

# Filtros lentos de arena: una buena opción para disminuir contaminantes microbiológicos en agua

## Resumen

La contaminación del agua es un problema que ha aumentado en los últimos años y guarda una estrecha relación con la salud de la población, por lo que es necesario implementar tecnologías alternativas y asequibles que contribuyan al bienestar de la población. Los filtros lentos de arena (FLA) son de construcción sencilla, con materiales económicos, no requieren conocimientos específicos para su operación o mantenimiento y ofrecen un alto nivel de tratamiento mediante mecanismos físicos, químicos y biológicos. El objetivo de este trabajo fue evaluar un FLA instalado en un tubo PAD implementado en el Parque Nacional Cascada de Bassaseachic (PNCB). La efectividad del FLA se evaluó en muestras de agua mediante la determinación de coliformes fecales y totales antes y después del proceso de filtración. Donde se observó un mejoramiento de la calidad del agua en los parámetros microbiológicos.

## Abstract

Water pollution has been a growing problem in recent years and is closely linked to public health. Therefore, it is necessary to implement affordable alternative technologies that contribute to the well-being of the population. Slow sand filters (SSFs) are simple to construct with inexpensive materials, require no specialized knowledge for operation or maintenance, and provide high treatment levels through physical, chemical, and biological mechanisms. The objective of this study was to evaluate an SSF installed in a PAD pipe at Parque Nacional Cascada de Bassaseachic (PNCB). The effectiveness of the SSF was assessed in water samples by measuring fecal and total coliform levels before and after filtration. An improvement in water quality was observed in microbiological parameters.

## Introducción

El agua es el componente más importante para la vida y el acceso al agua potable es una necesidad fundamental para la población (OMS, 2014; WHO, 2023). En el 2017, alrededor del 30% de la población mundial todavía no contaba con acceso al agua potable, y hasta esa fecha 159 millones de personas toma-

Alan Fernando  
Muñoz-Payán<sup>1</sup>.  
Rocío Infante-  
Ramírez<sup>1</sup>.  
Ma. Carmen E.  
Delgado-Gardea<sup>1</sup>.

-(1) Facultad de  
Ciencias Químicas

Universidad  
Autónoma de  
Chihuahua

Recibido: 26 de  
noviembre 2025

Aceptado 15 de  
diciembre de 2025

ban agua directamente del agua superficial más cercana (Mayko, Dasika & Jafvert, 2023). El suministro de agua potable de buena calidad es importante para el bienestar de la humanidad; por ello, es vital proteger el suministro de agua, así como el saneamiento y los buenos servicios de higiene (Guchi, 2015). Los filtros lentos de arena (FLA) se remontan a 1829, en Paisley, Escocia, donde Jhon Gibb suministró agua a la ciudad mediante un filtro lento de arena. El modelo actual de filtración se originó a partir de un filtro lento de arena de un acre, diseñado por Jams Simpson para la compañía de agua Chelsae en Londres en 1852, que trataba agua superficial del río Támesis. Un estudio epidemiológico realizado después del brote de cólera de 1854 demostró que las personas que usaban el agua de los FLA no habían sido infectadas. El uso de los FLA fue creciendo, se difundió por toda Europa y, eventualmente, llegó a los Estados Unidos (Román et al., 2001).

No fue hasta 1980 que resurgió un nuevo interés por los FLA, principalmente por su simplicidad, sus bajos requisitos energéticos, su no requerimiento de compuestos químicos y, sobre todo, su alto nivel de tratamiento del agua. Las preocupaciones por el cambio climático (disminución de los combustibles fósiles y aumento de las emisiones de carbono en la industria del agua) también han provocado un interés por el uso de este tipo de filtración (Haig et al., 2011). Además, estudios actuales destacan que los FLA representan una alternativa sostenible y de bajo impacto ambiental, lo que los posiciona como una opción viable para comunidades rurales y sistemas de abastecimiento descentralizados (Abdiyev et al., 2023; López García et al., 2024).

Los FLA no solo reducen las partículas sólidas; se ha comprobado su efectividad como filtro biológico mediante la formación de algas, así como mediante la formación de una capa de materia orgánica en los primeros centímetros de la arena, denominada *Schmutzdecke*; dicha palabra refiere al lugar donde ocurre la eliminación más eficaz de contaminantes en un FLA que es el *Schmutzdecke* que es una palabra en alemán, que significa “cubierta de suciedad”, localizado en la parte superior del lecho de arena, encargado de remover más del 90% de las bacterias indicadoras de patógenos (Pfannes et al., 2015).

Los estudios más recientes explican que esta biocapa desempeña un papel fundamental en la remoción de patógenos, compuestos orgánicos y nutrientes, lo que consolida a los FLA como una tecnología sustentable de tratamiento de agua en zonas rurales (Abdiyev et al., 2023; Ungureanu et al., 2020).

Los FLA proporcionan un tratamiento del agua mediante la fil-

tración física de partículas y la eliminación biológica de patógenos y sustancias orgánicas en la capa biológicamente activa, conocida como Schmutzdecke. Estos filtros han sido reconocidos como una tecnología apropiada para el tratamiento de agua potable en zonas rurales y son capaces de mejorar el estado físico, químico y microbiológico del agua (Haig et al., 2014).

## Materiales y métodos

**Instalación del filtro lento de arena:** El FLA se colocó dentro del centro CONANP que a su vez se encuentra localizado dentro del polígono del PNCB con las coordenadas 28°09'54.0"N; 108°12' 23.0"W. Este lugar se seleccionó por ser un lugar que cuenta con un suministro de agua durante todo el año y que podría ser vigilado por el personal de CONANP durante el periodo de prueba. El filtro fue evaluado durante 25 semanas consecutivas para determinar su capacidad de remoción de microorganismos.

En cuanto a los lechos filtrantes, la altura de las distintas capas así como el diámetro de las partículas se encuentran en la tabla 1.

La altura de cada capa que componen el filtro se seleccionaron para encontrarse en las alturas recomendadas para la filtración lenta en

Capa del filtro	Altura (cm)	Diámetro de las partículas (mm)
Base metálica	15	N/A
Grava	15	>10
Gravilla	15	< 10
Arena	90	<2
Agua sobrenadante	30	N/A

arena y así obtener la mayor capacidad de remoción de contaminantes, el diámetro de las partículas para el caso de la grava fue de acuerdo a las recomendaciones (CAWST, 2009) y para la arena, el tamaño menor al que se pudo llegar (por las dimensiones del filtro) fue menor a 2 mm pero cumpliendo con el tamaño efectivo y el coeficiente de uniformidad (Guchi, 2015). Para el caso de la arena, se dejó una altura 10 cm mayor a la recomendada por si se presentaba una compactación del material, que no fue el caso durante todos los estudios realizados al filtro. El filtro lento de arena operaba a una Velocidad de filtración: 0.1–0.4 m/h (típico de los FLA), con un tiempo de retención de 4 a 6 horas aproximadamente.

**Análisis microbiológico:** Técnica del Número Más Probable, el conteo de coliformes totales (CT) y coliformes fecales (CF) en las muestras de agua se basó en la norma NMX-AA-042-SCFI-2015, que establece la técnica del número más probable (NMP), en la que las muestras se procesaron en un lapso no mayor a 24 h posteriores al muestreo. Para lograrlo, se inocula-

**Tabla 1.**  
Desarrollo del filtro lento de arena.

ron por triplicado 10 mL de las muestras de agua en tubos con 10 mL de caldo lactosado de doble concentración con campana de Durham; también se inocularon por triplicado 0.1 y 1 mL de muestra en tubos con 10 mL de caldo lactosado de concentración normal con campana de Durham. Todos los tubos se incubaron a 37 °C por 24 h; posteriormente, se revisó la formación de gas como resultado positivo. Las muestras positivas se inocularon por separado en tubos de 10 mL de caldo verde brillante y de caldo *Escherichia coli* (EC); la lectura se realizó de igual forma después de incubarse a 37 °C y 44 °C, respectivamente. La norma exige que los tubos permanezcan hasta 48 h para descartar falsos negativos.

### **Determinación de la remoción de coliformes**

La determinación de la eficiencia en la remoción de coliformes se realizó mediante el cálculo del porcentaje de reducción bacteriana de organismos coliformes totales de acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-244-SSA1-2008, que indica los requisitos sanitarios y características que deben cumplir los equipos y sustancias germicidas para tratamiento doméstico de agua. El cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ RBCT} = (\text{coliformes totales})_{\text{APST}} - (\text{coliformes totales})_{\text{APT}} / (\text{coliformes totales})_{\text{APST}} \times 100$$

En donde:

% RBCT. Porcentaje en reducción bacteriana de organismos coliformes totales.

APST. Cuenta de organismos coliformes totales en NMP/100 mL de agua sin tratar.

APT. Cuenta de organismos coliformes totales en NMP/100 mL de agua tratada. 27

La reducción de log en la concentración de microorganismos se realizó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Reducción Log} = \log(\text{concentración del afluente}) - \log(\text{concentración del efluente})$$

Todos los log son en log base 10 y puede ser aplicada para coliformes totales y coliformes fecales (Elliott et al., 2015).

### **Resultados**

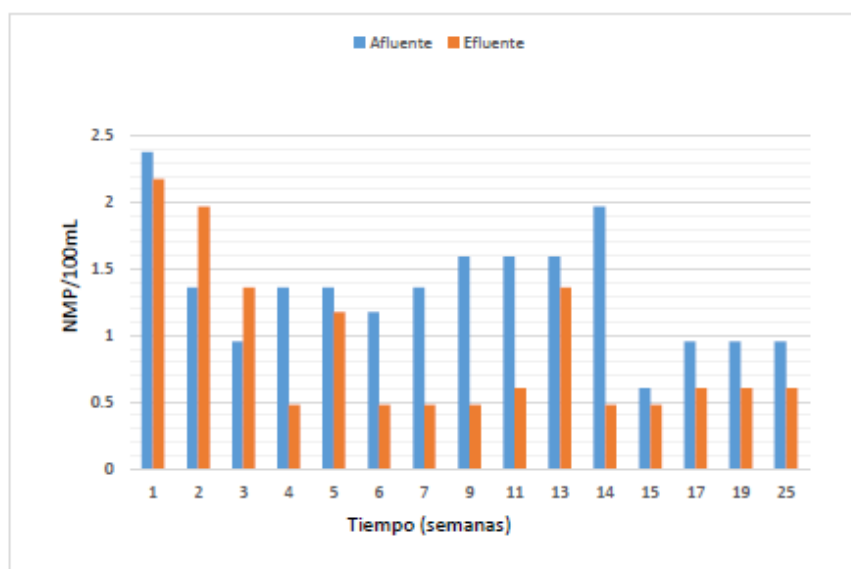
Análisis bacteriológico mediante la técnica del NMP. En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos de coliformes totales, expresados en logaritmo base 10. En todos los muestreos se observó la presencia de organismos CT, con una media de 1.5 para el afluente y 0.45 NMP/100 mL para el efluente contemplando la escala logarítmica en base a 10. La NOM-127-SSA1-1994 establece que el límite permisible debe ser la

ausencia o no detectable de microorganismos CT y CF; en este caso, no se cumple con ese límite, ya que en todos los muestreos existió la detección de coliformes. El NMX-AA-042-SCFI-2015 establece que, cuando se realiza la prueba confirmativa, aunque todos los tubos sean negativos, el reporte final es  $<3$  NMP/100 mL, lo cual sucedió en algunos de los muestreos.

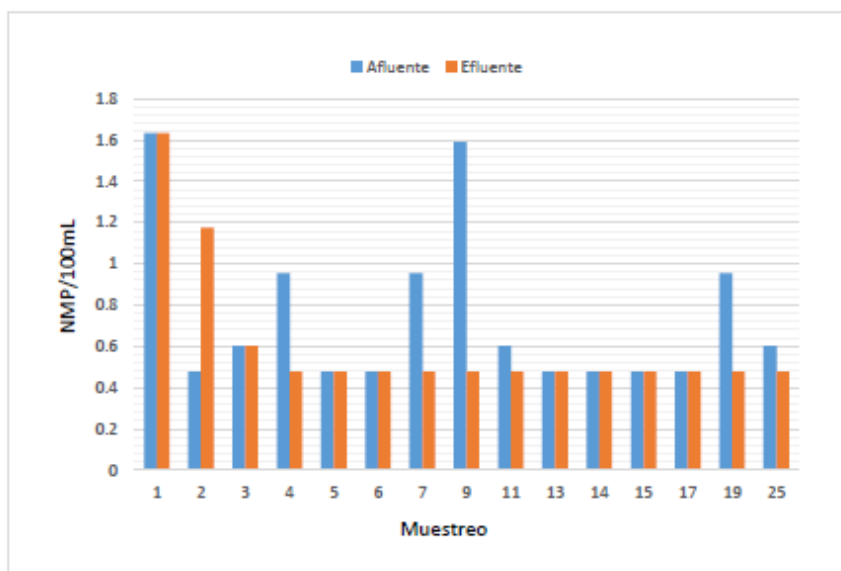
Para estimar la maduración del schmutzdecke se basó en los CT, en la Figura 1 se observa que a partir de la cuarta semana se comenzó a obtener una disminución de CT en el efluente respecto al afluente, fue durante este muestreo donde se decidió establecer que el filtro se encontraba en su estado maduro, a los 30 días desde su funcionamiento. En los primeros muestreos se observó que el efluente contenía más microorganismos; es común, ya que el filtro necesita de un periodo de adaptación que puede durar algunas semanas (Devadhanam & Pillav, 2008), ocasionado por restos de contaminantes presentes en la arena, así como el desarrollo de la comunidad microbiana que habita el filtro. Al comparar estos resultados con otros publicados (Nitzsche et al., 2015), se observaron valores bajos de CT debido a las características del agua que abastece al filtro, y en ninguno de los muestreos se superpusieron los  $2.5 \log 10$ .

En la Figura 2 se muestran los resultados obtenidos para los coliformes fecales, expresados en logaritmo base 10. En todos los muestreos se observó la presencia de CF, con una media de 1.2 para el afluente y 0.8 NMP/100 mL para el afluente en escala logarítmica base 10. La NOM-127-SSA1-2021 establece que el límite permisible debe ser la ausencia o no detectable de microorganismos CF; en este caso, no se cumple con ese límite, ya que el método utilizado establece que aunque no existan tubos positivos el resultado se reporta  $<3$  NMP/100mL y nos limita evaluar el nivel de remoción de CF.

En la primera y segunda semana se observan los valores más altos para los CF del efluente, por encontrarse en el periodo de adaptación del filtro; sin embargo, en todas las semanas posteriores se observó una misma tendencia, manteniéndose  $<3$  NMP/100 mL. Estos resultados sugieren que el agua tiene



**Figura 1.**  
Análisis microbiológico:  
Conteo de coliformes totales de  
las muestras de agua en escala  
logarítmica base 10



**Figura 2.**  
Análisis microbiológico:  
Conteo de coliformes fecales de  
las muestras de agua en escala  
logarítmica base 10

una buena calidad antes de entrar al filtro en la mayoría de los muestreos, pero al pasar por el filtro disminuye el conteo de CF. En la novena semana se observó un aumento en los CF del afluente ocasionado por una obstrucción de lodo en la línea que abastecía al filtro. Una vez que el agua pasó por el filtro, el conteo de los CF disminuyó, mostrando la eficiencia de retención de microorganismos coliformes.

## Discusión

El objetivo principal del tratamiento del agua potable mediante filtración es la eliminación de organismos patógenos, tales como protozoos, bacterias y virus, que pueden causar enfermedades (Kwon et al., 2011).

La purificación en los FLA se atribuye a procesos bioquímicos de origen natural (como la depredación y la biooxidación), pero aún no han sido verificados en profundidad debido a las limitaciones metodológicas. Se han realizado estudios en microcosmos que se centran en pocos organismos y, por lo tanto, solo se proporcionan conclusiones imprecisas sobre los mecanismos de remoción. (Haig et al., 2014). La determinación y la comprensión de estos mecanismos serían muy ventajosas ya que mejorarían la implementación de tecnologías de agua potable. Han surgido diferentes mecanismos involucrados en la remoción de microorganismos patógenos, como la depredación por protozoos, la lisis viral y la disponibilidad de nutrientes, que son importantes para regular la mortalidad microbiana. Sin embargo, se han planteado factores abióticos, como la radiación ultravioleta y las especies reactivas del oxígeno, como posibles vías para la lisis de microorganismos patógenos (Haig et al., 2014).

Los FLA son capaces de reducir significativamente la concentración viral en aguas superficiales contaminadas con materia fecal. En un estudio se encontró que la eliminación de virus en aguas contaminadas con heces es muy eficiente, con niveles de 2.25 log<sub>10</sub> y 3.92 log<sub>10</sub>, siempre y cuando el filtro se encuentre en su estado maduro (Bauer et al., 2011).

El objetivo principal de la influencia de los microorganismos en



el tratamiento del agua potable mediante filtración es la eliminación de microorganismos patógenos, tales como protozoos, bacterias y virus, que pueden causar enfermedades (Jun et al., 2002; Kwon et al., 2011; Schijven et al., 2013). *Salmonella* y *Campylobacter* son los agentes más frecuentes de gastroenteritis bacteriana. *Salmonella* se presenta en números más bajos que las bacterias indicadoras, pero puede representar un riesgo para la salud pública. *Campylobacter* está muy extendido en el ambiente y se encuentra comúnmente en aguas superficiales. Otros patógenos frecuentemente aislados son *Shigella*, *Yersinia* y *Vibrio cholerae*. Entre los protozoos que pueden estar presentes en el agua contaminada se encuentran *Cryptosporidium*, *Entamoeba*, *Cyclospora*, *Toxoplasma*, *Microsporidia* y *Giardia*. Entre los virus se encuentran *Adenovirus*, *Norovirus*, *Rotavirus* y *Astrovirus* (Girones et al., 2010).

La determinación y la comprensión de los mecanismos de remoción serían muy ventajosas ya que mejorarían la implementación de tecnologías de agua potable (Haig et al., 2014b). Por otra parte, se sabe que la eficiencia en la eliminación de patógenos depende en gran medida de las condiciones de diseño del filtro. Al ser un filtro biológico, su protección es una consideración clave en el diseño y la operación (Chan et al., 2015). Las características de la fuente de agua, la temperatura y la maduración también son importantes para el rendimiento (Schijven et al., 2013; Weber-Shirk & Dick, 1997).

Estudios reportados por Weber-Shirk (2002) mencionan que, además de la actividad biológica del FLA, existe al menos otro mecanismo implicado en la eliminación de partículas contaminantes. Existen hipótesis sobre diferentes mecanismos que pueden estar involucrados en la remoción de microorganismos patógenos, como la depredación (Chan et al., 2015) por protozoos, la lisis viral y la disponibilidad de nutrientes, factores importantes para la regulación de la mortalidad microbiana. Sin embargo, se han planteado factores abióticos, como la radiación ultravioleta y la generación de especies reactivas de oxígeno, como posibles vías para la lisis de microorganismos patógenos (Haig et al., 2014a). Aún faltan estudios que confirmen la importancia de estos mecanismos de remoción de microorganismos patógenos.

Se ha demostrado que estos filtros son efectivos para eliminar el virus del mosaico del tabaco en sistemas de irrigación por escorrentía (Oki et al., 2017). La inactivación de los virus puede ser debido al daño provocado en las proteínas del virus o inactivación por un daño en su genoma (Wigginton & Kohn, 2012), también se ha reportado que los procesos fisicoquímicos

cos llevados a cabo en el FLA tienen un papel importante en la adsorción de los virus y es potenciado por las proteínas que se producen en la capa biológica (Anderson et al., 2009).

Los FLA no solo tienen un efecto positivo en la remoción de patógenos para los seres humanos, sino que se ha establecido que reducen una amplia gama de patógenos de plantas como *Phytophthora* spp., *Pythium* spp., *Xanthomonas campestris* y el nematodo *Radopholus similis*. Además, se ha demostrado que este tipo de filtración es capaz de eliminar *Phytophthora* spp. del agua de arroyo que presentaba resultados positivos por varios años (Lee & Oki, 2013; Calvo-Bado et al., 2003).

Para el %RBCT tuvo en promedio un 66.68%, y en uno de los muestreos se alcanzó hasta el 96.77%; el conteo de CT fue pequeño en el afluente por lo que este valor puede estar subestimado al igual con la remoción de elementos. En un estudio realizado por D'Alessio et al. (2015), reportaron una remoción de CT entre el 66 y 99.96%, resultados similares a los encontrados en este trabajo. Guchi (2015), menciona que se han reportado valores de remoción mayor al 99% que dependen de la maduración biológica del filtro. En nuestro trabajo el nivel máximo de eficiencia obtenido fue alto, un indicativo del potencial que tiene el sistema de filtración y se podría optimizar con otro tipo de filtración (carbón activado granular) para obtener mayores eficiencias promedio de acuerdo al estudio realizado por Zipf et al. (2016).

En los CT se obtuvo en promedio una remoción de 0.45 Log<sub>10</sub> y se alcanzó un valor máximo de 1.49 Log<sub>10</sub>, para los CF se obtuvo un valor menor, en promedio de 0.14 Log<sub>10</sub> y un valor máximo de 1.11 Log<sub>10</sub>. Estudios reportados por Langenbach et al. (2010), han encontrado 53 remociones de 0.3 a 3.5 Log<sub>10</sub> para los CT y hasta 2 Log<sub>10</sub> para CF. Al compararlo con nuestros resultados, la remoción fue inferior por las bajas concentraciones de coliformes en el agua, sin embargo, para los coliformes se obtuvo una remoción importante. Estudios escala laboratorio realizados por Chan et al. (2015), han optado por utilizar agua sintética donde se modifican las concentraciones de los microorganismos con la finalidad de evaluar el máximo nivel de remoción llevada a cabo por los FLA. En otro estudio llevado a cabo por Jenkins y et al. (2011), sobre la remoción de bacterias por filtros de arena obtuvieron una remoción de CF de 0.17 Log<sub>10</sub>, resultado similar al promedio obtenido en este trabajo.

Se ha reportado por Kauppinen et al. (2014), que las condiciones estacionales tienen un efecto en las eficiencias de purificación de este tipo de filtros, afectándolos negativamente los



climas fríos, este factor pudo afectar el porcentaje de remoción, ya que el clima en donde se localiza el filtro se caracteriza por presentar temperaturas frías.

## Conclusión

El sistema de filtración lenta en arena implementado en el Parque Nacional Cascada de Bassaseachic logró una remoción eficaz de microorganismos indicadores de contaminación. La remoción en los FLA se atribuye a procesos bioquímicos de origen natural, como la depredación y la biooxidación, pero aún no han sido verificados en profundidad debido a las limitaciones metodológicas. El presente filtro lento de arena, ayuda en la disminución de contaminantes microbiológicos, pero no alcanza a proveer de agua potable, por lo que un filtro lento de arena, siempre deberá ser acompañado con cloración y/o algún otro desinfectante para poder llegar a ser agua potable. Comprender los mecanismos involucrados en la remoción de contaminantes patógenos podría ayudar a predecir la capacidad del FLA para eliminarlos, así como la posibilidad de mejorar su capacidad de filtración.

## Referencias

- Abdiyev, K., Azat, S., Kuldeyev, E., Ybyraiymkul, D., Kabdrakhmanova, S., Berndtsson, R., ... & Sultakhan, S. (2023). Review of Slow Sand Filtration for Raw Water Treatment with Potential Application in Less-Developed Countries. *Water*, 15(11), 2007.
- Anderson, W. B., DeLoyde, J. L., Van Dyke, M. I., & Huck, P. M. (2009). Influence of design and operating conditions on the removal of MS2 bacteriophage by pilot-scale multistage slow sand filtration. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 58(7), 450-462.
- Bauer, R., Dizer, H., Graeber, I., Rosenwinkel, K. H., & López-Pila, J. M. (2011). Removal of bacterial fecal indicators, coliphages, and enteric adenoviruses from waters with high fecal pollution by slow sand filtration. *Water research*, 45(2), 439-452.
- CAWST, (2009). Centre for Affordable Water and Sanitation Technology. Biosand Filter Manual: Design, Construction, Installation, Operation and Maintenance.
- Chan, C., Neufeld, K., Cusworth, D., Gavrilovic, S., & Ngai, T. (2015). Investigation of the Effect of Grain Size, Flow Rate and Diffuser Design on the CAWST Biosand Filter Performance. *International Journal for Service Learning in Engineering, Humanitarian Engineering and Social Entrepreneurship*, 10(1), 1-23.
- Devadhanam, E., & Pillay, B. (2008). Visualisation of the microbial colonisation of a slow sand filter using an Environmental Scanning Electron Microscope. *Electronic Journal of*

- Biotechnology, 11(2), 119-125.
- Girones, R., Ferrus, M. A., Alonso, J. L., Rodriguez-Manzano, J., Calgua, B., de Abreu Correia, A., & Bofill-Mas, S. (2010). Molecular detection of pathogens in water—the pros and cons of molecular techniques. *Water research*, 44(15), 4325-4339.
- Guchi, E. (2015). Review on Slow Sand Filtration in Removing Microbial Contamination and Particles from Drinking Water. *American Journal of Food and Nutrition*, 3(2), 47-55.
- Haig, S. J., Collins, G., Davies, R. L., Dorea, C. C., & Quince, C. (2011). Biological aspects of slow sand filtration: past, present and future. *Water Science and Technology: Water Supply*, 11(4), 468-472.
- Haig, S. J., Quince, C., Davies, R. L., Dorea, C. C., & Collins, G. (2014). Replicating the microbial community and water quality performance of full-scale slow sand filters in laboratory-scale filters. *Water research*, 61, 141-151.
- Jun, H. B., Lee, Y. J., & Shin, S. S. (2002). Removal of particulates, natural organic matters, and microorganisms in a surface amended slow sand filter. *Water Science and Technology: Water Supply*, 2(5-6), 387-394.
- Kauppinen, A., Martikainen, K., Matikka, V., Veijalainen, A. M., Pitkänen, T., Heinonen-Tanski, H., & Miettinen, I. T. (2014). Sand filters for removal of microbes and nutrients from wastewater during a one-year pilot study in a cold temperate climate. *Journal of Environmental Management*, 133, 206-213.
- Kwon, S., Moon, E., Kim, T. S., Hong, S., & Park, H. D. (2011). Pyrosequencing demonstrated complex microbial communities in a membrane filtration system for a drinking water treatment plant. *Microbes and Environments*, 26(2), 149-155.
- Langenbach, K., Kusch, P., Horn, H., & Kästner, M. (2010). Modeling of slow sand filtration for disinfection of secondary clarifier effluent. *Water Research*, 44(1), 159-166.
- López García, J. A., Ramos Fernández, L., Robles Silvestre, J. J., Juárez Castro, A., & Juárez Soto, H. (2024). Mejora de la calidad de agua para consumo humano mediante la implementación de filtros bioarena y filtros lentos de arena intermitentes. *Revista Campus*, 1, 11–36.
- Maiyo JK, Dasika S, Jafvert CT. Slow Sand Filters for the 21st Century: A Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2023 Jan 5;20(2):1019. doi: 10.3390/ijerph20021019. PMID: 36673775; PMCID: PMC9859083.
- Nitzsche, K., Weigold, P., Lösekann-Behrens, T., Kappler, A., & Behrens, S. (2015). Microbial community composition of a household sand filter used for arsenic, iron, and manganese removal from groundwater in Vietnam. *Chemosphere*, 138, 47-59.
- Oki, L. R., Bodaghi, S., Lee, E., Haver, D., Pitton, B., Nackley, L., & Mathews, D. M. (2017). Elimination of Tobacco mosaic virus from irrigation runoff using slow sand filtration. *Scientia horticulturae*, 217, 107-113.
- Secretaría de Economía. (2015). NMX-AA-042-SCFI-2015: Análisis de agua — Medición de bacterias coliformes totales, coliformos

- mes fecales y *Escherichia coli* — Método del número más probable (NMP). Dirección General de Normas..
- Secretaría de Salud. (2021). NOM-127-SSA1-2021. Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Diario Oficial de la Federación.OMS. 2014. Agua [en línea]. EUA.
- Pfannes, K., Langenbach, K., Pilloni, G., Stührmann, T., Euringer, K., Lueders, T., ... & Meckenstock, R. U. (2015). Selective elimination of bacterial faecal indicators in the Schmutzdecke of slow sand filtration columns. *Applied microbiology and biotechnology*, 99(23), 10323-10332.
- Román R., Ortiz, S., Cardona, J., & Pagán, I. (2001). Caracterización de un filtro lento de arena con un prefiltro de flujo horizontal de grava. *Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil*, 1(1).
- Schijven, J. F., van den Berg, H. H., Colin, M., Dullemont, Y., Hijnen, W. A., Magic-Knezev, A. & Wubbels, G. (2013). A mathematical model for removal of human pathogenic viruses and bacteria by slow sand filtration under variable operational conditions. *Water Research*, 47(7), 2592-2602.
- Ungureanu, N., Vlăduț, V., Dincă, M. N., & Călinoiu, O. (2020). Slow sand filters—An eco-friendly water treatment method. *Environmental Engineering & Management Journal*, 19(5), 839–848. Maiyo JK, Dasika S, Jafvert CT. Slow Sand Filters for the 21st Century: A Review. *Int J Environ Res Public Health*. 2023 Jan 5;20(2):1019. doi: 10.3390/ijerph20021019. PMID: 36673775; PMCID: PMC9859083.
- World Health Organization. (2023, 28 junio). Improving access to water, sanitation and hygiene can save 1.4 million lives per year. <https://www.who.int/news/item/28-06-2023-improving-access-to-water--sanitation-and-hygiene-can-save-1.4-million-lives-per-year>
- Weber-Shirk, M. L., & Dick, R. I. (1997). Biological mechanisms in slow sand filters. *American Water Works Association. Journal*, 89(2), 72-83.
- Weber-Shirk, M. (2002) Enhancing slow sand filter performance with an acid-soluble seston extract. *Water Research* 36, 4753-4756.
- Wigginton, K. R., & Kohn, T. (2012). Virus disinfection mechanisms: the role of virus composition, structure, and function. *Current opinion in virology*, 2(1), 84-89.
- Zipf, M. S., Pinheiro, I. G., & Conegero, M. G. (2016). Simplified greywater treatment systems: Slow filters of sand and slate waste followed by granular activated carbon. *Journal of Environmental Management*, 176, 119-127