

# UTEPSA INVESTIGA

Revista Semestral de Divulgación Científica



Número 6 - Año 2021  
ISSN 2523-9635

[www.utepsa.edu](http://www.utepsa.edu)

 **UTEPSA**  
ONLINE

# PROPUESTA DE EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DEL AGUA A NIVEL DOMICILIARIO (TDA) EN FILTROS DE OLLA CERÁMICA

## ARTÍCULO

Recibido: 15/06/2021 / Revisado: 15/07/2021 / Aceptado: 30/08/2021

Por:

Leidy Yohana Rojas Torres  
Olga Lucía Usanquén Perilla

Grupo de Investigación Gestión de Recursos Hídricos  
Universidad de Boyacá, Colombia  
lyrojas@uniboyaca.edu.co  
olusaquen@uniboyaca.edu.co

## ABSTRACT

### Water Treatment Point-Of-Use Systems Evaluation Proposal In Ceramic Pot Filters

**W**ater treatment at the household level is a necessity in rural areas or as access to centralized collection systems, but at the same time, it requires clear criteria that allow the selection and therefore the adjustment of the devices before potentiation. This article presents an evaluation methodology for ceramic filters aimed at defining key aspects for manufacturers and users of the technology, as well as the segregation and control of variables as turbidity and filtration rate. The study made it possible to obtain an evaluation protocol, which gather the lessons learned to the research: Proposed methodology to evaluate turbidity in ceramic pot filters, as well as manufacturer's quality control. The methodology provides guidance to define the operating and maintenance conditions, more favorably for the quality and quantity objectives that users and the decision maker require to participate

in the water treatment processes at the point of use and in its evaluation.

**Keywords:** Turbidity, filtration rate, household water treatment, technology assessment

## RESUMEN

El tratamiento del agua a nivel domiciliario es una necesidad en zonas rurales o sin acceso a sistemas centralizados de abastecimiento, por lo tanto, se requiere contar con criterios claros que permitan la selección y uso adecuado de los dispositivos para potabilización del agua. En el presente artículo se presenta una propuesta metodológica de evaluación de filtros de olla cerámica orientada a la definición de aspectos clave para los fabricantes y usuarios de la tecnología, a partir de variables de fácil seguimiento y control como la turbiedad y la tasa de filtración. El estudio permitió obtener un protocolo de evaluación, que recopila las lecciones aprendidas en la investigación: Propuesta metodológica para la

evaluación de turbiedad en filtros de olla cerámica, como apoyo al control de calidad del fabricante, y ofrece una guía para definir las condiciones de operación y mantenimiento de los dispositivos de tratamiento, más favorables para los propósitos de calidad y cantidad que demandan los usuarios y demás tomadores de decisiones, que participan en los procesos de tratamiento de agua en el punto de uso y en la evaluación de este tipo de tecnologías.

**Palabras clave:** Turbiedad, tasa de filtración, tratamiento del agua a nivel domiciliario, evaluación de tecnología

## 1. Introducción

A nivel mundial al menos 2 mil millones de personas usan una fuente de agua para consumo contaminada con heces, lo cual puede transmitir enfermedades como diarrea, cólera, disentería, fiebre tifoidea y poliomielitis. Anualmente, un agua segura podría prevenir 1,4 millones de muertes infantiles por diarrea (World Health Organization [WHO], 2020).

En Colombia se emplea como instrumento de vigilancia de la calidad del agua para consumo humano el índice IRCA (Índice de Riesgo de la Calidad del Agua para consumo humano) el cual se encuentra regulado por la Resolución 2115 de 2007 (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2007). Para el año 2016 en la zona urbana se reportaron valores IRCA de 8,6% (riesgo bajo) y en la zona rural del 34,7% (riesgo medio). En la zona rural de 11 departamentos fueron clasificados con riesgo de calidad de agua inviable sanitariamente, siendo los departamentos de Boyacá, Meta y Norte de Santander, los de mayor número de municipios afectados (Ministerio de Salud y Protección Social [MinSalud], 2018). Además de acuerdo con cifras del Departamento Nacional de Estadística DANE (2017), para este mismo año cerca del 97,7% de la población urbana contaba con cobertura de acueducto, mientras que en la zona rural el porcentaje fue menor con el 74.2%.

Lo descrito anteriormente, evidencia el rezago de calidad y cobertura del servicio de agua potable entre la zona urbana y rural del país. Este panorama muestra una existente necesidad de evaluar TDA (Tratamientos Domésticos del Agua). Este panorama muestra una existente necesidad de contar con alternativas que permitan ofrecer agua en cantidad y calidad suficiente para las familias y comunidades rurales (Mwabi et al., 2012).

La Organización Mundial de la Salud [OMS], (2011) propone algunos TDA, que son considerados medios asequibles y efectivos (Rayner, 2009) contribuyendo en gran medida al mejoramiento de la calidad del agua bajo tres condiciones: i) situaciones de emergencia, ii) comunidades rurales dispersas iii) y comunidades que a pesar de contar con agua de red de distribución de agua potable, desean dar un valor agregado en seguridad al agua de consumo (Clasen et al., 2015; OMS, 2011), mejorando la calidad del agua en el hogar, lo que reduce la mortalidad y la morbilidad por diarrea infecciosa (T. F. Clasen et al., 2006; Rayner, 2009), entre otras enfermedades asociadas con el consumo de agua.

Los sistemas de filtración representan una tecnología de tratamiento de agua doméstica común y efectiva en los países en desarrollo, (Carlo Salvinelli et al., 2016). Entre los TDA se encuentran los biofiltros de arena (Sizirici, 2018; Faria Maciel & Sabogal-Paz, 2018), filtros de vela cerámica (Franz, 2005; Arias, 2017), membrana (T. Clasen, Naranjo, Frauchiger, & Gerba, 2009; Pérez-Vidal, et al., 2016), olla cerámica (Pérez-Vidal, et al., 2016; Lantagne, 2001; Clasen, Brown & Collin, 2006; Clasen et al., 2015).

Los filtros de olla cerámica son fabricados con recursos disponibles localmente como la arcilla y la cáscara de arroz (Soppe, 2015) y han mostrado resultados prometedores para mejorar la calidad microbiológica del agua en el hogar. Estos dispositivos están conformados por una olla en forma de maceta con capacidad entre 8 y 10 litros, 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).

Existen a nivel mundial, al menos 35 fábricas de filtros que operan en 18 países (Rayner, 2009), sin embargo, varios sistemas se encuentran en fase experimental o de consolidación de sus procesos de fabricación, por lo tanto, el control de calidad en la producción descentralizada sigue sin abordarse suficientemente (Rayner, 2009) y los límites de operación de algunos sistemas de filtración en etapa pre-comercial o disponibles en el mercado aún no han sido evaluados.

La turbiedad de la fuente de agua es el principal indicador para caracterizar la vida útil de un filtro en términos de capacidad de producción de agua (C. Salvinelli & Elmore, 2015), en sí misma no siempre representa un riesgo directo para la salud pública; sin embargo, puede indicar la presencia de microorganismos patógenos (World Health Organization [WHO], 2017) y puede considerarse una variable clave de control operativo.

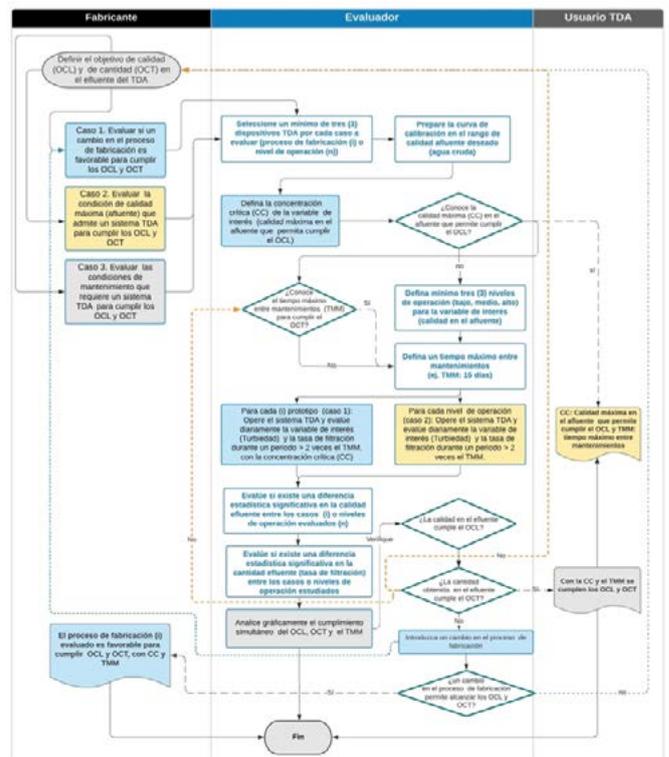
Un estudio realizado por Salvinelli, Elmore, Reidmeyer, Drake, & Ahmad, (2016) durante 23 días con cuatro escenarios de turbiedades diferentes, concluyó que existe una relación entre la tasa de filtración y la turbiedad, la cual sigue una tendencia lineal negativa con una tasa decreciente. En consecuencia, la turbiedad y la tasa de filtración serán consideradas en el presente estudio, como variables de referencia para proponer un protocolo de evaluación de sistemas de filtración de olla cerámica, que oriente a los fabricantes en la identificación o validación de las condiciones de operación y mantenimiento de la tecnología y en la evaluación de sus procesos de fabricación.

## 2. Metodología

El protocolo de evaluación de sistemas de filtración de olla cerámica, surge de un estudio a nivel de maestría orientado a la evaluación de dos modelos de olla cerámica de fabricación nacional. El proyecto de investigación se desarrolló en el laboratorio de Investigación de la Universidad de Boyacá (Tunja – Boyacá) ubicada a 2787 msnm, con una temperatura promedio de 12.8°C.

En la Figura 1 se presenta la propuesta de evaluación de TDA en tres casos de aplicación: i) evaluación del proceso de fabricación o de los cambios introducidos en diferentes prototipos de TDA; ii) evaluación de la calidad máxima afluente que admite un dispositivo para TDA, previa definición de los objetivos de calidad (OCL) y cantidad (OCT) que se desea ofrecer al usuario final; y, iii) evaluación o verificación de los protocolos de operación o mantenimiento definidos por el fabricante.

**Figura 1. Proceso de evaluación de dispositivos para el tratamiento doméstico del agua (TDA).**



Fuente: Elaboración propia.

Las fases propuestas en el protocolo de evaluación son las siguientes: I) selección de los dispositivos a evaluar, II) preparación del agua cruda y de la curva de calibración, III) evaluación del TDA (filtro de olla cerámica) para cada prototipo o caso de interés.

Para ilustrar la propuesta metodológica se describen a continuación las fases propuestas y en los resultados del artículo se presentan ejemplos de aplicación del protocolo para un sistema de fabricación nacional.

### **Fase I. Selección de los dispositivos a evaluar**

La selección del número de dispositivos a evaluar en cada prototipo o caso de interés obedece al diseño experimental, al nivel de confianza del estudio y a la variabilidad de los resultados encontrados históricamente en la evaluación de la tecnología en particular. En este protocolo se propone seleccionar como mínimo tres (3) dispositivos por lote o modelo a evaluar.

### **Fase II. Preparación del agua cruda y de la curva de calibración**

Teniendo en cuenta que la turbiedad puede afectar la calidad microbiológica del agua (Bilotta & Brazier, 2008) en esta investigación se seleccionó esta variable para el desarrollo de la propuesta metodológica de evaluación de filtros y como variable clave de control operativo. El rango de preparación de la curva de calibración depende de la calidad máxima afluente en la cual se desea evaluar las condiciones de operación del TDA. Esta propuesta selecciona 3 rangos de turbiedad basados en los siguientes criterios:

#### **Nivel bajo**

Valores de turbiedad inferiores a 5 UNT, valor a partir del cual son visibles las partículas al ojo humano (Myre, Shaw, & Candidates, 2006; OMS, 2018; OMS, 2011).

#### **Nivel medio**

Valores de turbiedad cercanos a 30 UNT; condición evaluada por diferentes estudios (Adeyemo et al., 2014; Rivera-Sánchez et al., 2020; Carlo Salvinelli et al., 2016) y considerada como condición crítica por la EPA (Environmental Protection Agency [EPA], 1987).

#### **Nivel alto**

Valores de turbiedad cercanos a 50 UNT; valor máximo recomendado para el tratamiento del agua a través de sistemas de filtración de olla cerámica CAWST, (2018) y evaluado como valor máximo en algunas investigaciones (Lantagne, 2001b; J. K. Mwabi et al., 2011).

### **Curva de calibración**

La curva de calibración se prepara a partir de los materiales disponibles localmente, los cuales se caracterizan incluyendo como mínimo el tamaño de las partículas y su distribución granulométrica. En este estudio, para el ajuste de la turbiedad se utilizó caolín (arcilla natural) y para analizar la distribución de partículas de la muestra seleccionada se realizó un análisis por hidrómetro siguiendo la metodología I.N.V.I.E 124 – 7 de Instituto Nacional de Vías (INVIAS).

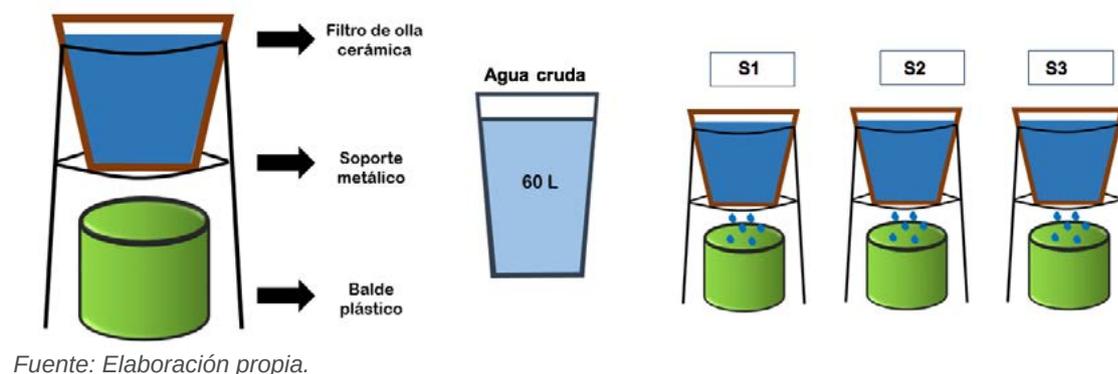
Para la elaboración de la curva de calibración (dosis vs turbiedad) se seleccionaron 6 concentraciones equidistantes, para asegurar una mínima variabilidad e intervalo lineal (María A. & Marcos, 2008). La preparación de la muestra para cada punto de la curva, consistió en diluir la dosis de caolín obtenida en la curva de calibración en un litro de agua de grifo y someter a agitación a 1400 RPM en un equipo Thermo Scientific CIMAREC+ durante 15 minutos, asegurando homogeneidad de la muestra. Luego se midió por triplicado la turbiedad de cada testigo, con un turbidímetro HACH 2100Q (L.D: 0,01 NTU). A partir de la medición de la turbiedad se calculó el Coeficiente de variación y el coeficiente de

correlación, como criterios de validez de la curva.

### Fase III. evaluación del TDA (filtro de olla cerámica) para cada prototipo o caso de interés

Los modelos de filtros se evalúan por triplicado. En la figura 2 se muestra la configuración del montaje para el desarrollo del proceso de evaluación.

**Figura 2. Filtros de olla cerámica evaluados por triplicado (sistemas: S1, S2, S3) y montaje usado en la evaluación.**



Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 1 describe las características mínimas que deben ser reportadas por los fabricantes para la evaluación del dispositivo para TDA. El montaje del experimento se realiza teniendo en cuenta, los objetivos de la evaluación, los objetivos de calidad (OCL) y cantidad (OCT) y los protocolos propuestos por el fabricante para la operación y el mantenimiento de los dispositivos o prototipos.

**Tabla 1. Características del dispositivo proporcionadas por los fabricantes para el proceso de evaluación.**

Descripción	Observación
Descripción del dispositivo TDA	Descripción general del dispositivo, componentes, composición del elemento filtrante, diámetro del poro, del proceso de fabricación de origen y código o referencia interna del modelo a evaluar.
Objetivo de calidad (OCL)	Calidad deseable en el efluente del dispositivo para la variable de interés
Capacidad de la unidad de almacenamiento	Volumen de almacenamiento de agua en los componentes del dispositivo
Objetivo de cantidad (OCT)	Tasa de filtración (L/h) o caudal efluente deseable en el dispositivo a evaluar (OCT); puede ser establecido en función del número de beneficiarios del sistema, la dotación mínima requerida y las limitaciones propias de la tecnología.
Protocolo de operación y mantenimiento	Descripción de las condiciones y procedimientos para la instalación, operación y mantenimiento del dispositivo propuestos por el fabricante.
Duración del componente de filtración	Recomendaciones de periodicidad de cambio de los elementos consumibles o componentes del sistema de filtración.

Fuente: Elaboración propia.

Las variables de seguimiento de mayor importancia para el proyecto corresponden a la tasa de filtración y la turbiedad, a continuación, se describe la periodicidad mínima recomendada y las condiciones de toma\* de las mediciones en el presente estudio.

**Tabla 2. Variables de seguimiento de la operación de los sistemas de filtración**

Variable	Unidades	Frecuencia	Afluente / efluente	Método*	Equipo
Tasa de filtración	L/hora	2 veces al día	E	Volumétrico	-
Turbiedad	UNT	2 veces al día	A/E	Nefelométrico – 2130B	HACH 2100Q
A/E: Afluente/Efluente					

Fuente: *Elaboración propia.*

El volumen diario de agua cruda preparado fue de 60 L/día, considerando que cada filtro trató cerca de 20 litros al día (OCT: 0.83L/h), teniendo como referente el requerimiento mínimo de agua para el consumo humano que necesita un hogar (OMS, 2011). Como objetivo de evaluación (caso 2, figura 1), se propone identificar la calidad máxima admisible en el dispositivo para garantizar durante al menos el 95% del tiempo una turbiedad en el efluente (OCL) de hasta 1.0 NTU (límite máximo de turbiedad en agua para consumo humano (WHO, 2017)).

Los sistemas de filtración se operaron en modo discontinuo, durante 82 días cambiando la turbiedad del agua cruda cada 4 semanas. La operación de los sistemas se inició con el nivel de turbiedad bajo (5 UNT). Posteriormente se aumentó al nivel medio (30 UNT) y finalmente al nivel alto (50 UNT).

La limpieza de los sistemas de filtración se realizaba cada dos semanas (tiempo máximo entre mantenimientos: TMM) cuando la tasa de filtración disminuía; el procedimiento consistía en retirar la olla cerámica del soporte metálico y trasladarlo hasta el grifo. Para garantizar la remoción de partículas de caolín adheridas a las paredes internas del filtro (olla), se usó el agua filtrada llenando el filtro hasta una tercera parte de su capacidad total y con

ayuda de un cepillo comercial de cerdas suaves se realizaban masajes circulares por las paredes de la olla, finalmente se enjuagaba la olla con agua de grifo, retirando el exceso de partículas de cerámica, tanto en la parte interna como externa.

### 3. Resultados

#### Preparación del Agua Cruda

La caracterización granulométrica realizada a la muestra de caolín, indica que el 94.73% de las partículas de caolín tienen un diámetro inferior a 35  $\mu\text{m}$  y 29.60 % de la partículas presentan diámetros menores a 1  $\mu\text{m}$ . En este rango de tamaño (35 a 1  $\mu\text{m}$ ) se encuentran algunas bacterias, algas, quistes, lodo, arcillas y fibras (AWWARF, LdE y WRC, 1998). En la investigación desarrollada por Bielefeldt et al., (2010) se realizó un ajuste del agua cruda a partir de microesferas fluorescentes de poliestireno recubiertas de carboxilato y arcilla mostrando que el rango de tamaño de partículas, oscilaron en un diámetro de 0,02 a 100  $\mu\text{m}$ , estos diámetros son similares a los obtenidos luego de la caracterización granulométrica en la muestra de caolín seleccionada, lo que demuestra que el caolín es un compuesto adecuado para usar en la preparación del agua cruda.

La ecuación de la regresión lineal obtenida en la curva de calibración fue  $y=552.18X + 0.691$ , ( $R^2: 0.9978$ ). Las dosis de caolín para los tres niveles de calidad son: bajo 0.0078 g/L, medio 0,053 g/L y alto 0.0893 g/L. El agua cruda fue preparada diariamente para suplir la demanda de los sistemas de filtración. En la tabla 3, se presenta la calidad del agua cruda obtenida durante el periodo de evaluación. El nivel de turbiedad bajo se evaluó entre los días 1 al 26, el nivel medio entre el 29 y 57 y el nivel alto entre el 58 y 82.

### \*Coeficiente de variación

**Tabla 3. Características fisicoquímicas del agua cruda medidas durante el estudio**

Nivel de turbiedad	Promedio	Desviación estándar	Máx	Min	C.V*
TBajo; n= 19	3,98	0,59	5,38	2,89	0,15
Medio; n= 19	29,12	3,73	35,8	20	0,13
Alto; n= 18	53,13	4,11	58,2	45,5	0,08

Fuente: Elaboración propia.

Para la variable turbiedad se observó que a medida que aumentó la dosis de caolín el coeficiente de variación fue disminuyendo indicando que a mayores turbiedades el ajuste de esta variable es más estable.

### Aplicación de la propuesta de evaluación de TDA

Para ilustrar la utilidad de la propuesta metodológica de evaluación (figura 1) se describe su aplicación iniciando el proceso con la definición de la calidad máxima que admite un dispositivo de filtración (caso 2). El objetivo de calidad efluente es (1 NTU) y el objetivo de cantidad (OCT) 20 L/d.

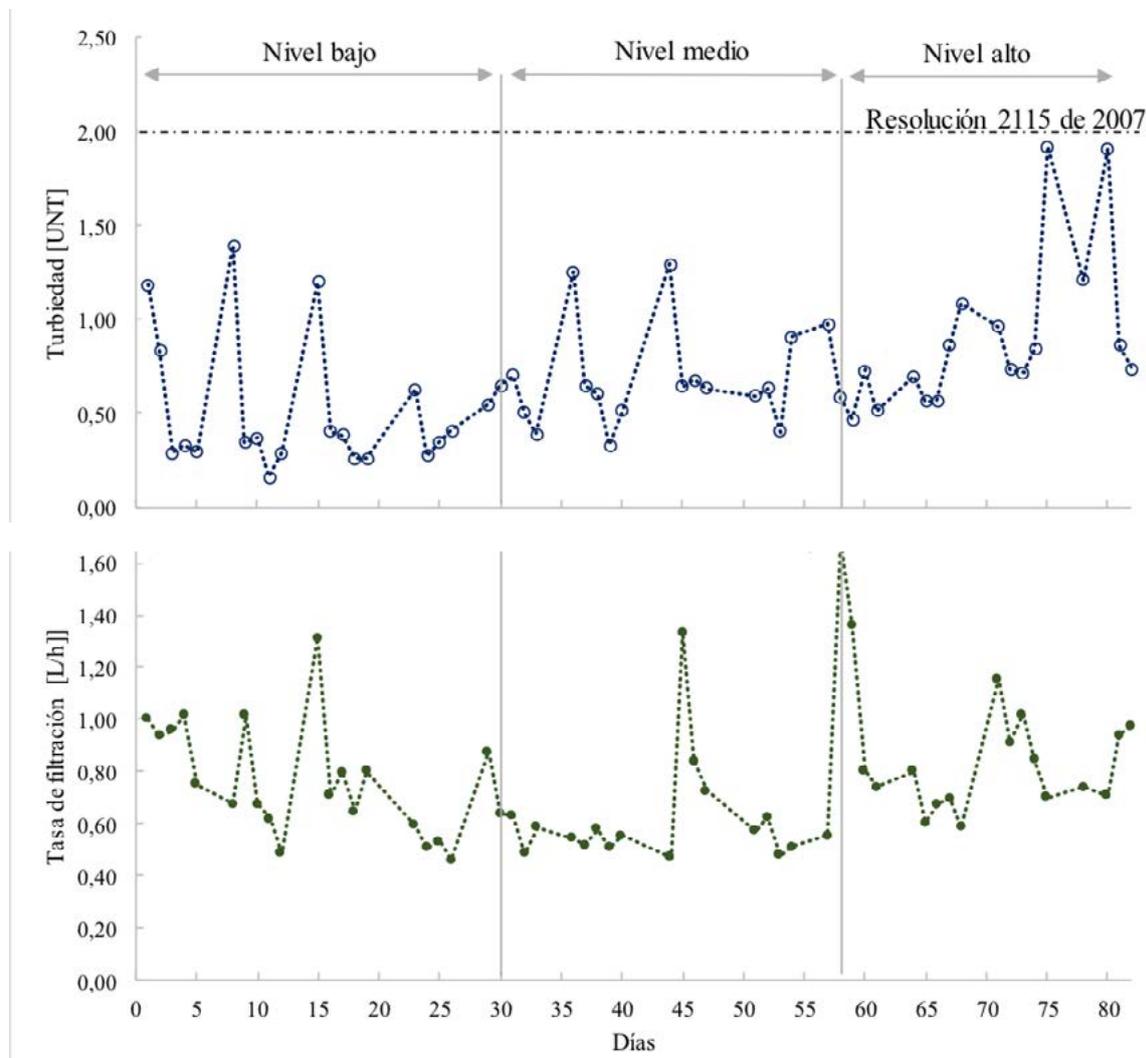
Según el procedimiento (figura 1) y considerando que no se conoce la calidad máxima afluente que permite cumplir el objetivo de calidad (OCL), se evaluó el desempeño de los sistemas (S1, S2, S3) para los tres niveles propuestos en este protocolo (n1:5, n2:30 y n3:50 NTU) y se trabajó con el tiempo máximo entre mantenimientos (TMM) de 15 días, definido a partir de los estudios de Pérez-Vidal et al., 2016.

En general, para evaluar la calidad efluente en los tres niveles de operación, se establece el tipo de distribución que presentan los datos (turbiedad efluente y tasa de filtración) y se selecciona la prueba (paramétrica o no paramétrica), que permita

establecer si existe una diferencia estadística significativa ( $p\text{-value} < \text{nivel de significancia}$ ) entre las medidas de tendencia central representativas de las variables (media, mediana) o la distribución de los triplicados (S1,S2,S3) y para cada rango de calidad (n1, n2 y n3) y su correspondiente tasa de filtración, al nivel de significancia definido en el estudio. Adicionalmente es conveniente analizar los resultados del rango intercuartílico, el valor mínimo y el máximo para datos que no corresponden a una distribución normal.

Para el ejemplo, no se encontró diferencia significativa entre los triplicados (S1, S2, S3) pero si entre los efluentes de los tres niveles de calidad evaluados (n1, n2, n3), lo cual permite seleccionar el rango máximo de calidad en el cual se puede operar el sistema cumpliendo con los objetivos de calidad y cantidad predefinidos. Finalmente, se analizan gráfica y simultáneamente (figura 3) los registros de calidad, con los de cantidad para seleccionar las condiciones de operación y mantenimiento del dispositivo.

Figura 3. Ejemplo de resultados de turbiedad (OCL) y tasa de filtración (OCT).



Fuente: Elaboración propia.

Del ejemplo visto en la Figura 3, se interpreta que las condiciones de operación (calidad máxima en el afluente) que permiten obtener una calidad en el efluente menor a 1.0 NTU durante más del 95% del tiempo se encuentra en el rango medio (29+/-4 NTU). Sin embargo, para cumplir con el objetivo de cantidad se debe evaluar una condición de mantenimiento diferente e inferior a 15 días (ej. TMM: 5 días) o una condición de calidad <30 NTU.

De esta forma siguiendo el diagrama de flujo

propuesto (figura 1), se verifica que se cumple el OCL, pero no el de OCT, en cuyo caso se puede redefinir el tiempo máximo entre mantenimientos (TMM) y evaluar de nuevo el sistema de filtración. Agotadas las posibilidades prácticas de modificación de las condiciones de operación y mantenimiento, se redefinirían los objetivos de calidad y/o cantidad o se tomaría la decisión de introducir un cambio en el proceso de fabricación. En este último caso, se puede someter el nuevo prototipo a las condiciones críticas de calidad (CC) y de TMM, es decir, a aquellas

que mejores resultados hayan proporcionado en la evaluación previa y se analizan los resultados, siguiendo el mismo procedimiento estadístico y gráfico descrito anteriormente.

Como resultado del proceso de evaluación, el fabricante puede identificar las mejores condiciones de fabricación del dispositivo y hacer públicas en las fichas o catálogos que se entregan al usuario del TDA, las restricciones de operación y mantenimiento que permiten cumplir con los objetivos de calidad y cantidad en el efluente del sistema. Finalmente, los procesos de evaluación aquí propuestos, pueden ajustarse para definir otros aspectos clave del desempeño de la tecnología, tales como, la periodicidad de cambio en los componentes o la evaluación de nuevas variables de calidad, según sea el objetivo de tratamiento y calidad del sistema.

#### 4. Conclusiones

Se identificaron aspectos relevantes en la evaluación de filtros de olla cerámica, como la preparación del agua cruda haciendo uso de materiales de fácil

adquisición y caracterización, la selección de las variables de seguimiento, destacando la turbiedad y la tasa de filtración como parámetros de fácil medición y rápida interpretación, brindando un aporte metodológico a los fabricantes y evaluadores de este tipo de tecnología .

La evaluación de la tasa de filtración es un factor importante que se debe analizar simultáneamente con la calidad, con el fin de determinar el rendimiento de los sistemas de filtración de olla cerámica. Estas variables de control operativo, sumadas a las condiciones de mantenimiento, constituyen variables clave en la metodología de evaluación propuesta en este estudio.

La metodología propuesta permite evaluar dispositivos de tratamiento a nivel domiciliario (TDA), en aspectos de interés para los usuarios y los fabricantes de las tecnologías, tales como, las condiciones de operación y mantenimiento o de fabricación, que favorecen el cumplimiento de objetivos de calidad y cantidad previamente definidos, la selección de tecnología para potabilización del agua y su uso apropiado.

#### BIBLIOGRAFÍA

[1] American Water Works Association Research Foundation (AWWARF), Lyonnaise des Eaux (LdE) y Water Research Commission of South Africa (WRC) (1998). Tratamiento del agua por procesos de membrana. Principios procesos y aplicaciones. McGrawHill. ISBN: 84-481-1206-7, 837 p.

[2] Adeyemo, F. E., Kamika, I., & Momba, M. N. B. (2014). Comparing the effectiveness of five low-cost home water treatment devices for *Cryptosporidium*, *Giardia* and somatic coliphages removal from water sources. *Desalination and Water Treatment*, 56(9), 2351–2367. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.960457>

[3] Arias Lugo, J. L. (2017). *Evaluación de alternativas de potabilización a bajo costo en comunidaes palafíticas en el caribe norte colombiano [Universidad del norte]*. <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/7444/129814.pdf?sequence=1>

[4] Bielefeldt, A. R., Kowalski, K., Schilling, C., Schreier, S., Kohler, A., & Scott Summers, R. (2010). Removal of virus to protozoan sized particles in point-of-use ceramic water filters. *Water Research*, 44(5), 1482–1488. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.10.043>

- [5] Bilotta, G. S., & Brazier, R. E. (2008). Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota. *Water Research*, 42(12), 2849–2861. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2008.03.018>
- [6] Bulta, A. L., & Micheal, G. A. W. (2019). Evaluation of the efficiency of ceramic filters for water treatment in Kambata Tabaro zone, southern Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 8(1), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40068-018-0129-6>
- [7] CAWST. (2018). *Ceramic Pot Filter*. <https://www.hwts.info/products-technologies/d25e3821/ceramic-pot-filter/technical-information>
- [8] 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>
- [9] 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>
- [10] Clasen, T., Naranjo, J., Frauchiger, D., & Gerba, C. (2009). Laboratory assessment of a gravity-fed ultrafiltration water treatment device designed for household use in low-income settings. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 80(5), 819–823. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.09-0581> [pii]
- [11] Environmental Protection Agency [EPA]. (1987). *Guide standard and protocol for testing microbiological water purifiers*. <https://www.biovir.com/Images/pdf061.pdf>
- [12] Faria Maciel, P. M., & Sabogal-Paz, L. P. (2018). Household slow sand filters with and without water level control: continuous and intermittent flow efficiencies. *Environmental Technology*, 1–15. <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1515988>
- [13] Franz, A. (2005). *A performance study of ceramix candle filters in Kenya including tests for coliphage removal [Massachusetts institute of technology]*. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/Franz\\_2005\\_A\\_Performance\\_Study\\_of\\_Ceramic\\_Candle\\_Filters\\_in\\_Kenya\\_Including\\_Tests\\_for\\_Coliphage\\_Removal.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/Franz_2005_A_Performance_Study_of_Ceramic_Candle_Filters_in_Kenya_Including_Tests_for_Coliphage_Removal.pdf)
- [14] Lantagne, D. S. (2001a). Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver Impregnated Ceramic Filter Report 1: *Intrinsic Effectiveness*. [http://web.mit.edu/watsan/Docs/Other\\_Documents/ceramicpot/PFP-Report1-Daniele\\_Lantagne\\_12-01.pdf](http://web.mit.edu/watsan/Docs/Other_Documents/ceramicpot/PFP-Report1-Daniele_Lantagne_12-01.pdf)
- [15] Lantagne, D. S. (2001b). Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver Impregnated Ceramic Filter Report 1: *Intrinsic Effectiveness*. [http://web.mit.edu/watsan/Docs/Other\\_Documents/ceramicpot/PFP-Report1-Daniele\\_Lantagne\\_12-01.pdf](http://web.mit.edu/watsan/Docs/Other_Documents/ceramicpot/PFP-Report1-Daniele_Lantagne_12-01.pdf)
- [16] Lantagne, D. S. (2001c). 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>

[17] Low, C. S. (2002). *Appropriate Microbial Indicator Tests for Drinking Water in Developing Countries and Assessment of Ceramic Water Filters* [Massachusetts Institute of Technology]. In Filtration. [http://web.mit.edu/watsan/Docs/Student\\_Theses/Nepal/Low2002.pdf](http://web.mit.edu/watsan/Docs/Student_Theses/Nepal/Low2002.pdf)

[18] María A., D., & Marcos, V. (2008). Introducción a la metrología química: Curvas de calibración en lo métodos analíticos. *Antología de Química Analítica Experimental*, 18–26. [http://depa.quim.unam.mx/amyd/archivero/CURVASDECALIBRACION\\_23498.pdf](http://depa.quim.unam.mx/amyd/archivero/CURVASDECALIBRACION_23498.pdf)

[19] Ministerio de Salud y Protección Social [MinSalud]. (2018). *Informe nacional de calidad del agua para consumo humano inca 2016*. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SNA/ssa-inca-2016.pdf>

[20] 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>

[21] Mwabi, J., Mamba, B. B., & Momba, M. N. B. (2012). *Removal of Escherichia coli and Faecal Coliforms from Surface Water and Groundwater by Household Water Treatment Devices/Systems: A Sustainable Solution for Improving Water Quality in Rural Communities of the Southern African Development Community Region*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(12), 139–170. <https://doi.org/10.3390/ijerph9010139>

[22] Myre, E., Shaw, R., & Candidates, M. S. (2006). *The Turbidity Tube: Simple and Accurate Measurement of Turbidity in the Field*. [www.cee.mtu.edu/](http://www.cee.mtu.edu/)

[23] OMS. (2018). *Guías para la calidad del agua para consumo humano (Cuarta)*. <http://apps.who.int/>

[24] Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2006). *Guías para la calidad del agua potable*. [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/gdwq3\\_es\\_full\\_lowres.pdf](https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf)

[25] Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2011). *Evaluación de métodos para el tratamiento doméstico del agua*. [www.who.int](http://www.who.int)

[26] Panasewicz, L. (2009). Evaluation of Enhanced Ceramic Water Filtration (ECWF) Systems for the Removal of Turbidity and Bacteria for Households in Developing Countries [University of Colorado]. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- [27] Pérez-Vidal, A., Díaz-Gómez, J., Castellanos-Rozo, J., & Lucía Usaquen-Perilla, O. (2016). *Long-term evaluation of the performance of four point-of-use water filters*. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.04.016>
- [28] 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>
- [29] 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*. *Evaluation of drinking-water treatment by Lifestraw® and Ceramic-pot filters*. 18(2), 275–289. <https://doi.org/10.15446/rsap.v18n2.48712>
- [30] Pérez-Vidal, A., Rivera-Sanchez, S. P., Florez-Elvira, L. J., Silva-Leal, J. A., Diaz-Gomez, J., Herrera-Cuero, L. F., & Lopez Botero, L. P. (2019). *Removal of E. coli and Salmonella in pot ceramic filters operating at different filtration rates*. *Water Research*, 159, 358–364. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2019.05.028>
- [31] 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](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/wedc_current_practices_in_manufacturing_locally_made_ceramic_pot_filters_2009.pdf)
- [32] Rayner, J., Luo, X., Schubert, J., Lennon, P., Jellison, K., & Lantagne, D. (2017). The effects of input materials on ceramic water filter efficacy for household drinking water treatment. *Water Science and Technology: Water Supply*, 17(3), 859–869. <https://doi.org/10.2166/ws.2016.176>
- [33] 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>
- [34] Rivera-Sánchez, S. P., Ocampo-Ibáñez, I. D., Silva-Leal, J. A., Flórez-Elvira, L. J., Castaño-Hincapié, A. V., Dávila-Estupiñan, A., Martínez-Rivera, J. I., & Pérez-Vidal, A. (2020). *A novel filtration system based on ceramic silver-impregnated pot filter combined with adsorption processes to remove waterborne bacteria*. *Scientific Reports*, 10(1), 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68192-y>
- [35] 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>
- [36] Salvinelli, Carlo, Elmore, A. C., Reidmeyer, M. R., Drake, K. D., & Ahmad, K. I. (2016). Characterization of the relationship between ceramic pot filter water production and turbidity in source water. *Water Research*, 104, 28–33. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2016.07.076>
- [37] Shepard, Z. J., Zhang, Y., Anaya, M. N., Cardence, D., & Oyanedel-Craver, V. (2020).

*Development of Ceramic Water Filter Clay Selection Criteria.* Cm, 8–10.

[38] Sizirici, B. (2018). Modified biosand filter coupled with a solar water pasteurizer: *Decontamination study.* *Journal of Water Process Engineering*, 23, 277–284. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2018.04.008>

[39] Soliman, M. Y. M., van Halem, D., & Medema, G. (2020). Virus removal by ceramic pot filter disks: Effect of biofilm growth and surface cleaning. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 224(August 2019). <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113438>

[40] The Ceramic Manufacturing Working Group [CWMG]. (2011). *Best Practice Recommendations for Local Manufacturing of Ceramic Pot Filters for Household Water Treatment (Issue June).* <https://www.ircwash.org/sites/default/files/CMWG-2011-Best.pdf>

[41] Van Halem, D., van der Laan, H., Soppe, A. I. A., & Heijman, S. G. J. (2017). *High flow ceramic pot filters.* *Water Research*, 124, 398–406. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2017.07.045>

[42] Van Halem, Doris, Gerard, S., Heijman, J., Dijk, J. C. Van, & Amy, G. (2007). Ceramic silver-impregnated pot filters for household drinking water treatment in developing countries : *Material characterization and performance study Ceramic silver-impregnated pot filters for household drinking water treatment in developing countries* : December. <https://doi.org/10.2166/ws.2007.142>

[43] Venkatesha, R., Rao, A. B., & Kedare, S. B. (2020). *Appropriate household point-of-use water purifier selection template considering a rural case study in western India.* *Applied Water Science*, 10(5), 1–16. <https://doi.org/10.1007/s13201-020-01207-1>

[44] WHO. (2017). *Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum.*

[45] World Health Organization [WHO]. (2017). *Water quality and health - review of turbidity: Information for regulators and water suppliers.* <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254631/WHO-FWC-WSH-17.01-eng.pdf>

[46] World Health Organization [WHO]. (2020). *¿Cómo impacta el agua segura en la salud global?* <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/how-does-safe-water-impact-global-health>