

El proyecto se realizó en las instalaciones de la Universidad Santiago De Cali, por la cual el proveedor REPLACOL suministro los filtros requeridos EKOFIL y EKOFIL PLUS con sus respectivos duplicados como se observa en la Figura 1.

Figura 1. Filtro de Olla Cerámica Ekofil



La fase experimental del estudio comprendió tres etapas: i) Preparación del sustrato sintético, ii) Operación y mantenimiento de los sistemas de filtración y iii) Evaluación del desempeño del sistema de filtración. A continuación, se

describe cada fase.

2.1 Preparación del agua sintética:

Se evaluó la calidad química del agua sintética siguiendo las recomendaciones del protocolo de la (EPA, 1987), para lo cual se evaluaron los filtros bajo dos calidades de agua sintética: agua crítica y agua standard. Para el agua crítica se usó Caolín, Tiosulfato, NaCl y HCL. El Caolín fue usado para ajustar la turbiedad a 5 UNT (Pérez-Vidal et al., 2016), el ajuste de los sólidos disueltos totales-SDT se ajustaron con NaCl grado comercial y el pH con HCL. Para la elaboración del agua standard, se utilizaron diariamente 35 litros de agua y 24.5ml de tiosulfato, el cual fue empleado para la neutralización del cloro residual. El sustrato de las dos calidades de agua se preparó diariamente para alimentar todos los sistemas de filtración, además se realizó la agitación de manera manual. La Tabla 2 muestra las características fisicoquímicas de los sustratos sintéticos.

Tabla 2. Características fisicoquímicas de los sustratos sintéticos.

| Variable | Valor | Descripción |
|---------------------------------|----------|---|
| Turbiedad | 5 UNT | Se adicionó Caolín en una concentración de 0.02g/L |
| pH | 5±0.2 | Se adicionó HCL 0.7 ml |
| | 7.5-8* | Se usó Agua de acueducto |
| Sólidos Totales | 100 mg/L | Se adicionó NaCl grado comercial en una concentración de 0.1g/L |
| Neutralización del Cloro | 0* | Se adicionó Tiosulfato a 24 ml |

*Agua Standard

2.2 Operación de los sistemas de filtración

Posterior a la preparación del agua sintética se estableció un volumen diario de 7,5 litros por filtro, valor correspondiente a la capacidad actual de la vasija u olla cerámica de los filtros, que también responde al requerimiento mínimo de agua para el consumo humano diario y preparación de alimentos por persona, también se tuvo a consideración las necesidades de las mujeres lactantes según la OMS (Howard & Bartram, 2003). El recipiente fue lavado diariamente para evitar acumulación de sustrato u otros elementos que pudieran afectar el análisis. Durante la operación del sistema, la cual duró 8 semanas para el agua crítica se realizó el control de los parámetros establecidos por la EPA, 1987 de conductividad, pH, turbiedad y solidos totales. Posteriormente para el agua standard se realizó una evaluación de 2 semanas controlando únicamente el parámetro de pH, debido a que la lixiviación se produjo respecto a la variación de este, también por lo evaluado por Zhang & Oyanedel-Craver, 2013 en donde se demostró que hubo lixiviación de plata de 0,46 mg/L en los filtros cerámicos, esto se evidenció luego de transcurrir los primeros 100 minutos de filtración. La Tabla 3 describe el tiempo de seguimiento y las variables objeto de estudio.

Tabla 3. Variables de estudio

| Variable | Unidades | Frecuencia | A/E | Método** |
|----------------------------|----------|------------|-----|-------------------------|
| pH* | - | Diaria | A/E | Electrométrico 4500-H+B |
| Conductividad* | µS/cm | Diaria | A/E | Laboratorio 2510B |
| Turbiedad* | UNT | Diaria | A/E | Nefelométrico 2130B |
| Plata | mg/l | Diaria | A/E | SM3111B |
| Tasa de filtración* | L/h | Semanal | E | Volumétrico |
| Solidos totales | mg/l | Semanal | A/E | (2540B) (2540D) |

*Mediciones INSITU

** (APHA/AWWA/WEF, 2012)

A: Afluente

E: Efluente

2.3 Evaluación del desempeño de los filtros:

Con los datos obtenidos en la fase experimental, se realizó un análisis comparativo de las calidades químicas del agua

en los sistemas de filtración evaluados en función de la lixiviación de plata, para el procesamiento de los datos se utilizó herramientas de la estadística descriptiva como desviación estándar, promedio y porcentaje de remoción.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Características del agua sintética

De acuerdo con los resultados obtenidos en la preparación y el control del agua sintética se observó que no existió una gran variabilidad para la calidad del agua crítica, de acuerdo con lo establecido por la EPA, 1987 quien determinó los valores aceptables para el control de los sistemas de filtración en términos de turbiedad 5 UNT y pH 5 ± 0.2 unidades, para los parámetros de control se obtuvo un promedio de turbiedad de 1.89 UNT y de conductividad de 71.73 mS/cm, se evidenció que los resultados están acordes con lo establecido por la resolución 2115 del 2007. En la Tabla 4 se evidencia los valores obtenidos en la preparación del agua sintética

Tabla 4. Variación de las características fisicoquímicas de los sustratos sintéticos

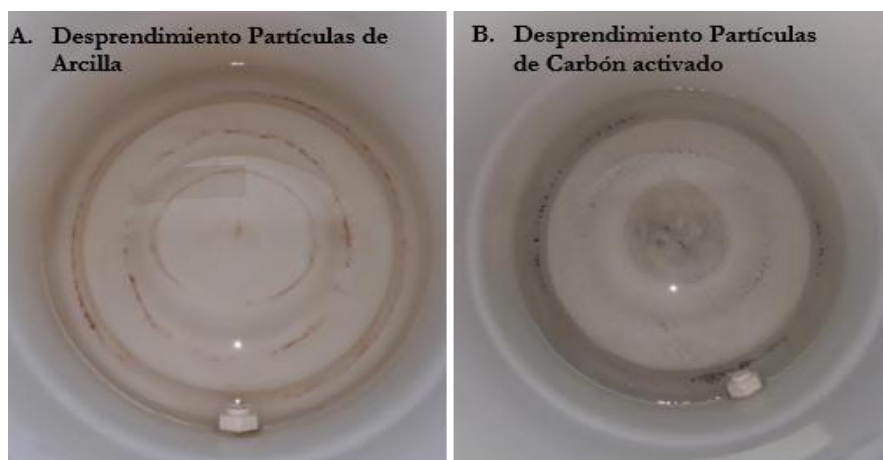
| Tipo de Agua Sintética | Variable | Promedio | DS* | Mínimo | Máximo |
|------------------------|------------------------|----------|--------------|--------|--------|
| AGUA CRÍTICA n= 39 | pH (Unidades) | - | - | 4,81 | 5,25 |
| | Turbiedad UNT | 5,36 | $\pm 1,06$ | 3,71 | 8,11 |
| | Conductividad mS/cm | 176,2 | $\pm 73,437$ | 66,70 | 401 |
| | Plata mg/L | 0,010 | $\pm 0,005$ | <0,010 | 0,020 |
| AGUA STANDARD n = 3 | pH (Unidades) | - | - | 7.17 | 7.8 |
| | Plata mg/L | 0,010 | $\pm 0,01$ | <0,010 | 0,020 |

*DS: Desviación Estándar.

3.2 Operación de los sistemas de filtración

La operación se realizó durante 42 días donde se encontró que en los diferentes sistemas de filtración y para ambas calidades de agua se observaron características físicas al transcurrir la fase de operación. En la figura 2A se evidencia, que al transcurrir los primeros días de operación para ambas calidades de agua se presentó un alto porcentaje de turbiedad, debido a que los filtros eran nuevos, por lo cual al manipular la vasija se desprendía partículas de arcilla; por ello se recomienda hacer mínimo 3 lavados a la vasija antes de consumir el agua con el fin de evitar los desprendimientos de partículas de arcilla (Vidal Henao, 2010). En la Figura 2B se evidencia una fina capa de carbón activado la cual surge como residuo de las primeras semanas de operación, se destaca que pasada la primera semana esta capa disminuyó.

Figura 2. Sedimentos en los Sistemas de Filtración



En la Figura 3 se observa, que a medida que transcurrió el tiempo, las partículas de caolín en la vasija del agua crítica se formaron en sedimentos de color grisáceo, que a medida que al transcurrir el tiempo aumentó.

Figura 3. Sedimento de Caolín

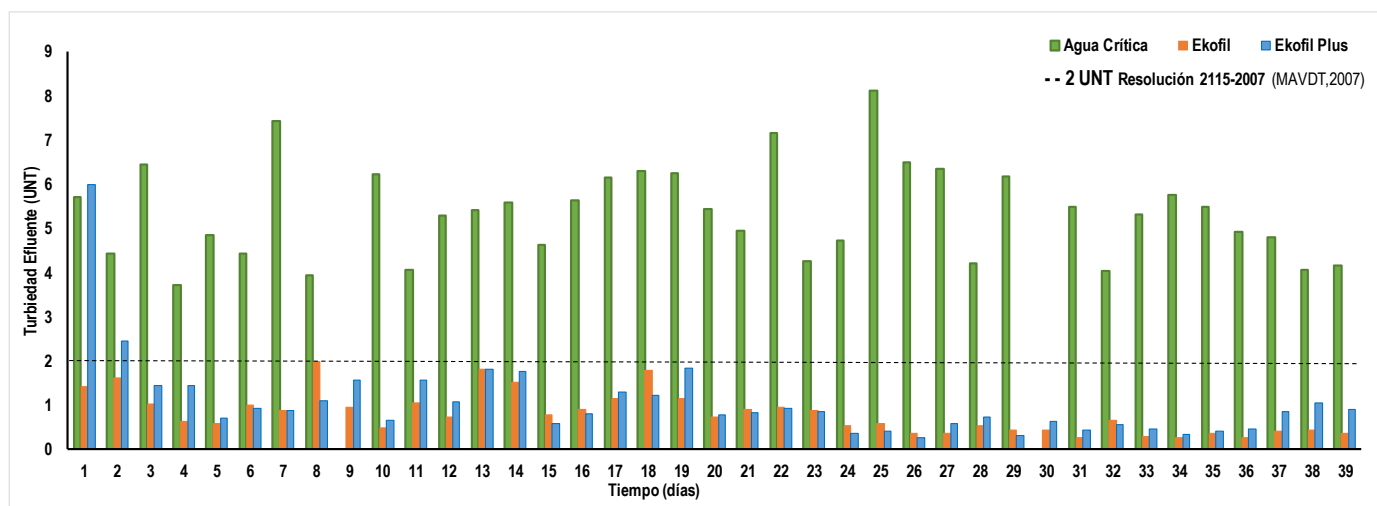


3.3 Evaluación del desempeño de los filtros:

Con respecto al agua standard se obtuvo un aumento en la Turbiedad, ocasionado por el desprendimiento de partículas de arcilla provenientes de la olla de cerámica y partículas de carbón activado, para ambos sistemas de filtración. Los valores de pH estuvieron por los rangos de un máximo de 7.2 unidades para Ekofil y para el Ekofil plus de 6.9 unidades de pH, estando en el rango de 6.5-9 unidades de pH, el cual fue establecido por la normatividad colombiana de calidad de agua. Durante la evaluación del agua standard no se utilizó caolín, permitiendo evidenciar que el rastro grisáceo en el fondo de la olla cerámica desapareciera. Para el parámetro de conductividad, se observó un aumento en el efluente, debido a que la arcilla de las vasijas se comporta como un suelo, el cual aporta sales y material orgánico, dichas sales viajan en el agua a través del filtro, aumentando así el valor de la conductividad (Lerma, 2012) este no superó los 1000($\mu\text{S}/\text{cm}$) que establece la normatividad colombiana para la calidad de agua. Los parámetros estudiados en el agua standard cumplieron con los límites establecidos por la EPA y la resolución 2115 de la calidad de agua colombiana (MAVDT, 2007).

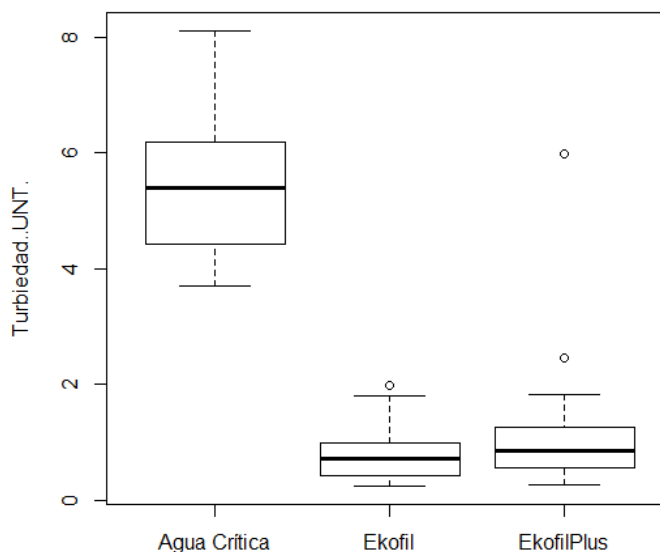
De acuerdo con el sustrato sintético del agua crítica la turbiedad tuvo un comportamiento aceptable, debido a que estuvo por debajo de los límites de 2.0 UNT establecidos por la Resolución 2115 del 2007 (MAVDT, 2007). Para el agua del filtro Ekofil plus, se evidenció un comportamiento similar al que se presentó en el agua standard, el cual durante las primeras semanas hubo un aumento de turbiedad, relacionado con el desprendimiento de partículas de carbón activado. La Figura 4 muestra la variación de los datos de turbiedad del efluente filtrado del agua crítica, cabe resaltar que para los días 9 y 30, no se tomaron mediciones del parámetro turbiedad debido a contratiempos con los equipos de medición.

Figura 4. Variación de la turbiedad en el efluente de los sistemas de filtración



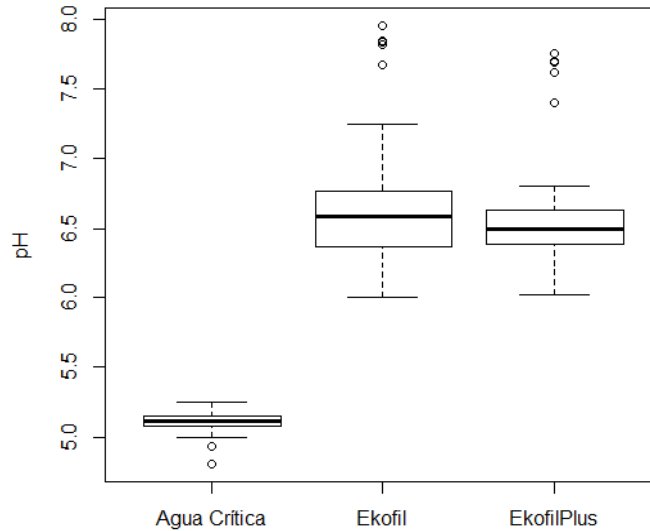
En la figura 5 se observa en el diagrama de cajas y bigotes una disminución significativa de turbiedad en ambos sistemas de filtración, para el filtro Ekofil se obtuvo una reducción de 95.4% y para Ekofil Plus de 95.9%. Se destaca que el efecto ocasionado por el desprendimiento de partículas de arcilla también se evidenció en el estudio realizado por Vidal Henao, 2010, la cual obtuvo para la primera semana valores de 0.55 UNT en el afluente y 1.56 UNT en el efluente. El porcentaje de remoción coinciden con lo reportado por Pérez-Vidal et al., 2016 quien obtuvo 97.6% de remoción en un Filtro de Olla cerámica.

Figura 5. Remoción de la turbiedad en los sistemas de filtración.



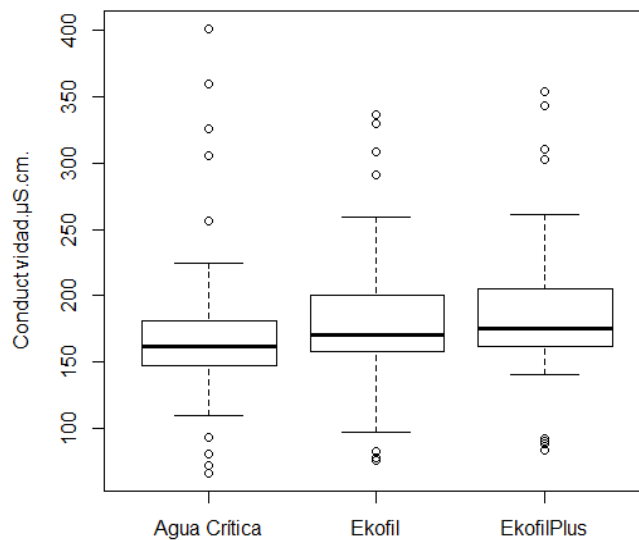
En relación al pH en la Figura 6 para el agua crítica se evidenció un aumento del pH considerable con un máximo de 7.95 unidades para el Ekofil y 7.75 unidades para el Ekofil Plus, comportamiento similar en lo reportado por Lantagne, 2001, Vidal Henao, 2010 y Pérez-Vidal et al., 2016, quienes reportaron un aumento en el efluente con respecto al pH de los filtros, debido a que la base de arcilla está compuesta por sales y material orgánico, estas se disuelven y se convierten en hidróxidos aumentando la concentración de este ion que genera alcalinidad, es decir que el pH aumente (Menéndez, 2006).

Figura 6. Variación del pH en el efluente en el sistema de filtración



Con respecto a la conductividad, la acumulación del sedimento de caolín en las vasijas aumentó la concentración de sólidos totales como se observa en la Figura 7, este se relaciona con las sales que aportó la arcilla en los sistemas de filtración, este fenómeno también fue reportado por Lerma, 2012, en el cual logró un aumento entre 10PPM o 15.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el agua crítica se observó que no hubo remoción del SDT, concordando con Pérez-Vidal et al., 2016. Para ambas calidades de agua en ambos sistemas de filtración lograron mantener el límite permitido por la Resolución 2115 (MAVDT, 2007), que establece un valor máximo de conductividad para el agua potable de 1000($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Figura 7. Variación de la Conductividad en el efluente de los sistemas de filtración



La Tabla 4 muestra la variación obtenida del parámetro Plata en los sistemas de filtración, para las diferentes calidades de agua evidenciando que, en todos los efluentes evaluados, este parámetro siempre fue inferior al límite establecido por la EPA.(0.1 mg/L) Se destaca que la Plata Coloidal es también comercializada con fines terapéuticos y como suplemento alimenticio para enfermedades como diabetes, SIDA, cáncer y varias infecciones (Jeffrey K. McKenna, et al, 2003). En México, el uso de la Plata Coloidal como bactericida, se estableció para controlar el brote de cólera en 1994 y a partir de esa fecha la población está expuesta constantemente de manera crónica a sus efectos, debido a sus recomendaciones y uso considerable para consumo humano; así como en el tratamiento desinfectante de agua, frutas y verduras, esterilizar bebidas embotelladas y desinfectante (Rodríguez, 2010).

Tabla 4. Análisis estadístico de las características del efluente filtrado para ambas calidades del agua.

| Variable | Tipo de Agua Sintética | | Ekofil Plus | Ekofil | Reglamentación nacional e internacionales |
|--------------|------------------------|----------|-------------|--------|---|
| Plata (mg/L) | Agua Crítica n= 39 | Promedio | 0,012 | 0,011 | 0.1 (MADT, 2007; Instituto Uruguayo de Normas Técnicas, 2008) |
| | | DS | 0,007 | 0,007 | |
| | | Mínimo | <0,010 | <0,010 | |
| | | Máximo | 0,030 | 0,030 | |
| | Agua Estándar n=5 | Promedio | 0,01 | 0,02 | 0.05 (Nacional & Venezuela, 2008; Código Alimentario Argentino, n.d; Saúde, 2006) |
| | | DS | ±0.01 | 0.01 | |
| | | Mínimo | 0.01 | 0.01 | |
| | | Máximo | 0.02 | 0.03 | |

n= Número de muestreos.

Argentina: (Codigo Alimentario Argentino, n.d.)

Brasil: (Saúde, 2006)

Uruguay: (Instituto Uruguayo. De Normas Técnicas, 2008)

Venezuela: (Nacional & Venezuela, 2008)

En la resolución 2115, 2007-Art.9,(MAVDT, 2007), sugiere que al utilizar un desinfectante diferente al cloro, para el tratamiento del agua para consumo humano, los valores aceptables para el residual de dicha sustancia, serán los propuestos por la OMS. Cabe resaltar que la OMS no cuenta con un valor permitido de concentración de plata en la guía de calidad de agua para el consumo humano y tampoco se ha evaluado su relación y posible afección a la salud por la exposición a la plata. Se han definido los niveles de plata en el agua que pueden ser consumidos sin afectar la salud, estos niveles generalmente deben estar por debajo de 5 mg/L, en tales casos, se pueden tolerar concentraciones más altas de plata, de hasta 0,1 mg/l (con esta concentración se obtiene una dosis total durante 70 años de la mitad de la dosis sin efecto adverso observado de 10 g para las personas), sin riesgo para la salud.

4. CONCLUSIONES

En la evaluación del sustrato sintético, se evidenció que estuvo acorde al establecido por la EPA, para la elaboración de los estudios, en cuanto a calidad de agua crítica, también cabe resaltar que para el agua standard a pesar de usar agua de la red de acueducto esta se comportó de una manera idónea en el parámetro de pH.

Se evidenció un aumento de la turbiedad de los efluentes ocasionado por el desprendimiento de arcilla de las vasijas y/o carbón activado durante los primeros días, siendo mayor en el filtro Ekofil Plus, con el paso de los días se observó una disminución en la turbiedad, alcanzando remociones en el filtro Ekofil Plus de 95.9% y para el filtro Ekofil hasta del 95.4%. Cabe resaltar que ningún sistema de filtración fue lavado a lo largo de la investigación, por lo cual se recomienda hacer el lavado previo de estos sistemas para así evitar una alta turbiedad.

Con respecto al pH del afluente del agua crítica, en ningún momento superó los límites establecidos por la normatividad colombiana de 6.5-9 unidades de pH, debido al aporte de hidroxilos que generó un aporte de alcalinidad.

La conductividad aumentó con respecto al afluente, debido al comportamiento de la vasija como un suelo, ya que se presume que hubo un aporte de sales que viajan con el agua a través del filtro, aumentando así el valor de solidos totales, en cuanto a solidos totales, ningún sistema bajo las diferentes calidades de agua logro remover este tipo de sólidos.

En los filtros Ekofil y Ekofil plus a pesar de que estos últimos contenían columnas de carbón activado impregnadas de plata, en ambos casos no superaron los límites establecidos por los organismos de control como la EPA de 0.1 mg/L, por lo tanto, en ambos sistemas de filtración no hubo lixiviación de plata con riesgo para la salud.

Comparando la calidad del agua del afluente a los procesos y el agua resultante efluente se puede decir de ambos filtros de olla de cerámica Ekofil y Ekofil Plus, se obtiene agua apta para el consumo humano, debido que la totalidad de los indicadores medidos cumplen con los parámetros de Calidad de Agua establecidos por la EPA y la normatividad colombiana.

5. REFERENCIAS

- APHA/AWWA/WEF. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. *Standard Methods*, 541. <https://doi.org/ISBN 9780875532356>
- ATSDR. (2016). Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades.
- Benito Saínz Menéndez. (2006). Alteraciones del equilibrio ácido básico. *Revista Cubana de Cirugía*, 45. <https://doi.org/10.1007/s10443-017-9614-8>
- Campbell. (2005). Study on Life Span of Ceramic Filter Colloidal Silver Pot Shaped (CSP) Model.
- Código Alimentario Argentino. (n.d.). Normas oficiales para la calidad del agua Argentina, 18284, 1–19.
- Contraloría Departamental del Valle del Cauca. (2019). Contraloría Valle evidenció deficiencias en la gestión ambiental de los municipios.
- Departamento Nacional de Planeación- DNP. (2015). Evolución de las coberturas de los servicios de acueducto y alcantarillado.
- EPA. (1987). Guide standard and protocol for testing microbial water purifiers.
- Hadrup, N., & Lam, H. R. (2014). Oral toxicity of silver ions, silver nanoparticles and colloidal silver - A review. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 68(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2013.11.002>
- Howard, G., & Bartram, J. (2003). Domestic Water Quantity, Service Level and Health. *World Health Organization*, 39. <https://doi.org/10.1128/JB.187.23.8156>
- INSTITUTO URUGUAYO. DE NORMAS TÉCNICAS. (2008). Agua potable – Requisitos.
- Jeffrey K. McKenna, MD, Christopher M. Hull, MD, and J. j. Z. (2003). Argyria associated with colloidal silver supplementation. *The International Journal of Dermatology*, 25(1 p4).
- Lansdown, A. B. G. (2006). Silver in health care: Antimicrobial effects and safety in use. *Current Problems in Dermatology*, 33, 17–34. <https://doi.org/10.1159/000093928>
- Lantagne, D. S. (2001). Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver-Impregnated Ceramic Filter: Intrinsic Effectiveness and Field Performance in Rural Nicaragua. *Filtration*, 1–79.
- Lerma, D. A. (2012). Filtros cerámicos, una alternativa de agua segura, 1–73.
- MAVDT. (2007). Resolución 2115, 1–23.
- Mwabi, J. K., Adeyemo, F. E., Mahlangu, T. O., Mamba, B. B., Brouckaert, B. M., Swartz, C. D., ... Momba, M. N. B. (2011). 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*, 36(14–15), 1120–1128. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.07.078>
- NACIONAL, L. A., & VENEZUELA, D. L. R. B. DE. (2008). Ley De Aguas. *GACETA OFICIAL DE LA REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA*, 1–107.
- OMS & UNICEF. (2007). La Meta De Los Odm Relativa Al Agua Potable Y El Saneamiento: El Reto Del Decenio Para Zonas Urbanas Y Rurales, 48. Retrieved from http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/mdg_es.pdf?ua=1
- OPS. (2005). Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero, 59.
- Peñaranda, N. E. I. (2016). Análisis de Filtros Caseros como Técnica de Potabilización del Agua en el Sector Rural Colombiano. Retrieved from <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/6228>
- Pérez-Vidal, A., Díaz-Gómez, J., Salamanca-Rojas, K. L., & Rojas-Torres, L. Y. (2016). Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y Olla Cerámica. (Spanish). *Evaluation of Drinking-Water Treatment by Lifestraw® and Ceramic-Pot Filters. (English)*, 18(2), 275–289. <https://doi.org/10.15446/rsap.v18n2.48712>
- Rodríguez, E. M. del R. C. et all. (2010). Plata coloidal y salud. *UniverSalud*, 6(12).
- Ruiz, A. S. G. (2018). Tratamiento de Agua Potable por Medio de Filtración en Cerámica con Plata Coloidal (FCPC) en el Acueducto rural Ojo de Agua, municipio de Socha. Retrieved from <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/20829>
- SAÚDE, M. DA. (2006). *VIGILÂNCIA E CONTROLE DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO* (Vol. 91).

- Sobsey, M. D. (2004). Managing Water in the Home: Accelerated Health Gains from Improved Water Supply. *World Health*, 8(11), 1–83. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00820.x>
- Van Halem, D., Heijman, S. G. J., Soppe, A. I. A., Van Dijk, J. C., & Amy, G. L. (2006). Ceramic silver-impregnated pot filters for household drinking water treatment in developing countries: Material characterization and performance study. *Water Science and Technology: Water Supply*, 7(5–6), 9–17. <https://doi.org/10.2166/ws.2007.142>
- Vidal Henao, S. M. (2010). Evaluación de la efectividad del filtro de arcilla y plata coloidal en la potabilización de agua, medida por pruebas fisicoquímicas y microbiológicas. *Repositorio UTP*, 76.
- WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme. (2017). Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene 2017. *World Health Organization*. <https://doi.org/10.1111 / tmi.12329>
- Witt Vicente M; Reiff. Fred M. (1993). Agua, desinfección en zonas urbanas y rurales, 33.
- Zhang, H., & Oyanedel-Craver, V. (2013). Comparison of the bacterial removal performance of silver nanoparticles and a polymer based quaternary amine functionalized silsesquioxane coated point-of-use ceramic water filters. *Journal of Hazardous Materials*, 260, 272–277. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.05.025>