



Evaluación de la eficiencia de dos modelos de filtración de tratamiento doméstico del agua

Leidy-Yohana Rojas-Torres¹

Gabriel-Ricardo Cifuentes-Osorio²

Ximena-Rocío Jiménez-Daza³

Julián-David Prado-García⁴

Fecha de recepción: 22 de octubre de 2021

Fecha de aprobación: 29 de diciembre de 2021

Resumen

La Organización Mundial de la Salud (OMS) propone el tratamiento doméstico del agua como un medio efectivo que contribuye en gran medida al mejoramiento de la calidad del agua en las zonas rurales. El propósito de este estudio fue evaluar la eficiencia de remoción de dos sistemas de tratamiento doméstico del agua que corresponden al filtro de olla cerámica y filtro de vela cerámica bajo dos condiciones de mantenimiento. Se empleó agua natural proveniente del pozo subterráneo de la Universidad de Boyacá. Los parámetros evaluados fueron la turbiedad, coliformes totales, *E.coli*, pH, conductividad, color y la tasa de filtración. El tiempo de evaluación fue de 46 días, cada filtro fue alimentado diariamente con un volumen

¹ M. Sc. Fundación Universitaria Juan de Castellanos (Tunja-Boyacá, Colombia). lyrojas@jdc.edu.co. ORCID: [0000-0001-5798-6403](https://orcid.org/0000-0001-5798-6403)

² P. hD. Universidad de Boyacá (Tunja-Boyacá, Colombia). grcifuentes@uniboyaca.edu.co. ORCID: [0000-0002-5118-0174](https://orcid.org/0000-0002-5118-0174)

³ Universidad de Boyacá (Tunja-Boyacá, Colombia). xrijimenez@uniboyaca.edu.co. ORCID: [0000-0002-1187-3523](https://orcid.org/0000-0002-1187-3523)

⁴ Universidad de Boyacá (Tunja-Boyacá, Colombia). jdprado@uniboyaca.edu.co. ORCID: [0000-0003-3686-5252](https://orcid.org/0000-0003-3686-5252)

de 7,5 l. Los resultados mostraron que en los días de las actividades de limpieza se generaban picos en la turbiedad; los filtros sin mantenimiento mantuvieron un efluente con menores valores de este parámetro con respecto a los sistemas con mantenimiento. Adicionalmente, se comprobó la eficiencia de estos sistemas para la remoción *E.coli*. La variación de la tasa de filtración influye significativamente en el grado de sostenibilidad de los sistemas, siendo el mantenimiento uno de los factores incidentes, por tal razón se recomienda que se debe realizar semanalmente, siendo este un mantenimiento preventivo para evitar la colmatación de los poros en ambos sistemas de filtración.

Palabras clave: abastecimiento de agua; consumo de agua; tratamiento del agua; turbiedad.

Efficiency Evaluation of Two Domestic Water Treatment Filtration Models

Abstract

The World Health Organization (WHO) proposes domestic water treatment as an effective means that contributes greatly to the improvement of water quality in rural areas. The purpose of this study was to evaluate the removal efficiency of two domestic water treatment systems that correspond to the ceramic pot filter and ceramic candle filter under two maintenance conditions. Natural water from the underground well of the University of Boyacá was used, and the evaluated parameters were turbidity, total coliforms, *E. coli* pH, conductivity, color and the filtration rate. The evaluation time was 46 days, each filter was fed daily with a volume of 7.5 L. The results showed that on the days of the cleaning activities, peaks in turbidity were generated; The filters without maintenance had an effluent with lower values of this parameter with respect to the systems with maintenance. Additionally, the efficiency of these systems for the removal of *E. coli* was verified. The variation in the filtration rate significantly influences the degree of sustainability of the systems, with maintenance being one of the incident factors, for this reason it is recommended to be carried out weekly, in order to avoid clogging of the pores in both filtration systems.

Leidy-Yohana Rojas-Torres; Gabriel-Ricardo Cifuentes-Osorio; Ximena-Rocío Jiménez-Daza; Julián-David Prado-García

Keywords: turbidity; water consumption; water supply; water treatment.

Para citar este artículo:

Rojas-Torres, L.-Y., Cifuentes-Osorio, G.-R., Jiménez-Daza, X.-R., Prado-García, J.-D. (2022). Evaluación de la eficiencia de dos modelos de filtración de tratamiento doméstico del agua. *Pensamiento y Acción*, 32, 20-32.

<https://doi.org/10.19053/01201190.n32.2022.13532>

Esta obra está bajo licencia internacional Creative Commons Reconocimiento 4.0



Introducción

Los Objetivos de desarrollo sostenible (ODS) son el plan maestro para conseguir un futuro sostenible para todos; el sexto objetivo busca garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todas las personas. Actualmente hay algunas regiones del mundo que requiere acelerar sus procesos de acceso a agua potable cuatro veces más rápido para cumplir con esta meta al 2030 (UN, 2021). La OMS (2011) propone algunos tratamientos domésticos del agua (TDA), que son considerados medios asequibles y efectivos (Rayner, 2009) contribuyendo en gran medida al mejoramiento de la calidad del agua (Clasen et al., 2015; OMS, 2011).

El uso de los TDA mejora la calidad del agua, lo que reduce la mortalidad y la morbilidad por diarrea infecciosa (Clasen et al., 2006; Rayner, 2009). Entre algunos de estos están, los filtros de olla cerámica (Pérez-Vidal et al., 2016; Lantagne, 2001; Clasen, Brown & Collin, 2006; Clasen et al., 2015) y filtros de vela cerámica (Franz, 2005; Arias, 2017).

El filtro de olla cerámica está conformado por una olla en forma de maceta con capacidad entre 8 y 10 litros y por lo general impregnada con plata coloidal; la olla se ubica en un recipiente plástico en el cual se almacena el agua filtrada (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology [CAWST], 2018). Este sistema de tratamiento es considerado más rentable y ambientalmente sostenible comparado con los sistemas de tratamiento de agua centralizados (Ren, Colosi, & Smith, 2013). El filtro de vela cerámica consta de dos recipientes plásticos; uno sobre otro, de los cuales uno capta el agua turbia y el segundo se almacena el agua tratada, por lo general constan de más de una vela ya que el flujo a través de una sola puede ser lenta la tasa de filtración. Se coloca una tapa en la parte superior del filtro para evitar la contaminación. Este sistema trata el agua y proporciona almacenamiento seguro. Las velas de cerámica se suelen fabricar con arcilla local mezclada con una sustancia inflamable, como aserrín, cáscaras de arroz o de café, al tener un proceso de cocción en un horno, la sustancia inflamable se consume dejando una red de poros finos a través de los cuales puede fluir el agua (CAWST, 2011).

Además de la eficiencia que se reporta en diferentes estudios sobre estos tipos de tratamiento, es importante ahondar en la influencia que tiene la actividad de limpieza que reporta el fabricante con respecto a la que realizan los usuarios. En este contexto, el propósito de esta investigación fue evaluar la eficiencia de remoción de dos modelos de filtros de cerámica en diferentes condiciones de mantenimiento.

Metodología

El estudio se realizó en las instalaciones de la Universidad de Boyacá ubicada en la ciudad de Tunja con una temperatura ambiente promedio de 13 °C. Las fases de la investigación fueron las siguientes; etapa i) caracterización de la fuente de agua y ii) operación y mantenimiento de los sistemas de filtración.

Etapa 1. Caracterización de la fuente de agua.

Para la caracterización de la fuente de agua y el efluente de los sistemas de filtración se definieron las siguientes variables: turbiedad, coliformes totales, *E.coli*, pH, conductividad color y tasa de filtración. La metodología implementada para la medición de cada una de las variables fue tomada del Standard Methods como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables de seguimiento de la operación de los sistemas de filtración.

Variable	Unidades	A/E *	Método**
Variables de respuesta			
Coliformes totales	UFC/100mL	A/E	Filtración por membrana Ref:9222B
<i>E.coli</i>	UFC/100mL	A/E	Filtración por membrana Ref:9222B
Turbiedad	UNT	A/E	Nefelometría Ref:2130B
pH	Unidades	A/E	Electrométrico Ref:4500-H+B
Conductividad	µS/cm	A/E	Electrométrico Ref:2510B
Color	UPC	A/E	Espectrofotometría Ref:2120F.
Tasa de filtración	L/hora	E	Volumétrico



Fuente: Adaptado de Pérez y Díaz (2014), *Efluente/Afluente,** Según metodología del Standard Methods.

Etapa 2. Operación y mantenimiento de los sistemas de filtración

El tiempo de operación fue de 46 días, donde se evaluaron dos modelos de filtros de cerámica, cada uno por duplicado, los cuales fueron operados uno con

mantenimiento (CM) y el otro sin mantenimiento (SM), como se muestra en la ver Tabla 2. En los sistemas CM la limpieza se realizó semanalmente siendo el tiempo establecido por los fabricantes. El volumen diario de agua para cada sistema fue de 7.5 l ya que es el requerimiento mínimo de agua para el consumo humano y preparación de alimentos por persona (Howard & Bartram, 2003).

Tabla 2. Descripción de los sistemas de filtración.

Sistema de tratamiento	Imagen	Descripción	Condición de operación
Filtro de olla cerámica		Consta de un elemento filtrante y un recipiente de almacenamiento.	EK – CM
			EK – SM
Filtro de velacerámica		Consta de dos recipientes, uno sobre el otro. En el balde superior se instalan las velas cerámicas marca Stefany ®	VC – CM
			VC - SM

A continuación se describen las actividades limpieza para cada modelo evaluado: i) Filtro de olla cerámica: se retiró el elemento filtrante luego fue lavado con un cepillo en movimientos circulares en las paredes internas y externas para remover el material acumulado en los poros, en cuanto al recipiente de almacenamiento se lavó con abundante agua sin jabón. ii) Filtro de dos velas creámicas: constó en desarmar los dos baldes y lavarlos con abundante agua, así mismo las velas fueron lavadas con suaves masajes para retirar el material adherido a la superficie.

Resultados

A continuación se describen los principales resultados de las etapas de evaluación del estudio.

Etapa 1. Caracterización de la fuente de agua

En la Tabla 3 se muestran los resultados de la caracterización del agua subterránea como afluente de los sistemas de filtración, durante el tiempo de operación.

Tabla 32. Variación de las características físico-químicas y microbiológicas del afluente.

Variable	Unidades	Promedio	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
Turbiedad	UNT	0,743	0,375	0,033	1,95
pH	-	5,610	0,478	5,21	7,36
Conductividad	μS/cm	102,971	6,038	89	127
Color	UPC	5,353	3,515	0	12
Temperatura	°C	16,903	0,847	15,1	18,9
Coliformes Totales	UFC / 100 ml	3,3 E+04	*8,2 E+01 -1.5 E+05		
<i>E.coli</i>	UFC / 100 ml	3,03E+03	*2,0 E+00 – 1.0 E+04		

*Rango de variación

Etapa 2. Operación y mantenimiento de los sistemas de filtración

Para la variable de turbiedad, se obtuvieron los siguientes datos, la Figura 1 describe el comportamiento de la turbiedad en el efluente de los sistemas evaluados. El sistema de filtración de olla cerámica reportó para EK-CM 0.36 ± 0.27 UNT y para EK-SM 0.35 ± 0.35 UNT. Para el filtro de vela cerámica VC - CM $0,35 \pm 0,19$ y VC – SM $0,26 \pm 0,16$ UNT.

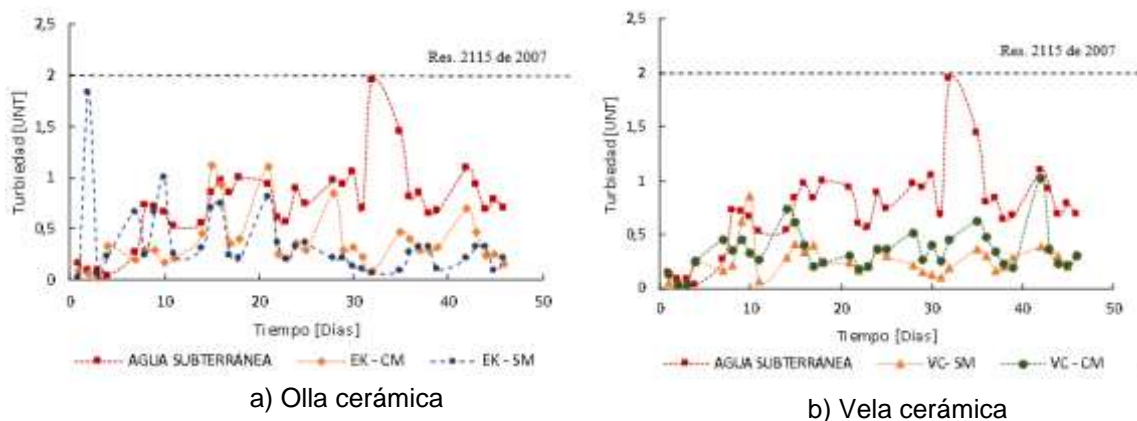


Figura 1. Comportamiento de la turbiedad en el efluente de los sistemas de filtración.

Para las variables microbiológicas evaluadas, los resultados de la eficiencia de remoción se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Eficiencia de remoción microbiológica.

	EK		VC	
	CM	SM	CM	SM
Coliformes totales	99.82%	89.82%	91.78%	97.4%
E.coli	100%	96%	100%	100%

En la Tabla 5 se sintetizan los resultados obtenidos en el efluente de los sistemas de filtración con respecto a pH, conductividad y color.

Tabla 5. Variables de control.

Parámetro	Variable	Filtro de Olla Cerámica		Filtro de vela la Cerámica		Máximo admisible**
		VC-CM	VC-SM	EK-CM	EK-SM	
pH	Promedio	6,98	6,80	8,49	8,58	6.5 – 9.0
	DS	0,43	0,45	0,47	0,29	
	Mínimo	6,07	5,8	7,33	8,05	
	Máximo	7,640	7,72	9,33	9,37	
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	Promedio	113,35	108,82	151,41	136,18	1000
	DS	9,54	8,78	13,85	19,35	
	Mínimo	91,0	90,0	138,0	106,0	
	Máximo	139,0	135,0	206,0	205,0	
Color (UPC)	Promedio	2,62	1,71	2,77	2,18	15
	DS	3,29	2,54	3,56	2,56	
	Mínimo	0,0	0,0	0,0	0,0	
	Máximo	12,0	9,0	12,0	10,0	

** 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

Discusión y conclusiones

La Figura 1 evidencia que en CV-CM y EK-CM se obtuvieron los valores más altos en cuanto a la turbiedad. Con respecto a los sistemas VC-SM y EK-SM mantuvieron los valores más bajos; los picos generados en las gráficas están relacionados a los días en los que se le realizaba mantenimiento; por lo tanto el mantenimiento en los dos sistemas cerámicos genera desprendimiento del material del cual está constituido promoviendo aumento de turbiedad al agua filtrada.

De acuerdo con las eficiencias arrojadas se evidencia que en los sistemas de filtración sin mantenimiento obtuvieron una mejor calidad del efluente; lo que indica que el mantenimiento causa desprendimiento de material y disolución de las

partículas por las que están constituidos cada sistema de filtración y con el tiempo esta actividad puede ser causante del deterioro del mismo., sin embargo los valores no superaron el máximo permitido por la normatividad colombiana. De otra parte se reportaron efluentes de turbiedad similares a los reportados por Salvinelli & Elmore (2015) cuya turbiedad afluente fue de 0.66 ± 0.43 y afluente de 0.23 ± 0.07 UNT, al manejar turbiedades bajas en el efluente se asegura una calidad aceptable en el afluente y se prolonga la vida útil del sistema al no someterse a limpieza.

La norma internacional de los Estados Unidos USEPA señala que un sistema de filtración debe ofrecer un efluente con una turbiedad menor a 1.0 UNT para reducir el riesgo microbiológico. Se observó que los dos sistemas de filtración de vela cerámica cumplieron con este criterio en un 100 % del tiempo de evaluación mientras que el filtro de olla cerámica cumplió con el 95% de los datos, evidenciando su menor eficiencia para remover turbiedad. De la misma manera Heller et al. (2004) recomiendan valores bajos de turbiedad en el agua filtrada (< 0.3 UNT) para reducir el riesgo microbiológico por presencia de *Giardia* y *Cryptosporidium* y así favorecer la eliminación de bacterias y virus en un posterior proceso de desinfección. En este sentido durante el estudio se observó que los sistemas de filtración casera a los que no se les realizaba mantenimiento no superaron el valor de 0,3 NTU.

Con respecto al filtro de olla cerámica su elaboración es artesanal y para garantizar una remoción del 90-100% de *E.coli*, depende del tamaño del poro; este debe oscilar entre 0,6 y 3.0 micrones, esta variación está relacionada con la proporción y mezcla de la arcilla con el aserrín al momento de su fabricación. Además, la inactivación de los coliformes está relacionada con la presencia de plata coloidal, resaltando que el tiempo de almacenamiento en el recipiente es el parámetro dominante para llegar a la inactivación de los coliformes por plata coloidal y no el tiempo de contacto durante la fase de filtración, en esta investigación se reportaron la inactivación total de *E.coli* y en coniformes totales se tuvo una eliminación parcial, dichos resultados son similares a los reportados en el último informe de ceramista por la paz (Lantagne, 2001b).

La remoción de bacterias en el filtro de vela cerámica se debe a que el proceso de fabricación de la vela es estandarizado, aunque las eficiencias no dependen solo

del proceso de fabricación, existe otra variable determinante para la eficiencia y es el proceso de ensamble de las velas con los baldes, debido a que al realizar de forma incorrecta se puede filtrar agua, causando contaminación en el efluente.

En el estudio de Mwabi et al. (2011), quienes evaluaron sistemas de filtración de olla y velas cerámicas usando un sustrato sintético con una turbiedad promedio de 89.2 UNT y $1E+05$ UFC/100 ml de *E.coli*, se lograron eficiencias similares a las obtenidas en esta investigación, alcanzando remociones de turbiedad entre 94 y 95 % y eficiencias de remoción de *E.coli* de tres unidades logarítmicas en ambos filtros (99 y 98% respectivamente). Adicionalmente, durante el tiempo de operación en el filtro VC-SM se observó el crecimiento de biopelícula (Figura 2), lo que se podría atribuir a la ausencia de mantenimiento y también la presencia de diferentes microorganismos presentes en la fuente natural utilizada.



Figura 2. Crecimiento de biopelícula en las velas cerámicas.

El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad del agua, esto depende de la cantidad de iones libres de hidrogeno, por lo tanto las muestras filtradas por los sistemas se mantuvieron dentro de los valores permisibles de la normatividad nacional vigente (6.5 - 9). La conductividad está relacionada con la presencia de sales en el agua, cuya disociación genera iones positivos y negativos capaces de transportar energía eléctrica, si se somete el líquido a un campo eléctrico. El valor máximo aceptable para la conductividad es de $1000 \mu\text{S}/\text{cm}$. En cuanto al parámetro del color en los sistemas de filtración nunca sobrepasó el límite máximo permisible

establecido de 15 UPC, en los cuatro sistemas de filtración, sin embargo los valores más elevados se observaron en los días de mantenimiento.

La tasa de filtración en los sistemas de filtración sin mantenimiento durante las primeras 24 horas se redujo en 6 l para EK-SM y 7,2 l para VC-SM, incumpliendo con el requerimiento mínimo sugerido por la OMS de 7,5 l por persona.

Los filtros de vela cerámica tuvieron una tasa de filtración de $2,99 \pm 0,93$ L/h con mantenimiento y $1,57 \pm 1,75$ l/h sin mantenimiento, de la misma manera los filtros de olla cerámica reportaron una tasa de filtración de $2,80 \pm 0,84$ l/h con mantenimiento y $0,66 \pm 0,30$ l/h sin mantenimiento. Se destaca que en los sistemas de filtración a los que no se les realizó mantenimiento se ve disminuida la tasa de filtración a los que no se les realizó mantenimiento se ve disminuida la tasa de filtración en 1,42 l/h en las velas cerámicas y en un 2,14 l/h en las ollas cerámicas.

El filtro de vela cerámica ofrece una tasa de filtración mayor con respecto al filtro de olla cerámica lo que asegura mayor volumen de agua filtrada diariamente, brindando mayor disponibilidad de agua en términos de cantidad. Sin embargo, se resalta que el filtro olla cerámica garantiza el requerimiento mínimo para un individuo (7,5 l), con relación a las actividades de mantenimiento, cada uno de los sistemas de filtración presentó diferencias que influyeron directamente en la eficiencia de los sistemas.

La variación de la tasa de filtración influye significativamente en el grado de sostenibilidad de los sistemas. Siendo el mantenimiento uno de los factores incidentes, por tal razón se recomienda que se debe realizar semanalmente, siendo este un mantenimiento preventivo para evitar la colmatación de los poros en ambos sistemas de filtración, por la presencia de los sólidos disueltos totales presentes en el agua a filtrar, debido a que se mostró un desmejoramiento de la cantidad del agua filtrada.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a Oxafm contra el hambre y a Ekofil®.

Referencias

- Arias-Lugo, J. L. (2017). *Evaluación de alternativas de potabilización a bajo costo en comunidaes palafíticas en el caribe norte colombiano* [Tesis de grado]. Universidad del Norte, Colombia
- CAWST. (2011). *Introducción al tratamiento del agua a nivel domiciliario y su almacenamiento seguro*.

Pensamiento y Acción, Tunja (Boyacá-Colombia) - No. 32. Enero – Junio 2022.

ISSN 0120-1190 -eISSN 2619-3353

DOI: <https://doi.org/10.19053/01201190.n32.2022.13532>

- www.cawst.org
- CAWST. (2018). *Ceramic Pot Filter*. <https://www.hwts.info/products-technologies/d25e3821/ceramic-pot-filter/technical-information>
- Clasen, T. F., Alexander, K. T., Sinclair, D., Boisson, S., Peletz, R., Chang, H. H., Majorin, F., Cairncross, S. (2015). Interventions to improve water quality for preventing diarrhoea. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 10, CD004794. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004794.pub3>
- Clasen, T. F., Brown, J., Collin, S. M. (2006). Preventing diarrhoea with household ceramic water filters: Assessment of a pilot project in Bolivia. *International Journal of Environmental Health Research*, 16(3), 231–239. <https://doi.org/10.1080/09603120600641474>
- Franz, A. (2005). *A performance study of ceramix candle filters in Kenya including tests for coliphage removal*. Massachusetts institute of technology
- Heller, L., Kopschitz Xavier Bastos, R., Berenice Cardoso Martins Vieira, M., Dias Bevilacqua, P., Maria Marinho Mota, S., Aguiar Oliveira, A., Maria Machado, P., Pedrosa Salvador, D. (2004). Oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 13(2), 79-92
- Howard, G., Bartram, J. (2003). *Domestic water quantity service level and health*. World Health Organization. https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/WSH03.02.pdf?ua=1
- Lantagne, D. S. (2001a). *Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver Impregnated Ceramic Filter Report 1: Intrinsic Effectiveness*
- Lantagne, D. S. (2001b). *Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver Impregnated Ceramic Filter Report 2: Field Investigations*. <http://potterswithoutborders.com/wp-content/uploads/2011/06/alethia-report-2.pdf>
- Mwabi, J., Adeyemo, F. E., Mahlangu, T. O., Mamba, B. B., Brouckaert, B. M., Swartz, C. D., Offringa, G., Mpenyana-Monyatsi, L., 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>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2011). *Evaluación de métodos para el tratamiento doméstico del agua*. www.who.int
- Pérez-Vidal, A., Díaz-Gómez, J., Castellanos-Rozo, J., Usaquen-Perilla, O. L. (2016). Long-term evaluation of the performance of four point-of-use water filters. *Water Research*, 98, 176–182. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.04.016>
- Rayner, J. (2009). *Current Practices in Manufacturing of Ceramic Pot Filters for Water Treatment*. https://www.pseau.org/outils/ouvrages/wedc_current_practices_in_manufacturing_locally_made_ceramic_pot_filters_2009.pdf
- Ren, D., Colosi, L. M., Smith, J. A. (2013). Evaluating the sustainability of ceramic filters for point-of-use drinking water treatment. *Environmental Science and Technology*, 47(19), 11206–11213. <https://doi.org/10.1021/es4026084>
- Salvinelli, C., Elmore, A. C. (2015). Assessment of the impact of water parameters on the flow rate of ceramic pot filters in a long-term experiment. *Water Science and Technology: Water Supply*, 15(6), 1425–1432. <https://doi.org/10.2166/ws.2015.107>
- United Nations [UN]. (2021). *SDG6 update: the world is off-track*. <https://www.unwater.org/sdg6-update-the-world-is-off-track/>