



Métodos de Tratamiento de Agua en el Punto de Uso

Daniela Adalia Duran Romero ^a, Antônio Domingues Benetti ^a, Maria Cristina de Almeida Silva ^a.

^a *Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, RS, Brasil, dduranr@gmail.com; benetti@iph.ufrgs.br; maria.almeida@ufrgs.br.*

RESUMEN: Existe una diferencia significativa en el acceso al agua potable entre comunidades que viven en áreas rurales y áreas urbanas. Estas comunidades rurales que carecen de un servicio de agua potable, a menudo no tienen acceso a instalaciones de tratamiento de agua centralizadas. Para las comunidades en países en desarrollo, la mayoría de los problemas relacionados con el agua potable se deben a patógenos transmitidos como resultado de un saneamiento deficiente, lo que provoca el contagio de enfermedades de origen hídrico. Los sistemas de tratamiento de agua en el punto de uso (POU) son soluciones clave para tratar el agua en comunidades en desarrollo; estos sistemas buscan reducir la turbidez del agua y con esto eliminar patógenos de las fuentes antes del consumo. Muchas comunidades han implementado y utilizado sistemas de tratamiento de agua en el POU. Esta revisión se centra en los sistemas de POU que atienden hogares o comunidades, con el objetivo de presentar y discutir las tecnologías que se han implementado en los sistemas de tratamiento en el POU en los últimos años, agrupándolos en métodos con tratamiento térmico o basado en luz, métodos con tratamiento químico y métodos con tratamiento físico.

PALABRAS CLAVE: Agua potable, Saneamiento, Zonas rurales, Calidad del Agua, Punto de Uso, Tratamiento alternativo

1 INTRODUCCIÓN

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) establece explícitamente el derecho humano al agua y al saneamiento básico, donde afirman que para la realización de todos los derechos humanos es esencial contar con un agua potable y limpia [1]. Sin embargo, tres de cada diez personas o aproximadamente 2,1 billones, carecen de acceso a agua potable en todo el mundo [2]. Un servicio de agua potable gestionado de manera segura, según la Organización Mundial de la Salud (OMS), comprende que el agua debe ser accesible, debe estar disponible y libre de contaminación [2]; actualmente, 85% de la población mundial que vive en áreas urbanas cuenta con acceso a un servicio básico de agua de este tipo, no obstante, solo 55% de las personas que vive en áreas rurales tiene acceso a un servicio de agua potable gestionado de manera segura. Estos porcentajes muestran que existe una diferencia significativa en el acceso al agua potable entre las áreas rurales y urbanas [2]. Generalmente en regiones rurales, las comunidades carentes de agua potable no presentan condiciones sociales, económicas y culturales adecuadas para mantener y operar una estación convencional de tratamiento de agua, por ejemplo, en países en desarrollo la población que carece de servicios básicos de agua, utiliza fuentes de abastecimiento no mejoradas como pozos y manantiales no protegidos; estas fuentes son susceptibles a varios tipos de contaminación por microorganismos patogénicos, colocando en riesgo la salud de la población [3]. Anualmente son reportados 1,7 billones de casos de diarrea en el mundo, causando la muerte

de 525.000 niños menores de cinco años de edad por infecciones en el tracto intestinal [4]. El saneamiento deficiente y el agua contaminada están relacionados directamente con la transmisión de enfermedades de origen hídrico [2]. La transmisión de enfermedades hídricas puede ser controlada mediante el tratamiento adecuado del agua. En países en desarrollo el abastecimiento de agua es gestionado principalmente por sistemas convencionales de tratamiento centralizados los cuales abarcan procesos esenciales para remover microorganismos nocivos [5]; sin embargo, un sistema centralizado no es recomendado para el abastecimiento de agua en zonas rurales debido a la baja densidad poblacional y el costo inicial de instalación [6]; por esto, las soluciones descentralizadas y a nivel domiciliario son las tecnologías de tratamiento más adecuadas para estas comunidades [7]. Las opciones de tratamiento de agua en el punto de uso (POU) son sistemas de bajo costo y pequeño porte que pueden ser una alternativa para el abastecimiento de agua potable a nivel familiar en zonas rurales. Las opciones de tratamiento en el POU objetivan reducir la turbidez del agua y eliminar los patógenos de las fuentes de abastecimiento antes del consumo promoviendo así la mejoría en la calidad del agua destinada al consumo humano. Este documento tiene como objetivo presentar y discutir alternativas de tratamiento de agua en el POU para consumo humano en comunidades rurales.

2 METODOS DE TRATAMIENTO DE AGUA EN EL POU

Si bien hay muchas tecnologías avanzadas de tratamiento de agua disponibles, las tecnologías implementadas en sistemas de tratamiento en el POU se caracterizan principalmente por ser de bajo costo y fáciles de implementar. En general estos métodos pueden ser clasificados como: i) Métodos relacionados con el tratamiento térmico o con luz como la ebullición, la pasteurización, SODIS (desinfección solar), la desinfección UV y la destilación solar; ii) Métodos que emplean sustancias químicas como la coagulación/floculación, la cloración, la coagulación/desinfección combinada y la adsorción; y iii) Métodos que involucran tratamiento físico como la filtración convencional, el filtro Biosand y filtros de presión [8].

2.1 *Métodos con tratamiento térmico o basado en luz*

Uno de los tratamientos térmicos más efectivos a nivel doméstico es la ebullición, ha comprobado una remoción de patógenos de 99% y 97% en India y Vietnam respectivamente [9, 10] y puede desactivar algunos virus y protozoarios que son resistentes a la cloración [11]. Es capaz de producir agua microbiológicamente segura basada en la reducción de coliformes termo tolerantes (TTC) [10] y coliformes fecales (CF) [9], sin embargo, es un método de tratamiento costoso debido al uso de combustible como energía requerida, esta es una limitación importante ya que el mismo podría no estar disponible en áreas aisladas. Se han desarrollado otras tecnologías basadas en tratamiento térmico donde el requerimiento de combustible no es una restricción, por ejemplo, el aprovechamiento del sol como fuente renovable de energía. SODIS ha demostrado que puede producir agua potable microbiológicamente segura [12, 13]; es un método de desinfección eficaz y de bajo costo que implica la exposición por 6 horas del agua en botellas de tereftalato de polietileno (PET) o botellas de vidrio bajo la luz solar [3], permitiendo que los rayos ultra violeta (UV) se transmitan al agua. Los patógenos son inactivados tanto por los rayos UV del sol como por el aumento de la temperatura del agua [14]. SODIS es un método simple, puede ser aplicado por individuos, hogares y pequeñas comunidades [15, 16]. Un estudio reveló que fue capaz de desinfectar y lograr 6 valores logarítmicos de remoción (VLR) de *E. coli* con agua de pozo [18]. Una de las principales desventajas de SODIS es que no es adecuado para tratar agua con niveles de turbidez de más de 30 UNT a menos que se



Asociación de Universidades
GRUPO MONTEVIDEO



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

pueda promover un método de tratamiento previo [19], además depende de las condiciones climáticas y requiere un periodo de exposición de más de 48h en días nublados. No obstante, se puede lograr una buena desinfección durante la radiación solar baja mediante la adición de jugo de limón y vinagre [20], tiene un largo tiempo de tratamiento y por ende un bajo rendimiento [21], además no puede eliminar los contaminantes químicos en el agua [14].

La destilación solar es otra manera de utilizar la radiación solar como energía para tratamiento, los alambiques solares son las tecnologías de tratamiento en el POU más comúnmente empleadas [22]. Utilizan la radiación solar para la desalinización del agua y es ideal para aplicaciones en áreas remotas donde la demanda de agua es inferior a 50m³/d [23]. Debido a su baja productividad, los alambiques solares son prácticos solo para aplicaciones cuando el área tiene radiación solar intensa y no hay suministro de agua dulce [21]. Otro ejemplo de tratamiento basado en luz es la desinfección UV, por ejemplo, la unidad de POU portable UV007 es capaz de desinfectar 2,5 a 20 L de agua utilizando la luz UV en el rango de longitud de onda germicida en forma discontinua [24]. Su rendimiento se ve afectado por la turbidez, sin embargo se puede realizar una pre filtración para mejorar la transmisión de luz [25].

2.2 Métodos con tratamiento químico

La clarificación del agua a menudo es realizada por medio de coagulantes para la reducción de la turbidez del agua. La coagulación es la desestabilización de partículas más pequeñas (0,01 - 1µm), lo que resulta en la formación de partículas más grandes [26]. La coagulación es capaz de eliminar eficazmente la turbidez, los coloides [27] y los quistes protozoarios [5]. Los coagulantes convencionales más efectivos para la clarificación del agua son el alumbre, la sal de hierro y la cal; sin embargo, el uso de este tipo de coagulantes puede tornar caro el tratamiento del agua debido a la necesidad de importar estos productos en países en desarrollo, además requiere habilidades técnicas y una capacitación adecuada lo que complica la aplicación en las áreas rurales [28]. Por este motivo, se ha venido incrementando la investigación en el desarrollo de coagulantes naturales hechos a partir de plantas presentes en las regiones aisladas. Por ejemplo, las semillas de *Moringa Olifeira*, los taninos vegetales y el *Cactus latifaria*, lograron eficiencias de remoción de turbidez de 98%, 95% y 99% respectivamente actuando como coagulantes [28, 29, 30]. Una desventaja importante de la coagulación es que ella es incapaz de lograr una eliminación estable de coliformes [31]. Tiene que ir acompañada de un proceso de tratamiento adicional para mejorar la eficiencia general de eliminación de patógenos [14].

La desinfección con cloro es uno de los métodos de tratamiento para áreas rurales más utilizado debido a su bajo costo, a que se encuentra disponible en varias formas y puede tratar grandes volúmenes de agua [21]. El cloro en forma de tabletas es la tecnología de cloración preferida ya que es más fácil de manejar y transportar, ha demostrado un desempeño de 1 - 2 VLR de bacterias, protozoarios y virus. Sin embargo, con la cloración no se percibe mejora visible del color y persiste un problema de sabor en el agua lo que lo torna difícil de implementar, también es difícil de determinar la dosis adecuada de cloro que necesita el agua [32, 33, 34, 35]. Han sido desarrolladas tecnologías que combinan los procesos de coagulación y desinfección del agua. El sobre PuR es un claro ejemplo de la unión de estos procesos de tratamiento. Este producto combina sulfato férrico, bentonita, carbonato de sodio, acrilamida, quitosán (auxiliares floculantes), permanganato de potasio (agente oxidante) e hipoclorito de calcio (desinfectante) en un sobre para tratar un volumen de 10 L de agua [34]. El contenido del sobre se mezcla con agua turbia, el agua limpia se obtiene cribando la solución resultante a través de un paño de algodón [35]. El uso del PuR se ha asociado con una reducción de la diarrea del 90%, 24% y 19% en Liberia, Guatemala y Kenia, respectivamente [34, 36, 37], además es capaz de

eliminar el arsénico en un 99,8% [35], lo que muestra su capacidad de eliminar algunos contaminantes químicos.

2.3 Métodos con tratamiento físico

La filtración es un proceso simple de tratamiento de agua capaz de eliminar coloides, sólidos suspendidos y patógenos de las fuentes de agua potable. Las principales tecnologías de filtración implementadas en el POU son el filtro Biosand (BSF) y la filtración de membrana [14]. El BSF es una adaptación del filtro de arena lento convencional a diferencia de que él es más pequeño y es adaptado para un uso intermitente [38]. Su principal característica es que la salida del filtro está localizada por encima del nivel superior de la camada de filtración, debido a la diferencia de presiones, el material de filtración permanece completamente saturado durante todo el proceso, permitiendo que se forme una capa biológica alrededor de los granos del medio filtrante, responsable de la eliminación de los patógenos presentes en el agua [39]. El BSF ha demostrado que es capaz de eliminar más del 95% de turbidez y diferentes aplicaciones del filtro han reportado reducciones significativas de *E. coli* por ejemplo en Ghana se reportó una reducción del 97% [40], en Haití del 98,5% [41] y en Kenya del 94,4% [42]. Su principal desventaja es que tiene un tiempo de inicio largo debido a que la capa biológica demora aproximadamente 30 días en formarse [38], a pesar de esto, este método de tratamiento tiene otras ventajas, no requiere ningún tipo de energía ya que funciona por gravedad, es fácil de usar, lo que lo torna adecuado para poblaciones aisladas, puede ser construido con materiales locales y tiene un único costo inicial [21].

Por el contrario la filtración por membrana no tiene un tiempo de arranque necesario y es uno de los procesos de tratamiento de agua potable más efectivos. Se concluyó que la filtración por membrana es el medio más eficaz para prevenir la diarrea. Proporciona una barrera absoluta para los microorganismos, reteniéndolos dentro de la fuente de agua [43], no obstante, requiere energía externa, como el bombeo eléctrico. Debido al alto consumo de energía utilizado, en los últimos 10 años se ha venido investigando la filtración por membrana impulsada por gravedad (GDM), este proceso hace parte de las tecnologías de ultrafiltración las cuales se identifican por sus poros que son más pequeños que el tamaño de las bacterias y los virus. La GDM se caracteriza principalmente por actuar con presiones relativamente bajas que pueden lograrse por gravedad y debido a la estabilización del flujo en la membrana se permite la formación de una película biológica, esto permite un funcionamiento estable durante un año o más sin ningún tipo de limpieza o lavado [44]. El sistema muestra desempeño de 6-7 VLR de bacterias, 2-4,7 VLR de virus y 3,6 VLR de protozoos [45].

3 CONCLUSIONES

Los métodos de tratamiento de agua de POU han demostrado resultados efectivos en la eliminación de patógenos y han comprobado que pueden reducir los episodios de diarrea. Algunos como el BSF son fáciles de usar y necesitan un mantenimiento mínimo, en otros el aprovechamiento del sol como energía renovable ha permitido la desinfección del agua, además se ha logrado empacar en pequeños sobres el coagulante y el desinfectante juntos para facilitar el transporte y las tabletas de cloro han conseguido perfeccionar la dosis de aplicación, la cual es importante ya que involucran una capacitación adecuada de la población a la cual va dirigido el tratamiento. No obstante, la educación técnica de la población es importante ya que el desempeño del sistema en relación a la eliminación de patógenos depende del buen uso y mantenimiento del mismo además del almacenamiento adecuado del agua tratada.



4 AGRADECIMIENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Programa Estudantes-Convênio de Pós-Graduação – PEC-PG, da CAPES/CNPq – Brasil.

5 REFERENCIAS

1. UN–United nations. (2015). Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development.
2. WHO – World Health Organization/ UNICEF – United Nations International Children’s Emergency Foundation. (2017). Progresos en materia de agua potable, saneamiento e higiene: informe de actualización de 2017 y línea de base de los ODS.
3. Wegelin, M., Canonica, S., Mechsner, K., Fleischmann, T., Pesaro, F., & Metzler, A. (1994). Solar water disinfection: scope of the process and analysis of radiation experiments. *Aqua*, 43(4), 154-169.
4. WHO – World Health Organization. (2017). Diarrheal Disease. Fact Sheets, 1-4.
5. Betancourt, W. Q., & Rose, J. B. (2004). Drinking water treatment processes for removal of *Cryptosporidium* and *Giardia*. *Veterinary Parasitology*, 126(1-2), 219-234.
6. Mankad, A., & Tapsuwan, S. (2011). Review of socio-economic drivers of community acceptance and adoption of decentralised water systems. *Journal of Environmental Management*, 92(3), 380-391.
7. WHO – World Health Organization. Progress on sanitation and drinking-water. Geneva, 2012.
8. Peter-Varbanets, M., Zurbrügg, C., Swartz, C., & Pronk, W. (2009). Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Research*, 43(2), 245-265.
9. Clasen, T., McLaughlin, C., Nayaar, N., Boisson, S., Gupta, R., Desai, D., & Shah, N. (2008). Microbiological effectiveness and cost of disinfecting water by boiling in semi-urban India. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 79(3), 407-413.
10. Clasen, T. F., Thao, D. H., Boisson, S., & Shipin, O. (2008). Microbiological effectiveness and cost of boiling to disinfect drinking water in rural Vietnam. *Environmental Science & Technology*, 42(12), 4255-4260.
11. Sobsey, M. D., Water, S., & World Health Organization. (2002). Managing water in the home: accelerated health gains from improved water supply. Geneva.
12. Meyer, V., & Reed, R. H. (2001). SOLAR disinfection of coliform bacteria in hand-drawn drinking water. *Water SA*, 27(1), 49-52.
13. Berney, M., Weilenmann, H. U., Simonetti, A., & Egli, T. (2006). Efficacy of solar disinfection of *Escherichia coli*, *Shigella flexneri*, *Salmonella Typhimurium* and *Vibrio cholerae*. *Journal of Applied Microbiology*, 101(4), 828-836.
14. Pooi, C. K., & Ng, H. Y. (2018). Review of low-cost point-of-use water treatment systems for developing communities. *Nature Partner Journals. Clean Water*, 1, 11.
15. Reed, R. H. (2004). The inactivation of microbes by sunlight: solar disinfection as a water treatment process. *Advances in Applied Microbiology*, 54(333365), 54012-1.
16. Hindiyeh, M., & Ali, A. (2010). Investigating the efficiency of solar energy system for drinking water disinfection. *Desalination*, 259(1-3), 208-215.
17. Keogh, M. B., Castro-Alfárez, M., Polo-López, M. I., Calderero, I. F., Al-Eryani, Y. A., Joseph-Titus, C., & Fernández-Ibáñez, P. (2015). Capability of 19-L polycarbonate plastic water cooler containers for efficient solar water disinfection (SODIS): Field case studies in India, Bahrain and Spain. *Solar Energy*, 116, 1-11.
18. Fisher, M. B., Keenan, C. R., Nelson, K. L., & Voelker, B. M. (2008). Speeding up solar disinfection (SODIS): effects of hydrogen peroxide, temperature, pH, and copper plus ascorbate on the photoinactivation of *E. coli*. *Journal of Water and Health*, 6(1), 35-51.
19. Luzi, S., Tobler, M., Suter, F., & Meierhofer, R. (2016). SODIS manual: Guidance on solar water disinfection. Duebendorf: EAWAG.
20. Amin, M. T., & Han, M. Y. (2011). Improvement of solar based rainwater disinfection by using lemon and vinegar as catalysts. *Desalination*, 276(1-3), 416-424.
21. Loo, S. L., Fane, A. G., Krantz, W. B., & Lim, T. T. (2012). Emergency water supply: a review of potential technologies and selection criteria. *Water Research*, 46(10), 3125-3151.
22. Aboabboud, M. M., Horvath, L., Szépvölgy, J., Mink, G., Radhika, E., & Kudish, A. I. (1997). The use of a thermal energy recycle unit in conjunction with a basin-type solar still for enhanced productivity. *Energy*, 22(1), 83-91.
23. Bouchekima, B., Gros, B., Ouahes, R., & Diboun, M. (1998). Performance study of the capillary film solar distiller. *Desalination*, 116(2-3), 185-192.

24. Berg, P. A. (2010). A new water treatment product for the urban poor in the developing world. In World Environmental and Water Resources Congress (pp. 2010-2025).
25. Gadgil, A., Greene, D., Drescher, A., Miller, P., & Kibata, N. (1998). Low Cost UV Disinfection System For Developing Countries: Field Tests In South Africa. In Proceedings of the First International Symposium on Safe Drinking Water in Small Systems.
26. Metcalf, E. E., & Eddy, H. (2003). Wastewater Engineering; treatment and reuse. Mc-Graw-Hill.
27. Jiang, J. Q. (2015). The role of coagulation in water treatment. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 8, 36-44.
28. Amagloh, F. K., & Benang, A. (2009). Effectiveness of Moringa oleifera seed as coagulant for water purification. *African Journal of Agricultural Research*, 4(2), 119-123.
29. Sánchez-Martín, J., González-Velasco, M., & Beltrán-Heredia, J. (2010). Surface water treatment with tannin-based coagulants from Quebracho. *Chemical Engineering Journal*, 165(3), 851-858.
30. Diaz, A., Rincon, N., Escorihuela, A., Fernandez, N., Chacin, E., & Forster, C. F. (1999). A preliminary evaluation of turbidity removal by natural coagulants indigenous to Venezuela. *Process Biochemistry*, 35(3-4), 391-395.
31. Crump, J. A., Okoth, G. O., Slutsker, L., Ogaja, D. O., Keswick, B. H., & Luby, S. P. (2004). Effect of point of use disinfection, flocculation and combined flocculation–disinfection on drinking water quality in western Kenya. *Journal of Applied Microbiology*, 97(1), 225-231.
32. Clasen, T., Saeed, T. F., Boisson, S., Edmondson, P., & Shipin, O. (2007). Household water treatment using sodium dichloroisocyanurate (NaDCC) tablets: a randomized, controlled trial to assess microbiological effectiveness in Bangladesh. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 76(1), 187-192.
33. Jain, S., Sahanoon, O. K., Blanton, E., Schmitz, A., Wannemuehler, K. A., Hoekstra, R. M., & Quick, R. E. (2010). Sodium dichloroisocyanurate tablets for routine treatment of household drinking water in periurban Ghana. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 82(1), 16-22.
34. Reller, M. E., Mendoza, C. E., Lopez, M. B., Alvarez, M., Hoekstra, R. M., Olson, C. A., & Luby, S. P. (2003). A randomized controlled trial of household-based flocculant-disinfectant drinking water treatment for diarrhea prevention in rural Guatemala. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 69(4), 411-419.
35. Souter, P. F., Cruickshank, G. D., Tankerville, M. Z., Keswick, B. H., Ellis, B. D., Langworthy, D. E., & Perry, J. D. (2003). Evaluation of a new water treatment for point-of-use household applications to remove microorganisms and arsenic from drinking water. *Journal of Water and Health*, 1(2), 73-84.
36. Crump, J. A., Otieno, P. O., Slutsker, L., Keswick, B. H., Rosen, D. H., Hoekstra, R. M., & Luby, S. P. (2005). Household based treatment of drinking water with flocculants-disinfectant for preventing diarrheal in areas with turbid source water in rural western Kenya: cluster randomized controlled trial. *British Medical Journal*, 331(7515), 478.
37. Doocy, S., & Burnham, G. (2006). Point of use water treatment and diarrhoea reduction in the emergency context: an effectiveness trial in Liberia. *Tropical Medicine & International Health*, 11(10), 1542-1552.
38. CAWST - Centre for Affordable Water and Sanitation Technology. (2009). Biosand Filter Manual Design, Construction, Installation, Operation and Maintenance. Creative Commons, Calgary, Alberta, Canada.
39. Mahmood, Q., Baig, S. A., Nawab, B., Shafqat, M. N., Pervez, A., & Zeb, B. S. (2011). Development of low cost household drinking water treatment system for the earthquake affected communities in Northern Pakistan. *Desalination*, 273(2-3), 316-320.
40. Stauber, C., Kominek, B., Liang, K., Osman, M., & Sobsey, M. (2012). Evaluation of the impact of the plastic BioSand filter on health and drinking water quality in rural Tamale, Ghana. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 9(11), 3806-3823.
41. Duke, W. F., Nordin, R. N., Baker, D., & Mazumder, A. (2006). The use and performance of BioSand filters in the Artibonite Valley of Haiti: a field study of 107 households. *Rural Remote Health*, 6(3), 570.
42. Tiwari, S. S. K., Schmidt, W. P., Darby, J., Kariuki, Z. G., & Jenkins, M. W. (2009). Intermittent slow sand filtration for preventing diarrhoea among children in Kenyan households using unimproved water sources: randomized controlled trial. *Tropical Medicine & International Health*, 14(11), 1374-1382.
43. Clasen, T. F., Alexander, K. T., Sinclair, D., Boisson, S., Peletz, R., Chang, H. H., & Cairncross, S. (2015). Interventions to improve water quality for preventing diarrhea. *Cochrane Database of Systematic Reviews*.
44. Pronk, W., Ding, A., Morgenroth, E., Derlon, N., Desmond, P., Burkhardt, M., & Fane, A. G. (2018). Gravity-driven membrane filtration for water and wastewater treatment: A review. *Water Research*.
45. 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. *The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 80(5), 819-823.