



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

EVALUACIÓN DE LA EFICACIA MICROBIOLÓGICA DE FILTROS DE
AGUA DE CERÁMICA NEGRA PRODUCIDOS EN PIFO-ECUADOR

AUTOR

PRISCILA CAROLINA BALSECA ENRÍQUEZ

AÑO

2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS

EVALUACIÓN DE LA EFICACIA MICROBIOLÓGICA DE FILTROS DE AGUA
DE CERÁMICA NEGRA PRODUCIDOS EN PIFO-ECUADOR

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el Título de Ingeniera en Biotecnología

Profesora Guía
PhD. Laura Guerrero Latorre

Autora
Priscila Carolina Balseca Enríquez

Año
2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Evaluación de la eficacia microbiológica de filtros de agua de cerámica negra producidos en Pifo-Ecuador, a través de reuniones periódicas con la estudiante Priscila Carolina Balseca Enríquez, en el semestre 2018-1, orientando sus conocimientos y competencias para un eficiente desarrollo del tema escogido y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Laura Guerrero Latorre

Doctora en Microbiología Ambiental y Biotecnología

CI: 1758028896

DECLARACIÓN DEL PROFESOR CORRECTOR

“Declaro haber revisado este trabajo, Evaluación de la eficacia microbiológica de filtros de agua de cerámica negra elaborados en Pifo-Ecuador, a través de reuniones periódicas de la estudiante Priscila Carolina Balseca Enríquez, en el semestre 2018-1, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación”.

Carlos Andrés Bastidas Calles
Máster en Ciencias de Microbiología Avanzada
CI: 0201619806

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se representaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

Priscila Carolina Balseca Enríquez

CI: 171559835-3

AGRADECIMIENTOS

Nada de esto sería posible sin su apoyo, cuidado, amor y respeto, a María Asimbaya e Ivonne García les agradezco haber formado a la mujer que soy hoy en día, y permitirme ser la profesional que tanto soñé.

A la Doc. Laura Guerrero por haberme permitido trabajar a su lado, por todo su apoyo y comprensión.

A Carlos Moyota por ser mi compañero de trabajo y amigo, gracias por toda tu ayuda.

DEDICATORIA

A mi familia, María Asimbaya e Ivonne García por ser como mis mamás. A mi esposo Juan Carlos Pallo por todo tu amor, apoyo y comprensión. A mi Martín, todo esto es por ti y para ti.

Resumen

El filtro de cerámica es una opción de tratamiento de agua a nivel domiciliario que resulta eficaz en la remoción de bacterias, protozoarios y helmintos. Los filtros son elaborados a partir de un material combustible, no combustible y agua. Los filtros son cocidos en hornos que consumen el material orgánico, dejando una superficie porosa capaz de retener microorganismos. Los filtros son impregnados con plata coloidal debido a su efecto bactericida. Los filtros hasta ahora elaborados no resultan eficaces en la remoción de virus, por lo que en este estudio se planteó evaluar la eficacia microbiológica de un prototipo de filtro de cerámica negra cocido en atmósfera reductora. Se partió de un batch de 16 filtros elaborados en la fábrica "Horeb" en Pifo-Ecuador, los cuales fueron elaborados con 10 kg de arcilla, 68 kg de aserrín y 25 litros de agua. Los filtros fueron cocidos en un horno por 13.5 horas hasta los 890°C. Por último, los filtros fueron impregnados con 9.48 g de nitrato de plata coloidal. Se analizó la eficacia microbiológica de 3 filtros para la remoción de bacterias y virus después de 1200 L de agua filtrada. Como microorganismos modelo se utilizó stocks de trabajo de *Escherichia coli* ATCC 25922 y del bacteriófago MS2. Después de 600 L se observó un LRV (Valor de Reducción Logarítmica) de 5.36 Log para *E. coli*, que de acuerdo con la OMS (Organización Mundial de la Salud) puede ser considerado como un tratamiento "altamente protector". Mientras que para MS2 se observó un LRV de 3.83 Log ubicándolo como un tratamiento protector. La eficacia microbiológica de los filtros se vio afectada después de los 600 L de agua filtrada, esta disminución se puede atribuir a la aparición de una biopelícula por fuera del filtro, que afectó la adhesión de los microorganismos a la superficie porosa. En conclusión, el filtro de cerámica es una opción para el tratamiento de agua a nivel domiciliario eficiente en la remoción de bacterias y virus. Sin embargo, es necesario realizar estudios en campo para determinar cómo se comportan los filtros de cerámica negra con agua con concentraciones de microorganismos reales. También se recomienda analizar la cantidad y la forma en la que se añade la plata coloidal al filtro, para inhibir la presencia de una biopelícula.

Palabras clave: Filtro de cerámica negra, tratamiento de agua domiciliario, atmósfera reductora, almacenamiento seguro, eficiencia en la eliminación viral.

ABSTRACT

The ceramic filter is an option for water treatment at the household level that is effective in the removal of bacteria, protozoa and helminths. The filters are made from a combustible material, not fuel and water. The filters are baked in ovens that consume the organic material, leaving a porous surface capable of retaining microorganisms. The filters are impregnated with colloidal silver due to their bactericidal effect. The filters so far elaborated are not effective in the removal of viruses, so in this study we decided to evaluate the microbiological efficacy of a prototype black ceramic filter cooked in a reducing atmosphere. It was started from a batch of 16 filters manufactured in the factory "Horeb" in Pifo-Ecuador, which were made with 10 kg of clay, 68 kg of sawdust and 25 liters of water. The filters were baked in an oven for 13.5 hours up to 890 ° C. Finally, the filters were impregnated with 9.48 g of colloidal silver nitrate. The microbiological efficacy of 3 filters for the removal of bacteria and viruses after 1200 L of filtered water was analyzed. As a model microorganism, work stocks of *Escherichia coli* ATCC 25922 and bacteriophage MS2 were used. After 600 L, an LRV (Logarithmic Reduction Value) of 5.36 Log was observed for *E. coli*, which according to the WHO (World Health Organization) can be considered as a "highly protective" treatment. While for MS2 an LRV of 3.83 Log was observed, placing it as a protective treatment. The microbiological efficacy of the filters was affected after 600 L of filtered water, this decrease can be attributed to the appearance of a biopellicula outside the filter, which affected the adhesion of microorganisms to the porous surface. In conclusion, the ceramic filter is an option for the treatment of domestic water efficient in the removal of bacteria and viruses. However, it is necessary to conduct field studies to determine how black ceramic filters behave with water with concentrations of real microorganisms. It is also recommended to analyze the amount and the way in which colloidal silver is added to the filter, to inhibit the presence of a biopellicula.

Keywords: Black ceramic filter, domiciliary water treatment, reducing atmosphere, safe storage, efficiency in viral elimination.

ÍNDICE

1. Capítulo I. Introducción	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	2
1.3 Objetivo General.....	4
1.4 Objetivos Específicos	4
1.5 Justificación de la Investigación.....	4
2. Capítulo II. Marco Teórico	6
2.1 El agua potable.....	6
2.1.1 Acceso al agua potable en el mundo.	6
2.1.2 Definición de agua potable.....	7
2.1.3 Cobertura de agua potable en el Ecuador.....	8
2.2 Enfermedades relacionadas con el agua no potable	9
2.2.1 Falta de acceso a agua segura	9
2.2.2 Contaminación fecal-oral.....	10
2.2.3 Diarrea como principal enfermedad por falta de agua segura.....	11
2.3 Agentes etiológicos relacionados con el consumo de agua contaminada.....	12
2.3.1 Bacterias	12
2.3.2 Virus	13
2.3.3 Protozoarios	13
2.3.4 Helmintos	13
2.4 Tratamientos de agua domiciliar	15
2.4.1 Características de los tratamientos de agua domiciliar	15
2.4.2 Tratamientos basados en métodos físicos.	17
2.4.2.1 Radiación UV. Solar Desinfection (SODIS)	17

2.4.2.2 Tratamiento Térmico-Ebullición	18
2.4.2.3 Tratamiento Térmico-Destilación Solar.....	20
2.4.2.4 Filtración a través de Filtros de Cerámica	21
2.4.2.5 Filtración a través de Filtros de Arena (Biosand Filter)	22
2.4.2.6 Filtración a través de membranas.....	24
2.4.2.7 Sedimentación a través del Método de Sedimentación con Tres Vasos	25
2.4.3 Tratamientos basados en métodos químicos.....	26
2.4.3.1 Cloración	26
2.4.3.2 Floculación a través de Coagulantes Naturales.....	28
2.4.3.3 Floculación a través de Coagulantes Sintéticos.	29
2.4.4 Disponibilidad a nivel mundial de los tratamientos de agua domiciliar	30
2.4.5 Eficacia microbiológica de los tratamientos de agua domiciliar.....	31
2.5 Filtros de agua de cerámica	34
2.5.1 Historia	34
2.5.2 Estructura.....	35
2.5.3 Proceso de filtración.....	36
2.5.4 Fabricación.....	36
2.5.5 Mecanismos de efectividad	38
2.5.5.1 Desactivación bacteriana por plata.....	38
2.5.5.2 Tamaño de poro y porosidad del filtro	38
2.5.5.3 Propiedades hidráulicas y tasa de flujo	40
2.5.5.4 Eficiencia microbiológica	41
2.6 Filtros de agua de cerámica negra.	42
2.6.1 Modificados con óxidos de hierro.....	43
2.6.2 Cocidos en atmósfera reductora	43
2.7 Fábrica Horeb Pifo-Ecuador	46
4. Capítulo IV. Procedimientos.....	48
4.1 Determinación de la población.....	48

4.2 Determinación de la muestra	48
4.3 Descripción de materiales y métodos	48
4.3.1 Microorganismos modelo	48
4.3.1.1 <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	48
4.3.1.2 Bacteriófago MS2	52
4.3.2 Producción de filtros de agua de cerámica negra.	56
4.3.3 Test de eficacia microbiológica de los filtros elaborados.....	57
4.3.4 Montaje sistema continuo de filtración	58
4.3.5 Evaluación semanal de los filtros negros durante 1200 L	59
4.4 Evaluación estadística de los resultados	59
5. Capítulo V. Resultados y Discusión.	60
5.1 Preparación de Stocks de Trabajo.....	60
5.1.1 Bacteriófago MS2.....	60
5.1.2 <i>Salmonella typhimurium</i> WG49.....	60
5.1.3 <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922.....	61
5.2 Producción de los filtros de cerámica negra	62
5.3 Ensayo de efectividad de los filtros de cerámica negra	64
5.3.1 Ensayos microbiológicos.....	64
6. Conclusiones y Recomendaciones	67
6.1 Conclusiones.....	67
6.2 Recomendaciones.....	67
REFERENCIAS.....	69
ANEXOS	74

1. Capítulo I. Introducción

1.1 Antecedentes

Uno de los objetivos más importantes que se han planteado los gobiernos a nivel mundial, es el de suministrar agua potable a la población, además de un correcto saneamiento que mejore la calidad de las fuentes de agua que tiene a disposición la población rural (OMS, 2013c). Para que el agua se considere segura, debe cumplir un conjunto de características que la vuelvan apta de consumir, entre ellas son varias características microbiológicas y fisicoquímicas. Pero a pesar de la necesidad de consumir agua segura, la disponibilidad de agua de calidad se ve limitada a países de baja-mediana renta a comparación de los de alta renta. Países de alta renta tienen una disposición de agua segura del 99.5%, mientras que en países de baja renta es inferior al 15% (OMS, 2013a).

Las formas en las que se pueden contaminar las fuentes cercanas de agua pueden ser varias, pero en zonas rurales la principal causa se atribuye a la contaminación fecal-oral. Esta contaminación puede tener diferentes orígenes: pueden originarse por la falta de tratamiento de las aguas servidas, por la contaminación durante su transporte, por recipientes contaminados, por formas inseguras de almacenamiento del agua, por alimentos contaminados con heces de animales o personas, el incorrecto lavado de manos o por vectores (Guerrero-Latorre, 2016).

Una de las principales enfermedades causadas por el consumo de agua no segura es la diarrea. Se ha registrado que a nivel mundial uno de cada diez niños menores a 5 años muere a causa de enfermedades diarreicas, reportándose en el año 2013 alrededor de 800 000 muertes infantiles en su mayoría en países de África y Asia, seguidos por países del Caribe y América del Sur. De un estimado de 8 795 muertes de niños menores a cinco años reportados en el 2008, en América, África y Asia, el 68% (5 970 millones) corresponde a enfermedades infecciosas, entre las que se destacan la neumonía con un 18% (1 575 millones), la diarrea con un 15% (1 336 millones) y la malaria con un 8% (732 millones) (Levine, Kotloff, Nataro, & Muhsen, 2012).

Una forma de tratamiento del agua a nivel domiciliario son los filtros de agua de cerámica, que han demostrado ser rentables y eficaces en la remoción de bacterias, protozoarios y helmintos, con una eficacia muy por debajo para virus. Además de su eficiencia, su elaboración resulta rentable ya que son elaborados con materiales locales que resultan baratos y pueden ser elaborados por la propia población. Estos filtros son elaborados a partir de algún tipo de arcilla y un material orgánico capaz de ser combustionado. Esta mezcla es moldeada y cocida en hornos que permite la carbonización total del material orgánico, dejando así una superficie porosa capaz de retener microorganismos en su estructura (Brown, Sobsey, & Loomis, 2008). Después de ser cocidos son impregnados con plata coloidal, que aporta efecto bactericida y capacidad de destruir membranas celulares. La plata coloidal actúa durante el tiempo que toma la filtración y el tiempo que el agua permanece almacenada en el receptáculo. Este efecto a largo plazo es debido a que la plata lixivia con el filtrado, permitiendo un mayor tiempo de contacto con el agua filtrada, eliminando cualquier microorganismo que haya escapado a la filtración o que se pueda encontrar en el receptáculo de almacenamiento (Potters for Peace, 2011). Hay varias formas de elaborar filtros de cerámica dependiendo de los materiales que se utilicen y las condiciones en las que se los elabore, una nueva alternativa de filtros de cerámica son los cocidos en atmósfera reductora, los cuales han sido elaborados y analizados a escala de laboratorio resultando eficaces en la remoción de bacterias, protozoos, helmintos y virus (Guerrero-Latorre et al., 2015). Hasta el momento ningún filtro de cerámica podía ser considerado como protector en la remoción de virus, por lo que los filtros de cerámica negra elaborados a escala industrial podrían ser un tratamiento de agua a nivel domiciliario efectivo en la remoción de virus.

1.2 Planteamiento del Problema

La Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo Urbano y Rural realizada en el Ecuador por parte del Senplades durante el período 2006-2013, analizó el acceso a los servicios básicos de agua potable y alcantarillado, lo que mostró que un 91% de la población urbana y un 35% de la población rural tenían acceso a agua potable. Mientras que un 78% de la población urbana y un 18%

de la población rural tenían viviendas con alcantarillado sanitario, mostrando así la brecha enorme entre las zonas urbanas y rurales del Ecuador (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2014).

La falta de agua segura puede acarrear un conjunto de enfermedades causadas por agentes infecciosos de origen bacteriano, vírico, por presencia de protozoarios o helmintos. La falta de tratamientos centralizados de agua en zonas rurales plantea la posibilidad de desarrollar formas de tratamiento del agua a nivel domiciliario adaptadas al contexto. Es así como los filtros de agua de cerámica son una opción prometedora para la remoción de bacterias, protozoarios y helmintos. En un estudio realizado por Simonis y Basson (2011) los filtros de cerámica han reportado una eficacia en la remoción de bacterias de hasta 6.8 Logs, lo cual lo vuelve un tratamiento de agua efectivo para la remoción de bacterias como *Escherichia coli* (microorganismo presente en el material fecal de animales de sangre caliente). Pero estos filtros presentan una desventaja, no son eficientes en la remoción de virus causantes de enfermedades diarreicas. Esto es debido a que los virus son demasiado pequeños y no pueden ser retenidos en la estructura porosa del filtro, además la plata no tiene efecto en los virus ya que ésta afecta a membranas celulares y los virus entéricos no presentan dicha estructura, están recubiertos por una cápsula proteica. En un estudio realizado por Van Halem (2009) se reportó una reducción del 0.6-0.9 Log para el bacteriófago modelo MS2 después de 5 semanas, este valor incrementó a 1.1-1.8 Log después de 13 semanas de almacenamiento en el receptáculo y contacto con la plata coloidal (Van Halem, Laan, Heijman, Dijk, & Amy, 2009). Sin embargo estos valores de reducción resultan insuficientes para ser considerado como un método protector, ya que de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) para ser protector contra virus debe presentar un Valor de Reducción Logarítmica (LRV) ≥ 3 (WHO, 2011).

La fabricación de filtros de cerámica se ha extendido hasta 30 fábricas a nivel mundial, implementadas principalmente por Organizaciones No Gubernamentales con el apoyo de Potters for Peace. En el Ecuador existe una de estas fábricas construida en 2009 donde se elaboran filtros de cerámica, a través de la microempresa "Horeb" ubicada en Pifo-Ecuador. Estos filtros de

cerámica son eficientes en la remoción de bacterias, protozoarios y helmintos, mas no en la remoción de virus que también son importantes causantes de enfermedades diarreicas. A inicios del año 2017 se ha implementado por primera vez la producción de filtros de cerámica negra en la fábrica “Horeb”, con el apoyo y asesoramiento de la Universidad de las Américas “UDLA” y de la Doctora Laura Guerrero Latorre.

1.3 Objetivo General

Determinar la eficiencia microbiológica de filtros de cerámica negra para remoción de bacterias y virus en agua, elaborados a escala industrial en la fábrica “Horeb” en Pifo-Ecuador.

1.4 Objetivos Específicos

Determinar la eficiencia microbiológica de un 10% del batch producido en la fábrica Horeb mediante el empleo de bacterias y virus modelo.

Medir la eficacia de los filtros de cerámica negra a largo plazo, después de filtrar 1200 litros de agua.

1.5 Justificación de la Investigación

El acceso al agua potable en el Ecuador es un recurso limitado en las zonas rurales y de mediano acceso en las zonas urbanas. Las parroquias rurales de las tres provincias del Ecuador tienen un limitado acceso al agua potable, no disponen de agua tratada previamente para su consumo, por lo que recurren a fuentes de agua cercanas como acequias, ríos, lagos, cascadas, etc. Pero estas fuentes de agua no siempre son seguras para consumir, muchas veces el agua no cumple con los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos para ser considerada segura. El agua disponible puede ser contaminada de diversas formas, pero la principal contaminación de los cuerpos de agua es la contaminación fecal-oral. La falta de saneamiento adecuado en zonas rurales también vuelve propensas a las fuentes de agua de ser contaminadas (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2014).

Los microorganismos patógenos causantes de enfermedades gastrointestinales pueden ser transmitidos por el consumo de agua contaminada con material fecal. Una de las enfermedades que más afecta a la población es la diarrea ya sea de origen bacteriano o vírico, y la población más vulnerable son los niños menores a cinco años. Las formas de desinfección del agua en zonas rurales del Ecuador son limitadas, pocos son los métodos de tratamiento domiciliar que utilizan los ecuatorianos, entre los más comunes tenemos la ebullición del agua, la adición de cloro y la desinfección solar, pero no todas las personas tienen acceso o el conocimiento de las formas de tratamiento del agua en el hogar (Black et al., 2010).

Es importante que las poblaciones rurales de todo el mundo que no tienen acceso al agua potable puedan implementar un método eficiente en la remoción de bacterias, virus, protozoarios y helmintos. Un tratamiento de agua domiciliar que ha resultado eficiente en la remoción de microorganismos son los filtros de cerámica, una tecnología que viene siendo utilizada desde 1981 en más de 30 países desarrollados y en desarrollo. El filtro de cerámica es una tecnología que resulta rentable, ya que pueden ser elaborados con materiales locales por la misma población a la que va destinada. Sin embargo, estos filtros no resultan eficaces en la remoción de virus debido a que no pueden ser retenidos en su estructura porosa por su tamaño demasiado pequeño, y tampoco pueden ser eliminados por la plata coloidal que se encuentra en la superficie del filtro (Potters for Peace, 2011). Una nueva alternativa que se ha presentado son los filtros de cerámica negra, elaborados en un inicio a escala de laboratorio y resultando eficaces en la remoción de virus, mientras que a inicios del 2017 se implementó la primera producción de filtros de cerámica negra a escala industrial en Pifo-Ecuador como tratamiento de agua a nivel domiciliar.

El principal aporte a nivel científico y académico del presente proyecto de investigación radica en evaluar la eficacia microbiológica de los filtros de cerámica negra, en la remoción de bacterias y virus del agua. Estos filtros han sido elaborados con materiales propios del Ecuador, por parte de la fábrica "Horeb" ubicada en la parroquia Pifo. Además, se pretende evaluar la eficacia microbiológica de los filtros de cerámica negra después de filtrar 1 200 litros de

agua, siendo la cantidad de agua mensual en promedio que consume una familia para beber y cocinar.

2. Capítulo II. Marco Teórico

2.1 El agua potable

2.1.1 Acceso al agua potable en el mundo.

El agua es un derecho humano al que toda persona tiene derecho a acceder, ya que es fundamental para la vida y la salud. El beber agua es un requisito para que todos los demás derechos humanos se puedan llevar a cabo. Todas las personas en el mundo deben tener acceso al agua potable para el consumo, pero esta debe ser segura química y microbiológicamente. Además, el agua potable debe ser repartida de manera equitativa sin ningún tipo de discriminación (Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas, 2015)

Para el año 2016 se reportó que el 91% de la población a nivel mundial tenía acceso a una fuente de agua potable mejorada, a comparación de 1990 que presentaba un acceso del 76%. Es decir, 6 600 millones de personas a nivel mundial tienen acceso a una fuente de agua mejorada en comparación de 663 millones de personas sin acceso a la misma. Sigue existiendo una disparidad entre las zonas urbanas y rurales en todo el mundo, el 96% de la población urbana tiene acceso al agua potable mientras que tan solo el 84% la población rural tiene acceso, esto quiere decir que ocho de cada 10 personas en las zonas rurales siguen sin acceso a una fuente de agua mejorada. Las poblaciones que no presentan ningún tipo de acceso al agua potable se encuentran principalmente en Asia y África subsahariana (OMS, 2017b).

Para el año 2016 se ha reportado que 181 países han logrado alcanzar el 75% de cobertura de agua potable en todo el mundo. Las regiones que tienen cobertura del 91-100% de agua potable se encuentran en toda Norteamérica, la mayoría de los países latinoamericanos y el Caribe, toda Europa, ciertos países de Asia y toda Oceanía. En comparación de países de África que tienen una cobertura menor al 50% en ciertos países y máximo del 75% en otros, y ciertos

países de Asia que reportan un acceso máximo del 75% (Figura 1.) (UNICEF & WHO, 2017)

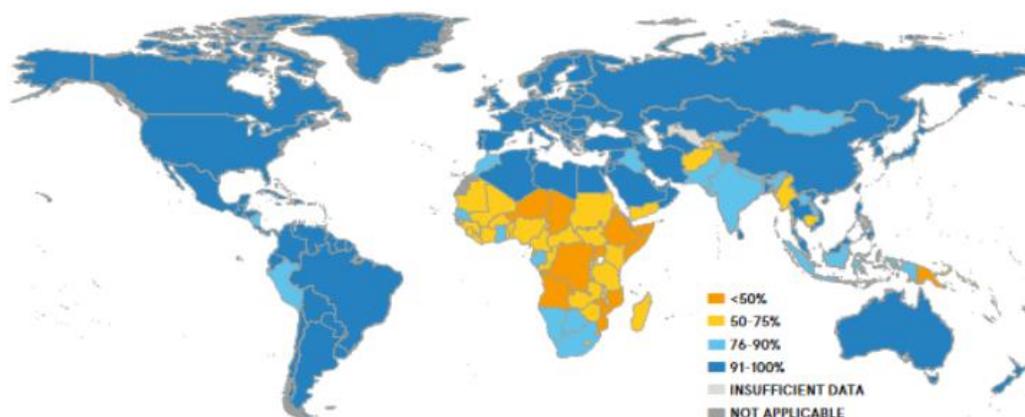


Figura 1. Proporción de la población que utiliza al menos servicios básicos de agua potable el 2016.

Tomado de (UNICEF & WHO, 2017)

A partir de la falta de agua segura para consumir, se estima que 5.9 millones de niños menores a cinco años mueren por diferentes causas, de las cuales las enfermedades diarreicas son la tercera causa de muerte con un estimado de casi 1 000 niños al día (OMS, 2017b)

2.1.2 Definición de agua potable.

Se define como agua potable a aquella que es apta para el consumo humano y doméstico, que reúne las condiciones necesarias para beberla y para preparar alimentos para el consumo, así como para satisfacer necesidades domésticas individuales o colectivas (higiene personal, limpieza de alimentos, materiales o utensilios) y para la fabricación de alimentos en general (Ministerio del Ambiente, 2016).

En el Ecuador para que el agua sea segura para el consumo humano y doméstico que únicamente requiere tratamiento convencional (desarenado, mezclado, floculación, flotación, sedimentación, filtración y el desbaste), debe cumplir con parámetros y un límite máximo permisible como lo podemos ver para algunos compuestos a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1

Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional

Parámetros	Unidad	Límite Máximo Permissible
Aceites y grasas	mg/L	0.3
Aluminio	mg/L	0.2
Amoniaco	mg/L	1.0
Cianuro	mg/L	0.1
Cloruro	mg/L	250
Coliformes Totales	mg/L	3000
Coliformes Fecales	mg/L	600
Bifenilo	mg/L	0.0005
policlorados/PCBs		
Nitrato	mg/L	10.0
Nitrito	mg/L	1.0
Sólidos disueltos totales	mg/L	1000
Sulfatos	mg/L	400
Tensoactivos	mg/L	0.5
Turbiedad	NTU	100
Benceno	mg/L	10,0
Carbamatos totales	mg/L	0,1
Organoclorados totales	mg/L	0,01
Tetracloruro de carbono	ug/L	3

Adaptado de (Ministerio del Ambiente, 2016)

Cabe recalcar que, dentro de la legislación del Ecuador no se contempla un límite permisible para la presencia de virus en agua, tan solo para coliformes totales y fecales.

2.1.3 Cobertura de agua potable en el Ecuador

En el Ecuador se ha planteado que el acceso al agua potable y a un alcantarillado por parte de la población permita (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2014):

1. Disminuir la pobreza
2. Mejorar la salud de la población
3. Reducir el riesgo de padecer enfermedades gastrointestinales
4. Disminuir la desnutrición y muerte infantil
5. Ayudar a fortalecer el turismo.

Pero a pesar de conocer todos los beneficios que trae el acceso al agua potable, en el Ecuador aún se encuentran regiones (en su mayoría rurales) que no tienen cobertura de agua. El acceso por parte de la población rural al agua potable y al alcantarillado es muy bajo 34% y 18% respectivamente. Estos valores podemos compararlos con los de las zonas urbanas, en donde el acceso al agua potable y al alcantarillado es mucho más alto 90% y 79% respectivamente (Figura.2). El objetivo de todo gobierno es disminuir esa brecha entre las zonas urbanas y rurales, para que el acceso al agua potable sea equitativo para toda la población.

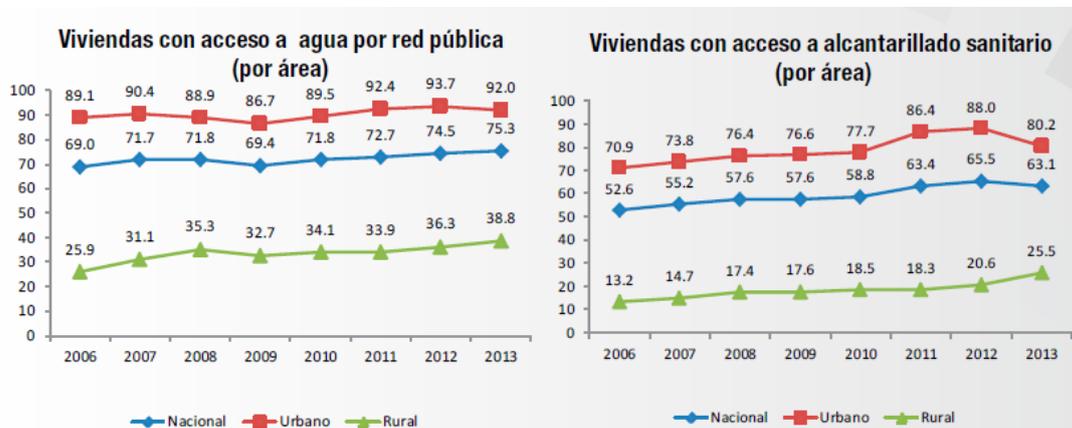


Figura 2. Situación de acceso a agua por red pública en zonas urbanas, rurales y a nivel nacional en el Ecuador.

Tomado de (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2014)

2.2 Enfermedades relacionadas con el agua no potable

2.2.1 Falta de acceso a agua segura

En un reporte presentado por la Organización Mundial de la Salud en Julio del 2017, se estimó que 2 100 millones de personas carecen de agua potable en el hogar y aproximadamente 5 000 millones no disponen de saneamiento. Es decir, 3 de cada 10 personas carecen de agua potable y 6 de cada 10 no tienen saneamiento seguro. De los 2 100 millones de personas que no tienen agua segura, 884 millones no tienen acceso ni siquiera a un servicio básico de agua potable, lo que involucra a 263 millones de personas que emplean 30 minutos al día en la búsqueda de agua de alguna fuente lejana al hogar y 159 millones de personas que aún beben agua de ríos, lagunas, arroyos o lagos.

La falta de acceso al agua potable y jabón para lavarse las manos van de la mano, su déficit acarrea enfermedades y vuelve propensas a las personas de adquirir alguna enfermedad por agua contaminada. Sólo 1 de cada 4 personas en países de baja renta disponen de jabón y de una instalación para lavarse las manos, es así como el 15% de personas en el África subsahariana tienen acceso a jabón y a instalaciones adecuadas para lavarse las manos, mientras que el 76% de personas en África del Norte y Asia occidental disponen de las mismas (UNICEF & WHO, 2017).

2.2.2 Contaminación fecal-oral

La contaminación fecal del agua es uno de los factores que provoca la contaminación de fuentes de agua que están a disposición. La mayoría de las comunidades rurales no tienen un sistema de saneamiento adecuado, lo que lo convierte en un factor de contaminación de las fuentes de agua. De un estimado en el 2015, 4 500 millones de personas a nivel mundial carecen de un sistema en el hogar para eliminar las excretas, de los cuales 892 millones de personas defecan al aire libre y 600 millones de personas comparten inodoros con otras familias (UNICEF & WHO, 2017).

Las fuentes de agua que la población tiene a su disposición pueden ser contaminada por varias formas, una de ellas es por la falta de aseo de manos después de utilizar el servicio sanitario, esto se debe por la falta de conocimiento de enfermedades transmitidas por excretas. La presencia de vectores como mosquitos que son capaces de acarrear patógenos en sus patas y alas. La falta

de un método seguro para el tratamiento de agua a nivel domiciliario, que pueda disminuir la probabilidad de sufrir algún tipo de enfermedad por agua contaminada. Y la contaminación de plantas que sirven de alimento por las excretas de ganado (Figura 3.).

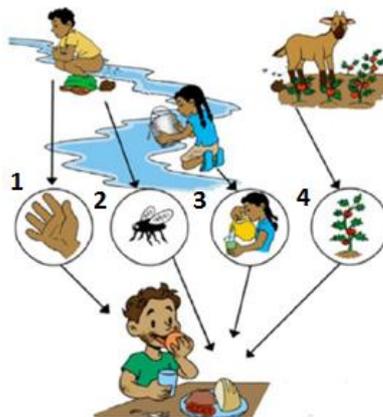


Figura 3. Formas de contaminación de fuentes de agua superficial.

Tomado de (Guerrero-Latorre, 2016)

2.2.3 Diarrea como principal enfermedad por falta de agua segura

Se define como diarrea a las evacuaciones repetidas en el día de heces sueltas o líquidas. La diarrea es un síntoma de algún tipo de enfermedad del tracto digestivo que puede ser causada por diversos microorganismos como bacterias, virus o parásitos. Este tipo de infección habitualmente se transmite por alimentos o agua contaminada o de una persona a otra por falta de higiene en manos.

Las enfermedades diarreicas son la segunda causa de muerte en niños menores a 5 años a pesar de ser enfermedades prevenibles y tratables. Las enfermedades diarreicas son transmitidas por agua o alimentos contaminados, y han matado a 525 000 niños menores de cinco años reportados en mayo del 2017 por la Organización Mundial de la Salud. La diarrea es una de las principales causas de mal nutrición en niños (OMS, 2017a).

De acuerdo con las estadísticas reportadas por el Ministerio de Salud Pública en el año 2016, en el Ecuador la neumonía (98%) es la principal muerte de niños menores a 5 años, la diarrea (74%) es la segunda causa de muerte y la tercera causa es el VIH (2%), a pesar de ser enfermedades prevenibles estas no han

podido ser erradicadas por completo a comparación de la malaria (0%) (Figura 4.).

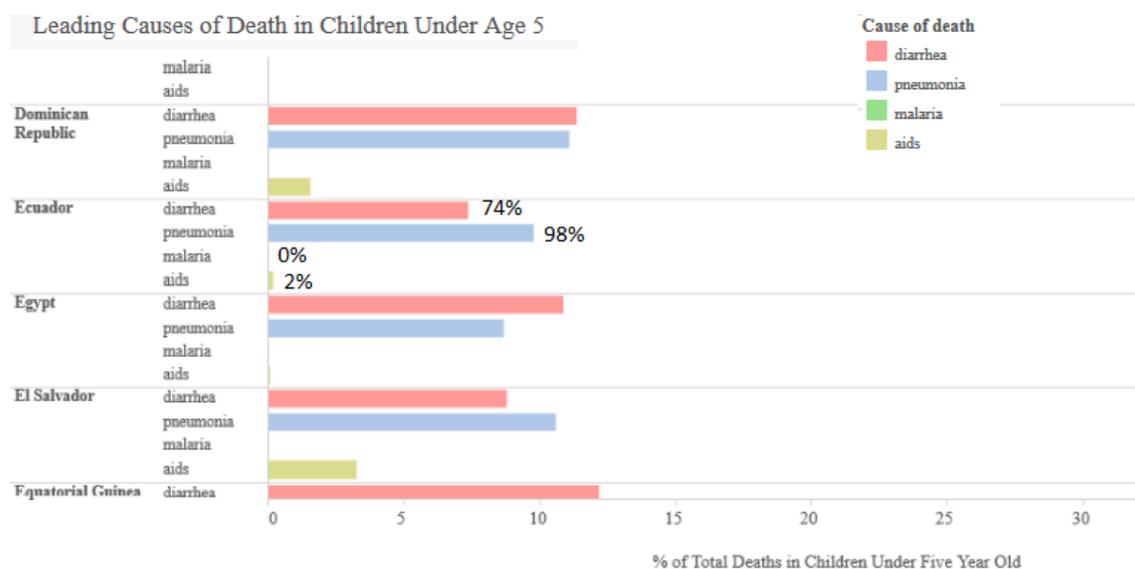


Figura 4. Causas de muerte en niños menores a 5 años en el Ecuador.

Tomado de (Ableau, 2017)

2.3 Agentes etiológicos relacionados con el consumo de agua contaminada

El agua es un ambiente óptimo para la presencia de microorganismos como bacterias, virus, protozoarios o helmintos. Los cuales pueden provenir de animales o plantas vivos o en descomposición, del suelo, de excretas humanas o de animales o por intervención de vectores aéreos (Cartagena, 2001).

2.3.1 Bacterias

Las bacterias son microorganismos procariotas del grupo eubacteria. Su tamaño varía de 0.3-100 um de longitud dependiendo de su forma. *Escherichia coli* es una bacteria en forma de varilla que tiene 0.5 um de ancho y 2 um de longitud, es una de las bacterias más comunes presentes en agua contaminada por material fecal usado como indicador de contaminación fecal (Lantagne, 2001).

Las principales bacterias que causan enfermedades mediante la vía fecal-oral son las siguientes:

Salmonella spp., *Vibrio* spp., *Brucella* spp., *Shigella* spp., *Leptospira* spp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Campylobacter* spp., *Escherichia coli*, *Francisella tularensis*, *Micobacterium* spp., *Acinetobacter* spp., *Aeromonas* spp.,

Bulkholderia pseudomallei, *Helicobacter pylori*, *Tsukamurella* spp., *Yersinia* spp., *Legionella pneumophila* y *Klepsiella* spp.

2.3.2 Virus

Los virus no tienen la capacidad de sintetizar proteínas ni pueden reproducirse por sí solos, por lo que necesitan invadir una célula huésped para producir partículas virales. Los virus son los microorganismos más pequeños su tamaño oscila entre los 0.02-0.2 μm . Los virus son los organismos más pequeños que pueden causar enfermedades (Lantagne, 2001).

Los principales virus que causan enfermedades mediante la vía fecal-oral son los siguientes:

Adenovirus, Astrovirus, Enterovirus, Virus Hepatitis A, Virus Hepatitis E, Norovirus y Rotavirus.

2.3.3 Protozoarios

Los protozoarios son organismos eucariotas unicelulares, se alimentan de bacterias y otros organismos microscópicos. *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium* spp., son los protozoarios más comunes que causan enfermedades por agua contaminada. Los protozoarios tienen un tamaño aproximadamente de 8-100 μm (Lantagne, 2001).

Los principales protozoarios que causan enfermedades mediante la vía fecal-oral son los siguientes:

Entamoeba histolytica, *Giardia lamblia*, *Naegleria gruberi*, *Naegleria fowleri*, *Cryptosporidium* spp., *Dracunculus medinensis*, *Dracunculus medinensis*, *Giardia intestinalis*, *Toxoplasma gondii*, *Acanthamoeba* y *Balantidium coli*.

2.3.4 Helmintos

Los helmintos son gusanos que pertenecen al reino animal. Platelminos (gusanos planos) y Asquelmintos (tremátodos, tenias) están presentes en cuerpos de agua de todo el mundo y provienen por contaminación fecal de animales de sangre caliente. Los helmintos pueden ingresar al cuerpo humano y causar enfermedades tales como triquinosis y anquilostomiasis (Lantagne, 2001).

Los principales helmintos que causan enfermedades mediante la vía fecal-oral son los siguientes:

Ascaris lumbricoides, *Trichuris Trichura*, *Strongyloides*, *Ancylostoma*, *Taenia solium*, *Echinococcus*, *Hymenolepis nana* y *Schistosoma mansoni*.

Estos agentes microbianos pueden causar un amplio rango de enfermedades desde gastroenteritis, enfermedades respiratorias, hepatitis, etc. En la Tabla 2. se puede observar un resumen de enfermedades transmitidas por el consumo de agua no segura, el organismo que la causa y su sintomatología.

Tabla 2

Organismos que causan enfermedades transmitidas por el agua

Organismo	Enfermedades	Sintomatología
Bacteria		
<i>Escherichia coli</i>	Gastroenteritis	Diarrea
<i>Legionella pneumophila</i>	Legionelosis	Enfermedad respiratoria aguda
<i>Leptospira</i> spp.	Leptospirosis	Ictericia, fiebre
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea	Fiebre, diarrea
<i>Salmonella</i> spp.	Salmonelosis	Fiebre, diarrea, dolores musculares
<i>Shigella</i>	Shigelosis	Disentería bacilar
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	Diarrea fuerte, deshidratación
Virus		
Adenovirus	Enfermedad respiratoria	Conjuntivitis, gastroenteritis
Enterovirus	Gastroenteritis	Fiebre, temblores, dolores musculares, parálisis
Hepatitis A	Hepatitis infecciosa	Ictericia, fiebre
Hepatitis E	Hepatitis infecciosa	Ictericia, fatiga extrema, vómito, dolor abdominal
Astrovirus	Gastroenteritis	Diarrea, náuseas, vómito, fiebre, dolor abdominal, deshidratación
Norovirus		
Sapovirus		

Rotavirus		
Protozoarios		
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis	Diarrea, disentería
<i>Cryptosporidium</i>	Criptosporidiosis	Diarrea
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis	Diarrea, sangrado
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis	Diarrea, náusea, indigestión
Helmintos		
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis	
<i>Enterobius vericularis</i>	Enterobiasis	
<i>Fasciola hepatica</i>	Fascioliasis	Infestación de lombrices, fiebre, diarrea
<i>Hymenolepis nana</i>	Himenolepiasis	
<i>Taenia saginata</i>	Taeniasis	
<i>Taenia solium</i>	Taeniasis	
<i>Trichuris trichiura</i>	Trichuriasis	

Adaptado de (Lantagne, 2001)

2.4 Tratamientos de agua domiciliar

2.4.1 Características de los tratamientos de agua domiciliar

Los tratamientos de agua domiciliar (Household Water Treatment HWT) juegan un papel importante en la protección de la salud pública. Estos tratamientos son implementados cuando la fuente de agua que está a disposición:

- ✓ No es tratada en ningún caso
- ✓ No es tratada adecuadamente
- ✓ Se contaminan durante su distribución o durante su almacenamiento (WHO, 2011).

El incremento de la población ha provocado que cada día sea más complicado proporcionar agua segura, o toma demasiado tiempo en implementarse una

forma de tratamiento. Como solución a esta problemática se ha buscado alternativas a corto plazo, como son los tratamientos de agua en las viviendas con un posterior almacenamiento seguro (Van Halem et al., 2009). Estos tratamientos de agua domiciliar presenta varias ventajas al implementarse (Klarman, 2009):

- ✓ Son tecnologías de rápida implementación, especialmente en zonas de desastre o de difícil acceso por parte de la población.
- ✓ Se puede evitar la recontaminación posterior al tratamiento.
- ✓ Varias de las tecnologías implementadas, han resultado eficaces en la eliminación de bacterias, virus y protozoos (variando por tecnología).
- ✓ Para su implementación no es necesaria una infraestructura compleja.
- ✓ Son tecnologías baratas, ya que utilizan materiales locales y de fácil acceso.
- ✓ Pueden ser elaborados por la propia población que lo requiere. Esto permite que las personas accedan a un trabajo, durante la implementación del tratamiento de agua domiciliar.
- ✓ Son tecnologías sostenibles y aceptadas por la población.
- ✓ La implementación de estas tecnologías puede incrementar el conocimiento y la concientización en la población, acerca de la importancia de la higiene y el saneamiento del agua.

Como desventajas de estos métodos de tratamiento de agua domiciliar podemos encontrar (OMS, 2013b) :

- ✓ Pueden llegar a presentar una eficacia microbiológica variable, dependiendo de los materiales con los que han sido elaborados o como han sido elaborados.
- ✓ Las condiciones ambientales pueden afectar la calidad del agua que llega, por lo que el método puede variar también.
- ✓ Ciertas tecnologías dependen de las condiciones ambientales, por lo que pueden verse afectadas en su implementación.
- ✓ Su implementación puede verse frustrada, si no hay una participación por parte de la comunidad que la utiliza.

Existen decenas de estas tecnologías, las cuales pueden clasificarse según principio de eficiencia física o química.

2.4.2 Tratamientos basados en métodos físicos.

2.4.2.1 Radiación UV. Solar Desinfection (SODIS)

La tecnología SODIS (Solar Desinfection) es un método que utiliza los rayos solares para eliminar patógenos presentes en el agua. La tecnología SODIS se utiliza para volúmenes pequeños de agua con una baja turbidez. El proceso inicia con una limpieza de la botella, para lo cual se añade agua con jabón hasta las $\frac{3}{4}$ partes y se agita vigorosamente, se desecha esa agua y se vuelve a enjuagar la botella. Después se la llena por completo y se la coloca sobre una superficie directamente a la luz solar (radiación ultravioleta-A y radiación infrarroja) horizontalmente en el techo o en estantes al sol (Figura 5.). Se recomienda utilizar botellas transparentes hechas de politereftalato de etileno (PET). Se recomienda colocarlas en superficies que puedan reflejar la luz solar, como techos de aluminio o zinc (Hunter, 2009). El tiempo que las botellas deben estar expuestas al sol, depende de las condiciones climáticas:

- ✓ 6 horas- si el cielo está despejado o 50% nublado.
- ✓ 2 días seguidos-si el cielo está más del 50% nublado.
- ✓ No se recomienda la tecnología SODIS durante días de lluvia ya que no resulta efectiva la desinfección.

La radiación UV-A origina oxígeno radiactivo que causa envejecimiento celular y daño en el ADN de microorganismos presentes en el agua. La radiación infrarroja calienta el agua con lo que logra pasteurizarla a una temperatura entre 70-75 °C (Boyle et al., 2008).



Figura 5. Etapas de la Tecnología SODIS para la desinfección de agua, como tratamiento de agua domiciliar.

Tomado de (Hunter, 2009).

Precio Aprox. El costo único de la botella PET US \$0.50/botella

Ventajas: La tecnología SODIS es un método sostenible y de bajo costo. Esta tecnología es eficiente para aguas con altos niveles de oxígeno. La luz solar a la que es sometida produce formas muy reactivas del oxígeno, que afectan las estructuras celulares de patógenos.

Desventajas: Esta tecnología se ve limitada por las condiciones climáticas. No se puede utilizar botellas de cloruro de polivinilo (PVC) ni de vidrio, ya que pueden llegar a producir sustancias tóxicas al estar expuestas a la luz solar. No se pueden utilizar botellas en mal estado o rasguñadas ya que dificulta el paso de la luz solar. La tecnología SODIS no es efectiva para aguas muy turbias (>30 NTU), ya que no permite que la luz solar penetre en el agua. El someter el agua a la radiación solar no evita el crecimiento de algas (Agrawal & Bhalwar, 2009).

2.4.2.2 Tratamiento Térmico-Ebullición

La ebullición es uno de los tratamientos más antiguos, comunes y de los más eficaces en la desinfección de agua. El tratamiento inicia al colocar agua en un recipiente, el cual es calentado al fuego o a una estufa. Para calentar el agua se puede utilizar diferentes fuentes de combustible como: carbón vegetal, queroseno, electricidad, madera, paneles solares, biogás o propano. El agua debe alcanzar los 100°C ya que a esa temperatura los patógenos mueren (Figura

6.). El tiempo recomendado de ebullición varía entre las organizaciones. La Organización Mundial de la Salud recomienda que el agua se caliente hasta que llegue al punto de ebullición. El CDC (Centros de Control y Prevención de Enfermedades) recomienda que se mantenga la ebullición por 1 minuto. Y la CAWST (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology) sugiere que el agua hierva por 1 minuto, y que se adicione 1 minuto por cada 1000 de altitud. Ya terminado el tratamiento de ebullición se recomienda trasvasar el agua a recipientes limpios y con una tapa para disminuir el riesgo de recontaminación (Clasen, Thao, Boisson, & Shipin, 2008).



Figura 6. Ebullición del agua, como tratamiento de agua domiciliar para eliminar patógenos presentes.

Tomado de (Clasen et al., 2008)

Precio Aprox. Depende del combustible usado y recipiente que se utilice.

Ventajas: La ebullición del agua elimina/desactiva bacterias, virus, protozoos (incluyendo quistes) y helmintos. Es una tecnología ampliamente aceptada y promovida por Organizaciones No Gubernamentales. Es un proceso térmico que se determina visualmente (ebullición) sin necesidad de un termómetro. El agua después de ser sometida al calor adquiere un sabor agradable, debido al oxígeno disuelto que se escapa al hervir. Cualquier agua puede ser hervida a pesar de sus características físicas (pH, turbidez, temperatura, etc.). Los materiales para realizar el tratamiento están disponibles en todos los hogares.

Desventajas: Después de utilizada esta tecnología el agua es transferida a recipientes lo que la hace susceptible a la contaminación. Es un proceso potencial de causar lesiones por quemaduras al momento de realizarlo. El utilizar

un combustible como fuente de energía puede causar infecciones respiratorias si al momento de hervir no hay una correcta ventilación del lugar (Agrawal & Bhalwar, 2009).

2.4.2.3 Tratamiento Térmico-Destilación Solar

La destilación solar es uno de los métodos más antiguos y comunes para tratar el agua. El proceso inicia al calentar el agua bajo radiación solar, el agua pasa de estado líquido a gaseoso, y finalmente es recogida en un recipiente limpio a través de un canal. Existen varias formas de implementar el sistema de destilación solar, pero la más común es colocar sobre el agua a destilar una pieza de plástico que pueda retener el agua evaporada, para luego recogerla en un recipiente más pequeño que se encuentra fuera (Figura 7.). Otro método sencillo utiliza un cono de plástico móvil que tiene en el borde interior un canal de recolección del agua destilada, así el agua condensada corre por los lados del cono y se recoge en el ápice del cono, donde se recoge el agua tratada en un recipiente. El mantenimiento de la cámara en donde se deposita el filtrado es fácil, ya que se puede desmontar para limpiarlo y volver a utilizarlo (Figura 8.) (Sobsey, 2002).

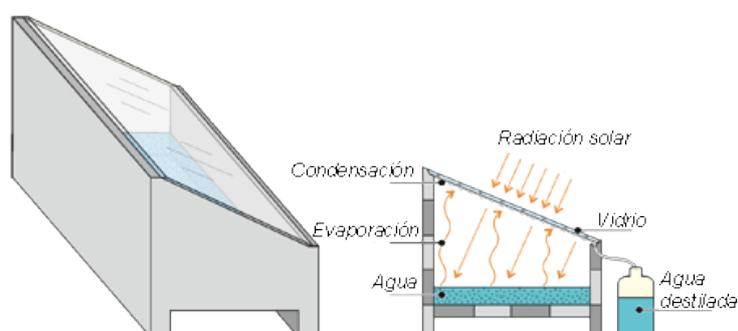


Figura 7. Destilación Solar utilizando un panel de plástico como método de tratamiento de agua domiciliar.

Tomado de (Sobsey, 2002)

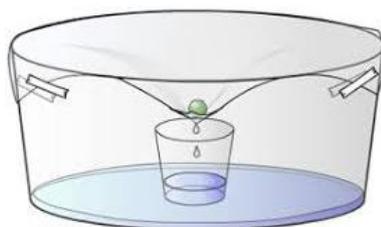


Figura 8. Destilación Solar utilizando un cono de plástico como método de tratamiento de agua domiciliar.

Tomado de (Sobsey, 2002)

Precio Aprox. 10-400\$ depende del material con el que se elabore la cámara y el cono. En México 1 m² para una sola cuenca solar puede costar hasta 400\$.

Ventajas: A través de este tratamiento cualquier contaminante (patógenos, químicos o minerales) puede ser eliminado al momento que el agua se evapora. La estructura es de fácil limpieza y se puede construir con materiales locales.

Desventajas: El tratamiento requiere de condiciones climáticas adecuadas. Para poder implementar la infraestructura se necesita de un espacio adecuado. El agua turbia puede sedimentarse antes de ser filtrada lo que complica la limpieza del depósito (Sobsey, 2002).

2.4.2.4 Filtración a través de Filtros de Cerámica

El filtro de cerámica es una tecnología utilizada desde hace muchos años atrás, en un inicio se utilizaban macetas porosas como medios filtrantes, en la actualidad han sido modificadas haciéndolas más livianas y pequeñas capaces de ser implementadas en el hogar. Este tipo de filtración utiliza un filtro de cerámica elaborado a partir de arcilla mezclada con algún tipo de material orgánico (aserrín, cáscara de arroz o cáscara de café). El filtro ya elaborado es cocido en un horno, con lo que se consigue quemar el material orgánico. La cocción deja una red de poros por la que el agua fluye y en los cuales quedan retenidos los microorganismos. Los filtros terminados son impregnados con plata coloidal. La plata coloidal elimina bacterias (afecta membranas celulares) durante la filtración y durante el posterior almacenamiento del agua filtrada. Además la plata coloidal evita la formación de biopelícula por dentro y por fuera

del filtro (Potters for Peace, 2011). La infraestructura del tratamiento consta de un filtro de cerámica y un receptáculo adecuado con un grifo. El proceso inicia al verter agua en el filtro de cerámica, el agua es filtrada después de un tiempo y finalmente es recogida en un receptáculo ubicado en la parte inferior (Figura 9.). La plata coloidal con la que es impregnada el filtro por dentro y por fuera actúa durante la filtración, pero resulta más eficiente durante el tiempo de almacenamiento en el receptáculo. La plata residual sigue actuando incluso después de la filtración, lo que vuelve mucho más efectivo al tratamiento.

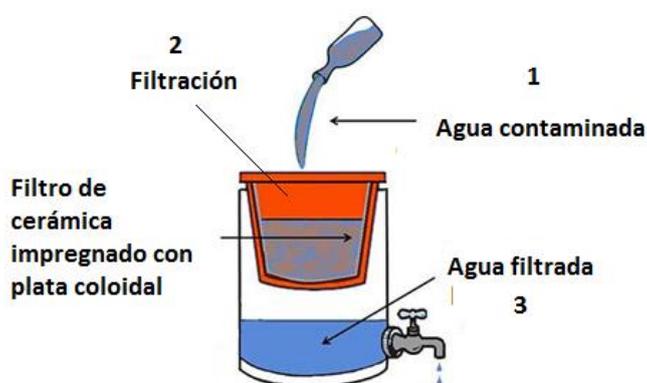


Figura 9. Etapas de la filtración de agua, a través de un filtro de cerámica como tratamiento de agua domiciliar.

Tomado de (Potters for Peace, 2011)

Precio Aprox. 15-50\$ dependiendo de los materiales y la forma de cocción.

Ventajas: La filtración a través de un filtro de cerámica proporciona un almacenamiento seguro del agua filtrada. Los filtros de cerámica pueden ser producidos de manera local lo que crea fuentes de trabajo. Los filtros de cerámica pueden ser elaborados con materiales locales (baratos y de fácil acceso).

Desventajas: Este método no es efectivo para aguas turbias (>50 NTU). La eficiencia del filtro varía dependiendo de los materiales con los que son elaborados. Si los filtros se agrietan afecta la eficacia de remoción (Potters for Peace, 2011).

2.4.2.5 Filtración a través de Filtros de Arena (Biosand Filter)

El filtro de arena es una adaptación del filtro de arena lenta, usado hace muchos años atrás. Los filtros de arena han sido adaptados en un menor tamaño para un

uso intermitente en los hogares. Los filtros de arena constan de un recipiente con tapa en el cual se coloca capas de arena y grava de distintos tamaños. El filtro al final tiene una salida que permite recoger el agua filtrada a través de todas estas capas. La estructura filtrante del filtro consta de una capa biológica formada durante el uso, una capa de arena fina, una capa de grava pequeña y una capa de grava grande (Figura 10.). El proceso inicia al verter agua por la parte superior del filtro, el agua atraviesa la biopelícula y las capas de arena y grava. Finalmente, el agua filtrada es recogida en un recipiente para su uso (Figura 11). Dos procesos importantes suceden durante la filtración con filtros de arena:

1. Depredación y muerte natural: estos ocurren en la biopelícula en donde se eliminan los patógenos.
2. Captura mecánica y adsorción: estos ocurren en las capas de arena y grava en donde se eliminan materiales suspendidos (Sobsey, 2002).

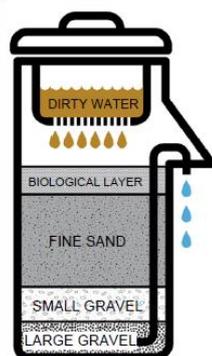


Figura 10. Capas de las que está compuesta el filtro de arena “Biosand Filter”
Tomado de (Sobsey, 2002)

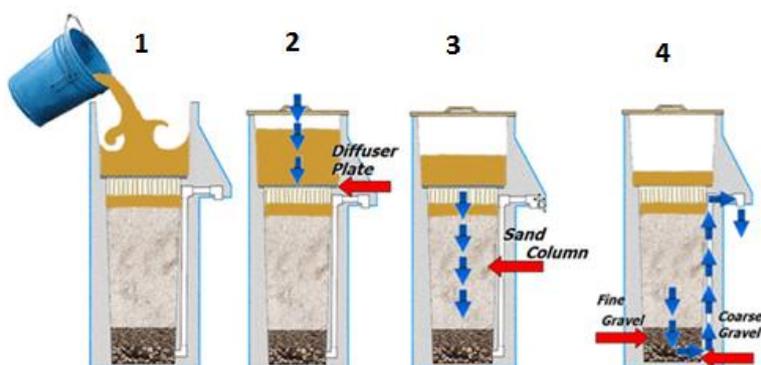


Figura 11. Etapas de filtración de agua a través de un Filtro de Arena, como tratamiento de agua domiciliar.

Tomado de (Sobsey, 2002)

Precio Aprox. 40-45\$ en su mayoría se disponen individualmente.

Ventajas: Los filtros de arena pueden ser producidos localmente. Los materiales para elaborarlos son de fácil acceso y económicos. El mantenimiento de la arena y grava es rápido y sencillo. El filtro de arena puede tener un tiempo de vida de 10-30+ años.

Desventajas: Durante el uso del filtro se debe controlar el nivel de agua por encima de la arena para conservar la biopelícula filtrante. Durante el uso del filtro se necesitan periodos de pausa para que los microorganismos actúen. El filtro debe ser utilizado todos los días para evitar que la biopelícula se seque y pierda efectividad. Si el caudal es demasiado rápido puede dejar de ser eficiente y si es demasiado lento el usuario puede dejar de usarlo (Agrawal & Bhalwar, 2009).

2.4.2.6 Filtración a través de membranas.

Desde la antigüedad se han utilizado membranas-fibras-hilos y tejidos naturales para filtrar agua y bebidas. Los filtros de membrana son una adaptación moderna de estos filtros, pero en la actualidad las membranas son elaboradas a partir de polímeros sintéticos o de fibras naturales. El uso del filtro de membrana es bastante simple, consta de un recipiente el cual está cubierto por una membrana ya sea de un material natural o sintético, y en la parte inferior se encuentra un recipiente con salida para recoger el agua filtrada para su uso. La filtración inicia al verter agua cargada de partículas o microorganismos, la cual es filtrada a través de la membrana filtrante, para finalmente ser recogida en un recipiente limpio (Figura 12.). La membrana filtrante tiene un diámetro de poro bastante pequeño, con lo que logra excluir microorganismos de acuerdo con su tamaño. Los microorganismos pueden ser absorbidos dentro de la matriz o adsorbidos en la superficie de la membrana. Los filtros de membrana son eficientes para remover parásitos (1-100 μm), bacterias (0.1-1 μm) y virus (0.01-0.001 μm) (Curtis et al., 2012).

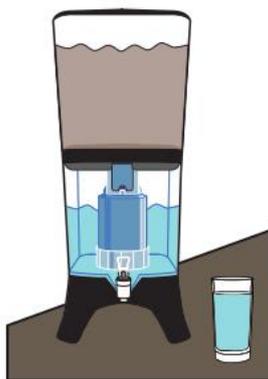


Figura 12. Filtro de membrana filtrando agua contaminada como tratamiento de agua domiciliar.

Tomado de (Curtis et al., 2012)

Precio Aprox. 25-40\$ en su mayoría no están disponibles individualmente.

Ventajas: La filtración por membrana como tratamiento de agua domiciliar reduce la presencia de patógenos por el proceso físico de filtración. El filtro puede ser adaptado a una variedad de membranas de todo tipo de material natural o sintético.

Desventajas: El rendimiento del filtro depende del tamaño del poro de la membrana, mientras más pequeño el diámetro del poro hay un mayor rendimiento del filtro. No todos los tipos de membranas son eficaces para remover virus por ser estos demasiado pequeños. Este tipo de filtración no proporciona protección residual contra la recontaminación, a menos que el agua tratada se almacene en un recipiente limpio y seguro (Curtis et al., 2012).

2.4.2.7 Sedimentación a través del Método de Sedimentación con Tres Vasos

El método de sedimentación con tres vasos es un proceso de sedimentación natural bastante básico y sencillo. Este tipo de tratamiento del agua ha sido una práctica tradicional a lo largo de la historia, que se ha realizado en tanques pequeños, grandes o cisternas. La sedimentación realizada en los vasos permite disminuir la turbidez del agua y eliminar algunos patógenos por precipitación. El proceso inicia dejando el agua por tratar en un recipiente sin mover durante 24 horas. Después de transcurrido este tiempo, se decanta el agua y se vierte en un segundo recipiente, para dejarlo en reposo por otras 24 horas. Se repite el

proceso de 2 a 3 veces hasta que el agua se vuelva clara, como se puede ver en la Figura 13. (Sobsey, 2002).

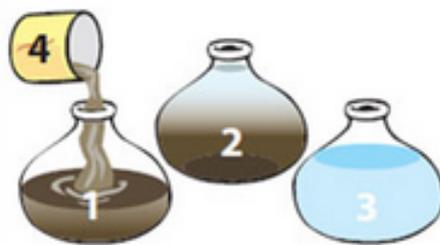


Figura 13. Representación gráfica del proceso de sedimentación de agua contaminada, como tratamiento de agua domiciliar.

Tomado de (Sobsey, 2002)

Ventajas: La sedimentación con tres vasos es útil en la remoción de partículas grandes como arena y limo. La sedimentación es un método simple y fácil de realizar. Este método puede ser implementado a pequeña escala a nivel domiciliar. Y los recipientes que se utilizan para la filtración pueden ser fácilmente reemplazados.

Desventajas: Esta técnica es útil en la remoción de protozoos y helmintos, pero no para bacterias ni virus por ser demasiado pequeños. El agua al trasvasarse de un vaso a otro puede perturbar las partículas sedimentadas contaminando el agua nuevamente

2.4.3 Tratamientos basados en métodos químicos

2.4.3.1 Cloración

La cloración dentro de los métodos químicos es el método de desinfección más utilizado en todo el mundo, debido a su accesibilidad, bajo costo y eficiencia microbiológica. La cloración del agua es un proceso de desinfección que involucra un conjunto de sales del ácido hipocloroso. El cloro es un agente oxidante que está disponible tanto en forma líquida (hipoclorito de sodio) como sólida en pastillas (hipoclorito de calcio). Este conjunto de sales elimina eficientemente microorganismos como bacterias y virus. El proceso de cloración inicia al añadir hipoclorito sódico (0.5-10%) al agua a tratar. El agua con cloro se

debe agitar por un tiempo mínimo de 5 minutos. Después de añadido el cloro, el agua debe tener un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos antes de ser consumida (Figura 14.). El mecanismo de acción del cloro inicia al tener contacto con el agua, reaccionando con los electrones libres de las proteínas, membranas y ADN. El cloro al ser añadido también reacciona con la materia orgánica que puede estar presente en el agua, formando subproductos tóxicos como los trihalometanos. Por ello es importante bajar la turbidez del agua, antes de clorarla (L. Guerrero-Latorre, 2016). El exceso de cloro que no se combina (CRL) deja un efecto residual muy importante para evitar recontaminación (Sobsey, 2002).



Figura 14. Cloración de agua como tratamiento de agua domiciliar.

Tomado de (Sobsey, 2002)

Precio Aprox. 0.45-3.29\$/1000 L.

Ventajas: La desinfección con cloro proporciona protección residual del agua durante su almacenamiento. Las características organolépticas después de la cloración no son desagradables. La desinfección con cloro es uno de los métodos más eficaces para eliminar patógenos.

Desventajas: El cloro no siempre es accesible para la población ya que debe ser adquirido de forma comercial. El cloro se deteriora con mayor facilidad cuando está en forma líquida que cuando se encuentra en forma sólida. La cloración pierde efectividad si el agua es demasiado turbia, si contiene materia orgánica, si hay presencia de amoníaco, si la temperatura es mayor a 10°C y si el pH es mayor a 9 (Sobsey, 2002).

2.4.3.2 Floculación a través de Coagulantes Naturales

La floculación a través de coagulantes naturales es un proceso de sedimentación de partículas/microorganismos que se encuentran en el agua y causan turbidez. La floculación natural inicia al colocar el floculante natural en el agua a tratar, se deja un tiempo de contacto el cual permita formar los flóculos, para finalmente filtrar el agua a través de un cedazo que retenga los flóculos (Figura 15.). Los coagulantes contienen cantidades significativas de proteínas que son solubles en agua y adquieren una carga positiva en solución. Estas proteínas de carga positiva se unen a las cargas negativas que causan la turbidez del agua (arena, arcilla y limo). El resultado de esta unión se acumula (floculación) y forma partículas más grandes (flóculos), los mismos que se sedimentan o se eliminan por filtración. La floculación natural también elimina bacterias y virus ya que estos al momento de formarse los flóculos se adhieren a ellos, eliminándose también. Entre los floculantes naturales que más se utilizan son las semillas de moringa y el cactus de nopal (Agrawal & Bhalwar, 2009).

Moringa oleífera: 1 semilla/4L durante 4 horas. Se encuentra en África, Subcontinente indio y Oriente medio

Cactus de nopal: 5-60 mg/L durante 5 horas. Se encuentra en América Latina



Figura 15. Proceso de Floculación a través de floculantes naturales como tratamiento de agua domiciliar.

Tomado de (Agrawal & Bhalwar, 2009)

Precio Aprox. Los costos de siembra, obtención y de transporte de los floculantes depende de la ubicación.

Moringa oleífera 3 kg/ \$270

Cactus de nopal 1 kg/ \$100

Ventajas: Los floculantes naturales pueden ser cosechados y preparados localmente. Las semillas pueden ser almacenadas durante mucho tiempo.

Desventajas: La floculación natural no es un método investigado a detalle por lo que no es un método optimizado ni estandarizado. La floculación natural es un procedimiento transmitido a través del conocimiento tradicional. Los coagulantes naturales no están disponibles en una forma práctica, estos necesitan procesarse antes de su uso. La disponibilidad de los floculantes naturales depende de las condiciones locales. El utilizar coagulantes naturales puede dejar residuos de materia orgánica, lo que disminuye la eficiencia de una posterior cloración por la gran cantidad de materia orgánica. Las características organolépticas del agua después de tratada pueden cambiar.

2.4.3.3 Floculación a través de Coagulantes Sintéticos.

La floculación a través de coagulantes sintéticos es un proceso tradicional de sedimentación pero que ocurre de manera más rápida, al agregar un coagulante sintético. El proceso inicia al añadir algún tipo de coagulante sintético al agua a tratar, el coagulante y el agua deben tener un tiempo de contacto para formar flóculos, los mismos que son retirados del agua ya sea por filtración o sedimentación (Figura 16.). Los coagulantes sintéticos son de carga positiva y ayudan a que la arena, la arcilla y el limo de carga negativa sean atraídos químicamente. El resultado de esta unión es la formación de flóculos grandes que se precipitan en el fondo del recipiente. Los flóculos pueden ser retirados por precipitación o filtración, dejando el agua tratada libre de partículas que causan la turbidez y de microorganismos patógenos. Las bacterias y virus se eliminan al adherirse a las partículas en suspensión que causan la turbidez del agua. Los coagulantes sintéticos más utilizados son el sulfato de amonio (lumbre), el cloruro de polialuminio (PAC o alumbre líquido) y las sales de hierro (sulfato férrico o cloruro férrico). Los coagulantes sintéticos también se utilizan para “suavizar” aguas duras/subterráneas ya que precipitan iones Ca, Fe, Mn y Mg (Agrawal & Bhalwar, 2009).

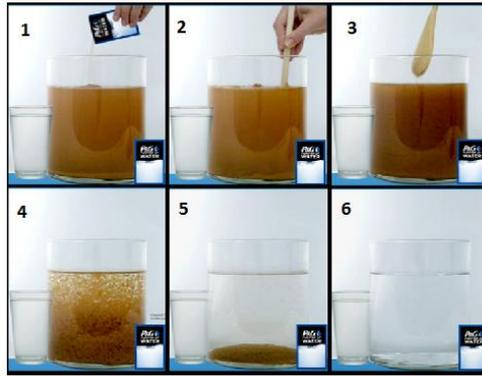


Figura 16. Proceso de Floculación a través de floculantes químicos/sintéticos como tratamiento de agua domiciliar.

Tomado de (Agrawal & Bhalwar, 2009)

Precio Aprox. El costo del floculante sintético depende de la disponibilidad del mismo y del que se elija.

Sulfato de amonio: 10 kg/ \$260

Sales de hierro: 25 kg/ \$760

Ventajas: La dosificación a añadir del coagulante sintético es clara y fácil de seguir. Es un proceso optimizado y estandarizado de manera que se lo puede reproducir fácilmente a gran escala.

Desventaja: Este tipo de floculación requiere de una cadena de suministro y compra constante del floculante sintético. La producción local del floculante sintético no es factible. El disponer de coagulantes sintéticos en el hogar puede resultar riesgoso para los niños, ya que pueden ingerirlos y causarles intoxicación.

2.4.4 Disponibilidad a nivel mundial de los tratamientos de agua domiciliar

A nivel mundial se estima que 1 100 millones de personas de países de baja y mediana renta utilizan algún tipo de tratamiento de agua domiciliar y de almacenamiento seguro. El método más utilizado es la ebullición, principalmente en países de las regiones del Pacífico Occidental y Asia Sub Oriental. Como segundo método más utilizado tenemos a la filtración principalmente en el Sudeste Asiático y el Pacífico Occidental. En tercer lugar, se encuentra la

cloración en países de América y África (Figura 17.). De acuerdo con los parámetros establecidos por la OMS la ebullición es el método más eficiente (altamente protector ≥ 9) en la remoción de virus y bacterias, además es un método económico y que se puede realizar en cualquier hogar.

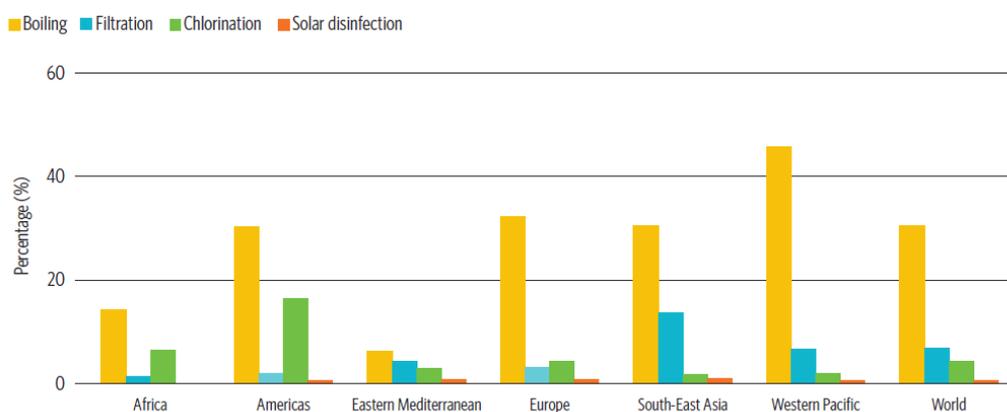


Figura 17. Disponibilidad de tratamientos de agua domiciliar y almacenamiento seguro según regiones

Tomado de (Curtis et al., 2012)

2.4.5 Eficacia microbiológica de los tratamientos de agua domiciliar

Para expresar la eficiencia microbiológica de una tecnología de tratamiento domiciliar ésta debe ser presentada como una comparación. Ese valor de comparación resulta de la diferencia entre la concentración de patógenos presentes en el agua antes y después de aplicar el tratamiento. La eficiencia microbiológica se representa en una base logarítmica, donde la reducción de 1 Log representa una reducción de 10 veces o 90% de la concentración de patógenos en agua (WHO, 2011).

1 Log₁₀= reducción del 90%

2 Log₁₀= reducción del 99%

3 Log₁₀= reducción del 99.9%

4 Log₁₀= reducción del 99.99%

La OMS ha clasificado a los métodos de tratamiento de agua domiciliar según su capacidad de remoción de microorganismos, clasificándolos como intermedios cuando resultan eficaces en la eliminación de dos tipos de microorganismos, como protectores cuando son capaces de eliminar 3 tipos de microorganismos y tienen una reducción logarítmica de 2-3 Logs, y altamente protectores cuando eliminan 3 tipos de microorganismos, pero con una reducción logarítmica de 4-6 Logs.

Tabla 3

Reducción logarítmica para que un tratamiento de agua domiciliar sea considerado como intermedio, protector o altamente protector según la OMS

Patógeno	Reducción Logarítmica:		
	Intermedio	Protector	Altamente Protector
Bacterias	Resultan protectores para	≥ 2	≥ 4
Virus	dos tipos de	≥ 3	≥ 5
Protozoos	microrganismos que proporcionan mejoras para la salud	≥ 2	≥ 4

Tomado de (WHO, 2011)

De acuerdo con esta escala de reducción logarítmica, los métodos más efectivos en la eliminación de patógenos en agua que resultan altamente protectores (≥ 4) son: la ebullición con una reducción logarítmica máxima 9 Log para bacterias, virus y protozoarios, y la cloración con una reducción logarítmica máxima de 6 Log para bacterias y virus.

Entre los métodos protectores (≥ 2) tenemos: la floculación con una reducción logarítmica máxima para bacterias de 9 Log, 6 Log para virus y 5 Log para protozoarios (floculación natural y artificial), los filtros de arena con una reducción logarítmica máxima para bacterias de 3 Log, 2 Log para virus y 4 Log para protozoarios, los filtros de cerámica con una reducción logarítmica máxima para bacterias de 6 Log, 4 Log para virus y 6 Log para protozoarios y la radiación solar

con una reducción logarítmica máxima para virus y protozoarios de 4 Log y 5 Log para bacterias.

Los métodos menos eficientes en la eliminación de microorganismos son: los filtros de arena con una reducción logarítmica máxima para bacterias de 3 Log, 3 Log para virus y 4 Log para protozoarios, la sedimentación con una reducción logarítmica máxima de 0.5 Log para bacterias y virus y 1 Log para protozoarios (Tabla 4.).

Tabla 4

Estimaciones de la eficacia microbiológica en base logarítmica de los Tratamientos de Agua Domiciliar.

Tratamiento	Patógeno Entérico	Mínima Remoción Log 10	Máxima Remoción Log 10
Cloración	Bacterias	3	6
	Virus	3	6
Floculación	Bacterias	7	9
	Virus	4.5	6
	Protozoos	3	5
Filtros de cerámica	Bacterias	2	6
	Virus	1	4
	Protozoos	4	6
Filtración por Membrana (microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y ósmosis inversa)	Bacterias	2 MF, 3 UF, NF o OI	4 MF, 6 UF, NF o OI
	Virus	0 MF, 3 UF, NF o OI	4 MF, 6 UF, NF o OI
	Protozoos	2 MF, 3 UF, NF o OI	6 MF, 6 UF, NF o OI
Filtros de Arena	Bacterias	1	3
	Virus	0.5	2
	Protozoos	2	4

Radiación solar UV	Bacterias	3	5+
	Virus	2	4+
	Protozoos	2	4+
Tecnologías térmicas	Bacterias	6	9+
	Virus	6	9+
	Protozoos	6	9+
Sedimentación	Bacterias	0	0.5
	Virus	0	0.5
	Protozoos	0	1

Tomado de (WHO, 2011)

2.5 Filtros de agua de cerámica

2.5.1 Historia

Los primeros filtros de agua de cerámica fueron elaborados en 1981 por el Dr. Fernando Mazariegos, en el Instituto Centroamericano de Tecnología Industrial (ICAITI). Esta tecnología nació de la idea de utilizar las habilidades artesanales/orfebres ya conocidas muchos años atrás, en la elaboración de macetas de cerámica. La idea fue adaptada para elaborar filtros de cerámica, los cuales fueran capaces de remover partículas y microorganismos del agua al momento de filtrar. La tecnología de filtración a través de filtros de cerámica nació de la necesidad de proveer agua segura de consumir a las poblaciones rurales centroamericanas (Potters for Peace, 2011).

Después de 2 años de investigación y ensayos de campo financiados por el Banco Interamericano de Desarrollo, se pudieron desarrollar filtros de cerámica que presentaban muchas ventajas:

- ✓ Los filtros de cerámica podían ser elaborados a partir de materiales locales.
- ✓ Los filtros de cerámica eran de venta libre.
- ✓ La elaboración de los filtros resultaba de bajo costo.
- ✓ La filtración era eficiente en la remoción de partículas suspendidas y patógenos.

- ✓ La fabricación de los filtros era capaz de promover el empleo local.

A mediados de los años 90 el proceso de elaboración de los filtros de cerámica fue rediseñado por la Organización No Gubernamental Potters for Peace (PFP) en los Estados Unidos. PFP buscó establecer una red internacional de alfareros independientes, sin fines de lucro, no gubernamentales y preocupados por temas de paz y justicia. PFP a lo largo del tiempo ha logrado promover la fabricación de estos filtros en más de 40 países, tanto desarrollados como en desarrollo. Primero se estableció una fábrica de producción de filtros de cerámica en Nicaragua, en el año 2000 se establecieron fábricas en México, Bangladesh y Camboya. Entre los años 2001-2002 se establecieron fábricas de producción en Haití, Guatemala, El Salvador, Nepal, Pakistán, Uzbekistán y Ghana. Por otro lado, la idea de implementar filtros de cerámica impregnados con plata coloidal ha sido acogida por organizaciones de ayuda de emergencia, como la Red Internacional Cruz y Doctores sin Fronteras (Van Halem, 2006).

2.5.2 Estructura

El filtro diseñado por ICAITI/PFPES ha servido como guía para la elaboración de los filtros de cerámica en todo el mundo. Su diseño es similar al de una maceta con tapa con 8 litros de capacidad, el filtro está suspendido dentro de un receptáculo de plástico que tiene adaptado un grifo, que permite dispensar el agua filtrada (Potters for Peace, 2011) (Figura 18.).



Figura 18. Estructura del filtro de cerámica diseñado por ICAITI/PFPES.

Tomado de (Potters for Peace, 2011)

2.5.3 Proceso de filtración

El proceso de purificación del agua inicia al verter el agua a tratar en el filtro, después de un tiempo de filtración, el agua filtrada es recogida en el receptáculo y se puede dispensar a través del grifo para ser consumida (Sobsey, 2002) (Figura 19.). La estructura porosa del filtro requiere de una limpieza regular para eliminar el material acumulado en los mismos y poder reestablecer el caudal de filtración del filtro.

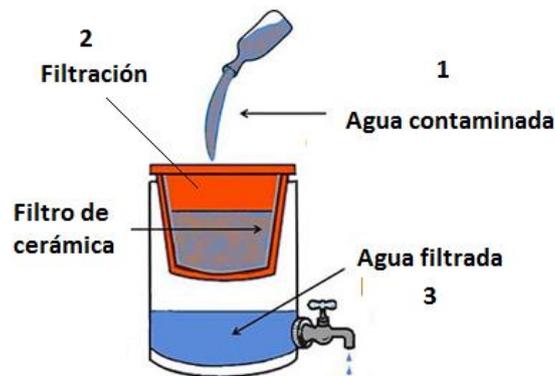


Figura 19. Etapas de la filtración de agua, a través de un filtro de cerámica como tratamiento de agua domiciliar.

Tomado de (Sobsey, 2002)

2.5.4 Fabricación

Los filtros de cerámica pueden fabricarse a partir de diferentes materiales y en varios tamaños de poro. En la actualidad países desarrollados han logrado fabricar filtros de cerámica que tienen tamaños de poro de micras o submicrones, que son eficientes en la remoción de bacterias y parásitos. También se ha podido elaborar filtros de cerámica con medios capaces de adsorber virus en su estructura. En un inicio estos filtros pueden ser capaces de eliminar virus eficazmente, pero después de una cantidad de litros filtrados, los sitios de adsorción para virus suelen ser ocupados por adsorbentes competidores, lo que provoca una disminución en la eficacia de la adsorción de virus (Sobsey, 2002).

Los filtros de cerámica se fabrican a partir de una mezcla de arcilla y un material que pueda ser combustionado. Los filtros pueden ser elaborados a partir de diversos tipos de arcillas. El material combustionado puede ser algún tipo de

material orgánico como cáscara de arroz, cáscara de café o aserrín (Sobsey, 2002). Tanto la arcilla como el material combustible son mezclados manual o mecánicamente en proporciones determinadas por los orfebres, mientras se va añadiendo agua lentamente. La mezcla de arcilla/aserrín/agua se presiona mediante una prensa hidráulica en moldes construidos específicamente. Los filtros elaborados deben permanecer al aire libre para que se sequen, por un período de 4-21 días, dependiendo de las condiciones climáticas en las que se encuentren. Los filtros completamente secos son cocidos a grandes temperaturas (aproximadamente 900-1652 °C) por un período de 6-9 horas en hornos que pueden funcionar a gas o a leña. Luego, los filtros se dejan enfriar hasta que alcancen la temperatura ambiente. Ya fríos, los filtros se sumergen en agua durante 24 horas y se mide la velocidad de filtración, que debe encontrarse entre 1-2 litros/hora. Si los filtros no cumplen con esa velocidad de filtración deben ser descartados. Los filtros que tengan fisuras también deben ser descartados, ya que esto afecta la eficiencia de remoción del filtro. Luego, se prepara una solución de agua y plata coloidal; se agregan 2 ml de plata coloidal al 3.2% a 250 ml de agua. Cuando el filtro está completamente seco se lo impregna con la solución de plata coloidal. Finalmente, el filtro se ensambla a un sistema completo de filtración: filtro de cerámica, receptáculo de plástico, tapa y dispensador de agua. Los filtros elaborados son vendidos a Organizaciones No Gubernamentales a precios entre los 15-50\$ (Van Halem, 2006).

A pesar de que el proceso de fabricación no resulta complicado, es necesario controlar las variables críticas del proceso para garantizar la calidad del filtro (Potters for Peace, 2011). Entre las variables críticas a controlar tenemos:

- ✓ Temperatura de cocción de los filtros de cerámica.
- ✓ Proporción en la que es mezclada la arcilla y el material combustible.
- ✓ Cantidad de plata con la que es impregnada el filtro.
- ✓ Condiciones ambientales en las que son elaborados los filtros.

Las prácticas de producción de los filtros varían de una fábrica a otra, aunque algunas fábricas localizadas en Nicaragua, República Dominicana y Camboya, presentan investigación y control de calidad de su producto final. Dada la gran

demanda de filtros de cerámica en todo el mundo, es necesario establecer parámetros específicos de producción, así como pautas de control de calidad. Además, también es necesario cuantificar la manera en que las variables de producción afectan la eficacia microbiológica de los filtros, para de esta manera optimizar su producción en todo el mundo.

2.5.5 Mecanismos de efectividad

Los mecanismos a los que se atribuye la eficiencia de la filtración son tres: **1.** Desactivación bacteriana por plata **2.** El tamaño de poro y porosidad del filtro **3.** Propiedades hidráulicas y ratio de filtración (Potters for Peace, 2011).

2.5.5.1 Desactivación bacteriana por plata

La plata tiene efecto en las estructuras morfológicas y estructurales de las bacterias. Imágenes de microscopía electrónica muestran daños en la membrana celular y en organelos del citoplasma después que las bacterias tienen contacto con la plata. Aún no se ha podido encontrar los blancos de ataque la plata, pero se ha encontrado que es altamente reactivo con compuestos de azufre, lo que le permite reaccionar con enzimas que están localizadas en la membrana celular. Ya que la membrana es la responsable de la respiración, el intercambio osmótico y la permeabilidad de la célula. La plata al interactuar con la membrana celular interrumpe la cadena respiratoria, por lo que colapsa la fuerza motriz de los electrones, provocando el cese de producción de ATP que limita la energía en la célula ocasionándole la muerte (Holt & Bard, 2005). La plata al ser impregnada por dentro y por fuera del filtro, tiene efecto durante la filtración ocasionando la muerte de bacterias que puedan estar presentes en el agua, pero la plata también puede lixiviar con el filtrado. La presencia de plata residual contribuye a la remoción de microorganismos patógenos durante el tiempo de almacenamiento del agua en el receptáculo. Además, se ha comprobado que la plata inhibe el crecimiento de biopelícula en el filtro y el receptáculo (Potters for Peace, 2011).

2.5.5.2 Tamaño de poro y porosidad del filtro

Los poros del filtro actúan como una barrera física contra patógenos, material orgánico suspendido y partículas que causan turbidez en el agua. Los filtros de

cerámica son eficaces en la remoción de helmintos (mayor a 100 μm), protozoos (10-100 μm) y bacterias (1-100 μm) debido a su gran tamaño. Por el contrario, los filtros de cerámica no resultan eficientes en la remoción de bacterias mucho más pequeñas (0.5-1 μm) y virus (0.01-0.1 μm), debido a su tamaño demasiado pequeño (Van Halem, 2006) como se puede ver en la Figura 20.

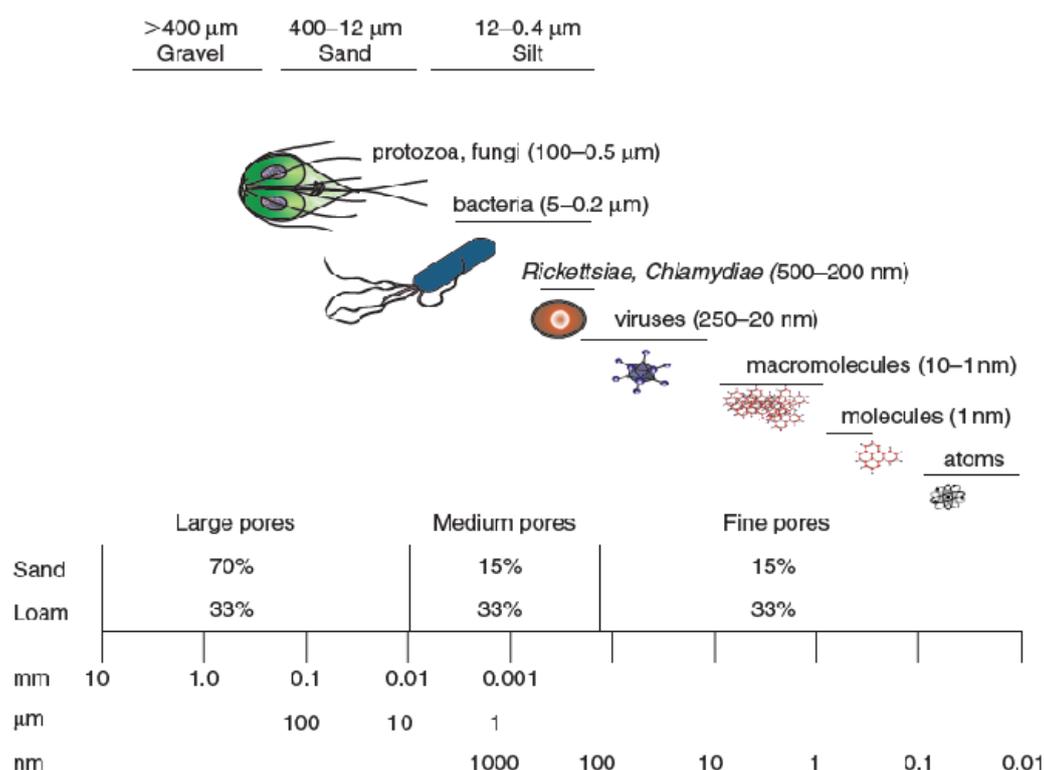


Figura 20. Comparación de tamaño de bacterias, virus y moléculas con diámetros hidráulicos equivalentes a canales de poro

Tomado de (Maier, Pepper, & Gerba, 2009)

Los poros se crean cuando el filtro es quemado en el horno, el material orgánico utilizado se combustiona por completo dejando una red de poros. El tamaño del poro está determinado por el tamaño y la cantidad del material orgánico utilizado, pero también se atribuye a la cantidad de arcilla utilizada. El área total de poros es directamente proporcional a la capacidad de adsorción del filtro.

Los filtros fabricados en diferentes países varían tanto en la porosidad como en el tamaño de poro, dependiendo de los materiales con los que se los haya elaborado (Tabla 5.).

Tabla 5

Porosidad y tamaño del poro para filtros elaborados en Camboya, Ghana y Nicaragua

Origen	Porosidad del filtro	Tamaño promedio del poro del filtro
Camboya	43%	25um
Ghana	39%	22 um
Nicaragua	37%	17um

Adaptado de (Potters for Peace, 2011)

Los filtros que han resultado efectivos en la eliminación de microorganismos presentan diámetros efectivos de tamaño de poro que oscilan entre 33-52 um. Además, la alta tortuosidad del filtro influye en la distancia que debe recorrer el agua para salir de las paredes del filtro. Una mayor tortuosidad aumenta la superficie total de poros lo que provoca una mayor velocidad de filtración y una mayor remoción de microorganismos (Smith, 2008).

2.5.5.3 Propiedades hidráulicas y tasa de flujo

La velocidad con la que el agua atraviesa las paredes del filtro afecta directamente al mecanismo de filtración y al tiempo que tiene contacto el agua con la plata coloidal. Se estima que el tiempo que el agua permanece en el filtro es de 50 minutos, antes de salir por completo de los poros del mismo. El espesor de la capa de plata es proporcional al tiempo de contacto con la plata para desactivar las bacterias presentes.

La tasa de flujo del filtro se utiliza como un indicador de: **1.** Consistencia de producción **2.** Presencia de grietas, agujeros o poros grandes **3.** Tiempo de contacto con la plata. La tasa de flujo también es importante ya que los filtros necesitan tratar suficiente agua a diario para poder cubrir las necesidades de una familia. El lavado del filtro incrementa temporalmente la tasa de flujo del filtro, pero los filtros no vuelven a su velocidad de flujo original tras los lavados. La tasa de flujo continúa disminuyendo con el tiempo 0.5 L/h lo que lo vuelve incapaz de satisfacer las necesidades de agua segura para una familia. Este valor puede variar dependiendo del material orgánico con el que haya sido elaborado,

usuarios han informado que los filtros proporcionaron suficiente agua para su consumo. Además, no se ha reportado una diferencia significativa en la eliminación de patógenos entre los filtros con mayores y menores caudales. Por otro lado, se ha demostrado que filtros elaborados con combinación de materiales de combustión como cáscara de arroz y café en la misma relación de volumen y del mismo tamaño de tamizaje, a comparación de filtros elaborados solo con aserrín, tenían velocidades de flujo más rápidas (Potters for Peace, 2011).

2.5.5.4 Eficiencia microbiológica

2.5.5.4.1 Remoción de protozoarios

Los filtros de cerámica son altamente eficaces en la remoción de protozoarios debido a su gran tamaño. Protozoarios como *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium parvum* que se encuentran como quistes y ooquistes respectivamente, presentan un tamaño mayor a 4 μm . Un filtro elaborado en Nicaragua logró una reducción de 4 Logs para los dos protozoarios. Otros filtros elaborados en Camboya lograron una reducción de hasta 6 Logs (Lantagne, 2001).

2.5.5.4.2 Remoción de bacterias

Varias investigaciones han demostrado la eficiencia microbiológica de los filtros de cerámica, en la remoción de bacterias. Un estudio realizado en Guatemala mostró una remoción del 91% para coliformes fecales. En Nicaragua se trató el agua disponible de siete comunidades y mostró una remoción del 53% para *Escherichia coli*. En Camboya se distribuyeron 1000 filtros de cerámica, después de un año de filtración mostraron una remoción del 99% para *Escherichia coli* con menos de 10 unidades formadoras de colonia (UFC) por 100 ml (Roberts, 2003).

2.5.5.4.3 Remoción de virus

Los filtros de cerámica tienen como desafío la remoción de virus, debido a su tamaño demasiado pequeño y a que la plata resulta ineficaz en la eliminación de virus. Se ha demostrado que los filtros con o sin plata coloidal no son efectivos en la eliminación del bacteriófago MS2. Un estudio en el que se añadió goethita a arcilla, logró una mayor absorción e inactivación de virus de 8 Logs, aunque

nunca se testeó en filtros reales (Brown & Sobsey, 2009). Para esa confirmación, filtros elaborados en Camboya añadieron a la mezcla laterita que es rica en goethita y ciertos óxidos de hierro presentando una remoción de solo 1-2 LRV para el bacteriófago MS2 (Brown & Sobsey, 2007).

Un resumen de los estudios realizados para evaluar la eficacia microbiológica de los filtros de cerámica para remover bacterias, protozoarios y virus se muestran en la Figura 21

	Microorganismo	LRV	Matriz	Uso de CWF
Virus	MS2	1.24 (0.5-3)	agua de canal	después de 13 semanas
	MS2	0,29	agua desionizada	nueva
	MS2	1,4	agua de lluvia	más de 600 litros de rendimiento
	MS2	1,3	agua de superficie	más de 300 litros de rendimiento
	MS2	0,6	agua de canal	arriba de 300 litros
Protozoarios	Clostridium oocyst	4,3	agua de canal	después de 12 semanas
	<i>Cryptosporidium parvum</i>	4,6	decolorada, prefiltrada, agua de transporte desinfectada-UV	nuevo filtro
	Giardia Lambia cysts	4,3	decolorada, prefiltrada, agua de transporte desinfectada-UV	nuevo filtro
Bacteria	<i>E. Coli</i> CN13	2,2 (2,0-2,6)	agua de lluvia	más de 600 litros de rendimiento
	<i>E. Coli</i> CN13	2,3 (1,9-2,6)	agua de superficie	más de 600 litros de rendimiento
	<i>E. Coli</i> K12	6,55 (5,1-7)	agua de canal	después de 12 semanas
	<i>E. Coli</i> K12	3,0-4,5	agua de rifo decolorada	nueva
	<i>E. Coli</i> K12 and WR1	1,2	agua de canal	arriba de 300 litros

Figura 21. Eficiencia microbiológica de los filtros de cerámica para la remoción de microorganismos en agua

Adaptado de (Guerrero-Latorre, 2016)

2.6 Filtros de agua de cerámica negra.

Los filtros de cerámica clásicos han demostrado su potencial en la remoción de patógenos en agua, logrando reducir hasta el 50% de incidencia de diarreas, en las poblaciones en las que se los ha utilizado como tratamiento de agua domiciliar (Clasen et al., 2008). Sin embargo, la remoción de virus en agua no resulta tan eficiente, en un estudio descrito por Salsali *et al.* (2011) en el que se utilizó filtros con y sin plata mostró un rango de reducción de 0.21-0.45 Logs, sin encontrarse una diferencia significativa entre los que estaban impregnados y los que no (Salsali, McBean, & Brunsting, 2011). En otro estudio realizado por Brown y Sobsey (2010) los filtros mostraron una eficiencia en la remoción de virus de hasta 1.5 Logs, sin que haya diferencia entre filtros con o sin plata (Joe Brown & Sobsey, 2010). El problema es que la concentración de virus en aguas

superficiales de todo el mundo ha mostrado un rango de 2-4 Logs/L de adenovirus humano, por lo que los filtros de cerámica no resultarían eficientes para su remoción (Bofill-mas et al., 2013).

2.6.1 Modificados con óxidos de hierro

De acuerdo con la capacidad de retención de virus en su estructura, por su pequeño tamaño no pueden ser retenidos. Por lo que se ha analizado la capacidad de adhesión de los virus a superficies cargadas positivamente, como óxidos de metales o arcillas que son ricas en óxidos férricos. Brown (2010) reportó que los óxidos como la goetita (FeO), magnetita (Fe₂O₃) y alúmina (Al₂O₃) pueden capturar bacteriófagos con una reducción de hasta 8 Logs. Otros filtros reportados por Wegmann (2007) a los que se los recubrió por inmersión con nanopolvo de ZrO₂, mostraron una remoción de hasta 7 Log para el bacteriófago MS2, esta eficiencia microbiológica se atribuye a que cambió el punto isoeléctrico del filtro de un pH menor a 3 a uno entre 5.5-9. Además hubo un incremento en el área de superficie de 12.5 a 25.5 m²/g, lo que le confiere una mayor superficie para la remoción de virus (Wegmann, Michen, Luxbacher, Fritsch, & Graule, 2008).

2.6.2 Cocidos en atmósfera reductora

Además de la presencia de óxidos naturales que ha mostrado ser eficiente en la remoción de virus, otro factor es la forma de cocción de la pieza de cerámica. Al realizar la cocción en una atmósfera reductora la carga superficial de la pieza cambia, lo que puede mejorar la retención de virus. Una atmósfera reductora se crea utilizando un horno tradicional que funcione a leña o a gas y pueda alcanzar los 990°C. Después de alcanzada esa temperatura, se sella el horno por completo para que se consuma el oxígeno por completo, logrando crear una atmósfera reductora que afecta a los componentes de la arcilla, y los óxidos de hierro presentes pasan a óxido ferroso. El efecto visual que tiene la atmósfera reductora en los filtros es que los componentes de la pared de la pieza cambian de color marrón-rojo a gris (Figura. 22).

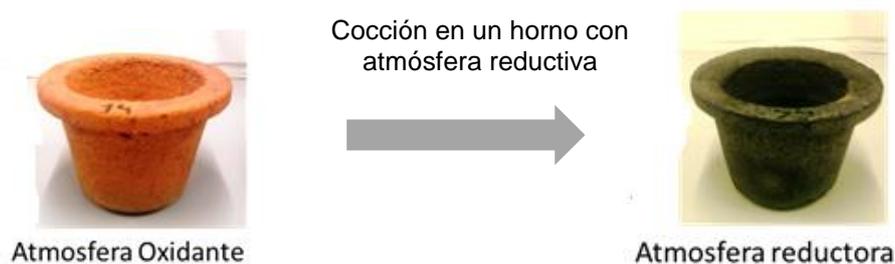


Figura 22. Filtro de cerámica clásica Vs filtro de cerámica negra.

Tomado de (Guerrero-Latorre et al., 2015)

En un estudio realizado por Guerrero *et al.* (2015) se analizó la remoción microbiológica de virus y bacterias, con filtros modificados con óxidos naturales añadidos a la arcilla y filtros cocidos en diferentes atmósferas. Para ello, se utilizaron arcillas modificadas por adición de óxidos naturales (Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , y Al_2O_3 que logran aumentar la carga positiva del filtro), y arcillas de Gerona (España) y de localidades haitianas. Los óxidos naturales fueron añadidos en un 16% en peso dentro de la mezcla de arcilla antes de formar el filtro, después se añadió cáscara de arroz pulverizada (250 μm) en un 23% en peso, y fueron cocidos a 950-990 $^\circ\text{C}$ durante 9 horas en atmósfera oxidante. Otro batch de filtros sin óxidos añadidos, en la misma proporción de cáscara de arroz pulverizada y con tres diferentes tipos de arcillas Bisbal (no calcárea), Artibonita de Haití (base cálcica) y Aquin (no calcárea), se quemaron en atmósferas oxidativas o reductivas. Los filtros elaborados presentaron un caudal entre 1-3 L/h y en ninguno de los casos se añadió plata coloidal. El agua dopada para el ensayo de eficacia microbiológica contenía *Escherichia coli*, HAdV2, NoV, y el bacteriófago MS2 y se determinó la eficiencia de los filtros después de 1 000 litros filtrados.

Los filtros cocidos en una atmósfera reductora presentaron mayores áreas superficiales, con un valor promedio de 6.65 m^2/g que los que fueron cocidos en atmósfera oxidativa con una superficie de 2.41 m^2/g . Los filtros que fueron modificados con óxidos de Fe_2O_3 , Fe_3O_4 y Al_2O_3 no presentaron una remoción microbiológica significativa, el LRV encontrado fue inferior a 1 Log para todos los prototipos y todos los microorganismos, exceptuando para el filtro que contenía Al_2O_3 que mostró una mayor eliminación para *Escherichia coli* de 1.34 LRV. Por

el contrario, los filtros que fueron cocidos en atmósfera reductiva y elaborados a partir de las 3 arcillas no modificadas (Bisbal, Artibonite y Aquin) presentaron una mayor remoción de virus y bacterias. Para HAdV, MS2 y NoV hubo una eficiencia microbiológica de 3 Logs y para *Escherichia coli* de 2.5 Log (Figura 23.)

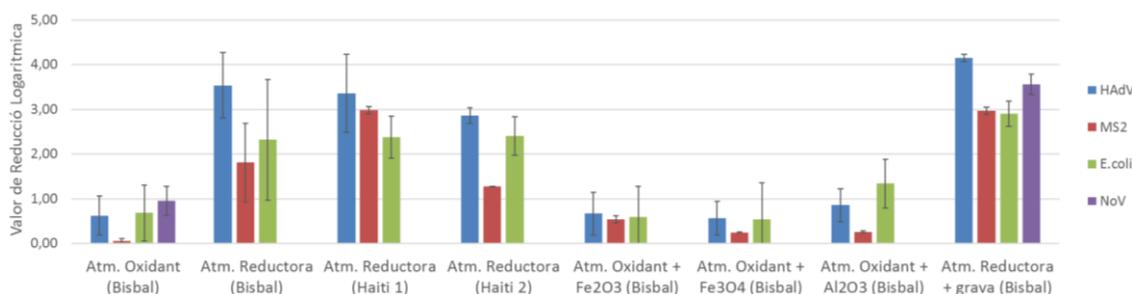


Figura 23. Valor de Reducción Logarítmica para filtros de cerámica con diferente composición y forma de cocción.

Tomado de (Guerrero-Latorre et al., 2015)

El estudio a lo largo de 1000 litros filtrados (para los filtros con una capa adicional de grava y cocidos en atmósfera reductiva) mostraron valores de reducción logarítmica de 2.5 Log para HAdV, de 4 Logs para MS2 y de 1.5-4 Log para *Escherichia coli* (Guerrero-Latorre et al., 2015) (Figura 24.).

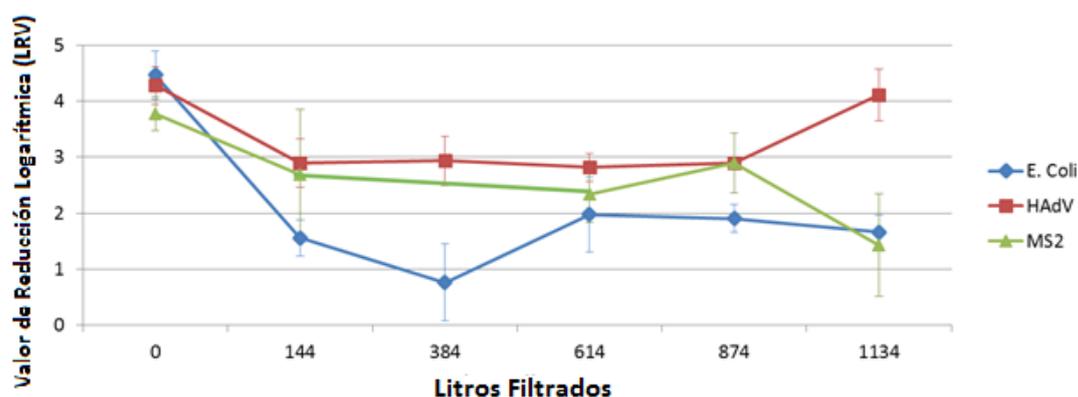


Figura 24. Valor de Reducción Logarítmica para filtros de cerámica con una capa adicional de grava y cocidos en atmósfera reductora

Tomado de (Guerrero-Latorre et al., 2015)

Como conclusión de este estudio, los nuevos modelos cocidos en atmósfera reductiva y sin plata coloidal mostraron eficiencia en la remoción de virus y

bacterias mayor que los estudios hasta ahora reportados, alcanzando así los parámetros establecidos por la OMS para los tratamientos de agua domiciliar (HWTS). Además, los filtros de cerámica negra presentaron una mayor área de superficie interna, lo que incrementa la eliminación de virus al retenerse en una mayor área de superficie. Estos nuevos prototipos de filtros de cerámica negra pueden ser fácilmente implementados en las fábricas, simplemente requiere de un horno específico que puede ser construido con materiales locales o uno tradicional en el que se pueda crear una atmósfera reductiva. Esta tecnología se va a implementar por primera vez en el mundo, en la producción de filtros de cerámica negra en Ecuador.

2.7 Fábrica Horeb Pifo-Ecuador

La fábrica está gestionada por una iglesia evangelista por el Pastor Ramiro Báez que está ubicada en la hacienda San Carlos en la parroquia Pifo, la misma que entró en funcionamiento como fábrica de filtros de cerámica asesorada por Potters for Peace en 2009. A partir de ahí lleva una producción anual de 500 filtros al año. Los filtros principalmente se han vendido a Organizaciones No Gubernamentales, con una producción anual bastante baja y un mercado bastante limitado ya que su distribución se limita a lugares que han sufrido algún tipo de desastre natural entregados gratuitamente a las personas como un tratamiento de agua domiciliar. En la actualidad la fábrica aspira mejorar sus ventas y ampliar su mercado, lo que le permitirá mantener la producción de la fábrica y poder cumplir con los objetivos de convertir a la fábrica en una fuente de trabajo para la comunidad, y sobre todo que pueda elaborar una tecnología capaz de brindar agua de calidad a un precio accesible. En marzo del 2017 se puso en marcha la construcción de un horno de cerámica negra (atmósfera reductora) para elaborar el nuevo prototipo de Filtros de Agua de Cerámica Negra.

3. Capítulo III. Diseño del Plan Experimental

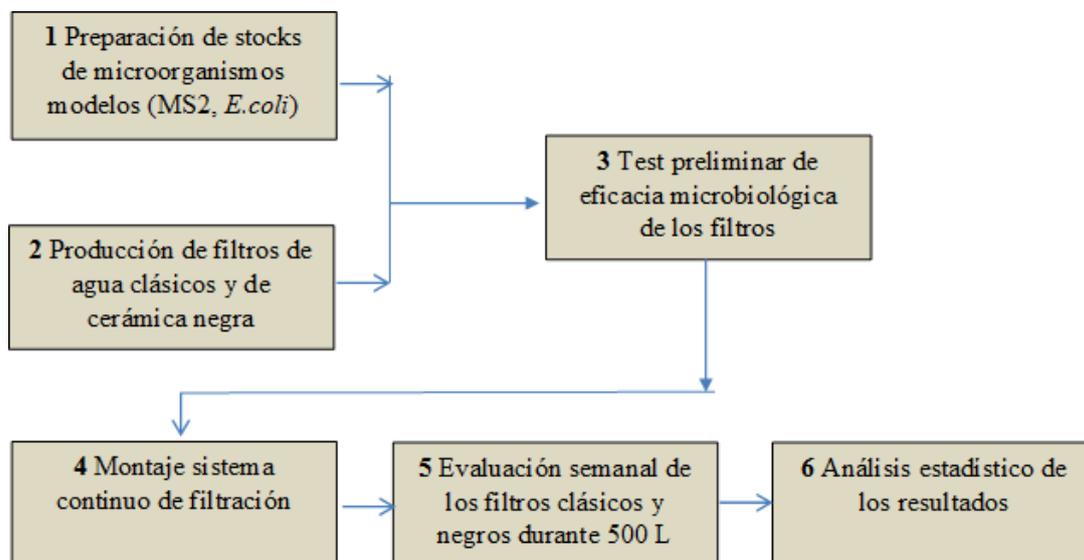


Figura 25. Diseño del Plan Experimental

Con el objetivo de evaluar la eficacia microbiológica de los filtros de cerámica negra se obtuvieron stocks de microorganismos modelo: *E. coli* ATCC 25933 como bacteria y el bacteriófago MS2 como virus. Los filtros de cerámica negra fueron producidos por la fábrica “Horeb” ubicada en la parroquia Pifo en Ecuador. Se elaboraron a partir de aserrín, arcilla y agua, los componentes fueron amasados, prensados y cocidos hasta los 890°C que fue cuando se creó la atmósfera reductora lo que provocó que sean de color negro. Después fueron impregnados con nitrato de plata coloidal lo que le otorga un efecto bactericida al momento de filtrar.

Para los test de eficacia a nivel de laboratorio se dopó/añadió con los microorganismos modelos un agua libre de cloro que fue filtrada a través de los filtros. Se cuantificó las concentraciones de bacterias y virus en el agua inicial y final después del tratamiento. Para lo cual, de acuerdo con la concentración de microorganismos que el agua presentaba se utilizaron dos técnicas, el Método de Dilución Seriada y el Método de Filtración por Membrana. El Método de Dilución Seriada consistió en diluir la muestra en un tampón y plaquear en un agar selectivo, de igual manera para el bacteriófago MS2 con la particularidad que se realizó un cocultivo de la muestra diluida del MS2, *Salmonella* WG49 y

un medio semisólido ssTYGA. Para el Método de Filtración por Membrana se utilizó una Trampa de Filtración que consistió en pasar el agua filtrada a través de una membrana de nitrocelulosa, la misma que fue sembrada en un agar selectivo, este procedimiento fue únicamente para el microorganismo *E. coli* ATCC 25922.

Además, estos test de eficacia se repitieron semanalmente a lo largo del uso continuo de los filtros, para lo cual se elaboró un sistema de goteo continuo a través de tanques, mangueras y aspersores que proveían agua constantemente a los filtros por tiempo determinado.

4. Capítulo IV. Procedimientos

4.1 Determinación de la población

La población que se analizó consistió en un batch de 30 filtros de agua de cerámica negra fabricados por la fábrica “Horeb” ubicada en Pifo-Ecuador.

4.2 Determinación de la muestra

A partir del batch de filtros de agua de cerámica negra se tomó una muestra de 3 filtros, que correspondió al 10% del batch. La muestra fue analizada en el Laboratorio de Investigación de la Universidad de las Américas “UDLA”, sede Queri, Quito-Ecuador. Para los cuales, se analizó su eficacia microbiológica en la remoción de bacterias y virus después de 1200 litros filtrados. El estudio se realizó interrumpidamente durante 2 meses, 7 días a la semana y 24 horas al día, con un lapso de 4 horas en el que el sistema paró para el análisis en laboratorio.

4.3 Descripción de materiales y métodos

4.3.1 Microorganismos modelo

4.3.1.1 *Escherichia coli* ATCC 25922

4.3.1.1.1 Preparación del stock de trabajo

La cepa de *Escherichia coli* (ATCC 25922) fue donada por la Dra. Maira Rojas Directora de los Laboratorios de Docencia ULDA, la cual fue aislada por técnica

de estriamiento en un agar de cultivo selectivo (Chromocult Coliform Agar, Merck, 118441) y crecida a 37 ± 1.7 °C por 24 horas. Por otro lado, se formuló 50 ml del medio TYGB (Tripton-Extracto de levadura) en un matraz Erlenmeyer de 300 ml, el cual fue suplementado con 0.5 ml de Calcium glucosa (fuente de carbono). Se seleccionó y pico de 3-5 colonias del agar selectivo y fueron inoculadas en el medio líquido TYGB-Glu antes preparado. El matraz fue incubado a 37 ± 1.7 °C por 6 horas a 180 ± 10 rpm. El crecimiento en medio líquido se trasvasó a un tubo Falcon de 50 ml, se añadió 10ml de glicerol y se homogenizó para su posterior conservación. Finalmente, se alicuotó 1ml en viales de plástico y almacenó a -80°C .

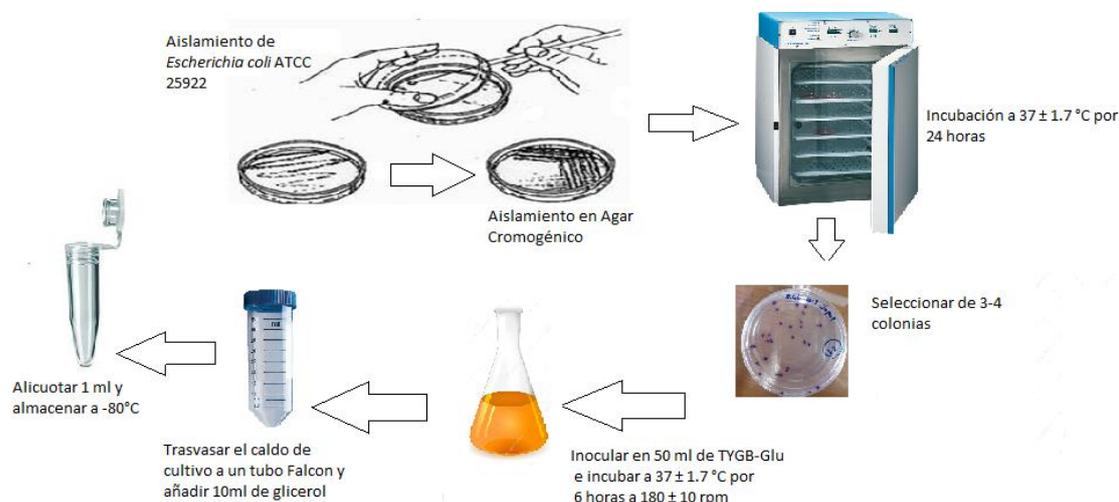


Figura 26. Preparación del stock de trabajo *Escherichia coli* ATCC 25922

Adaptado de (Potters for Peace, 2011)

4.3.1.1.1 Calibración de la curva de crecimiento

Con el objetivo de conocer la densidad óptica correspondiente a una concentración conocida elaboramos una curva patrón. Se tomó un vial de la cepa alicuotada del congelador y se atemperó. Se preparó 75 ml de TYGB-Glu a un matraz Erlenmeyer de 300 ml, se tomó 1 ml del medio como blanco para ajustar el espectrofotómetro a 0. Se inoculó 1ml del vial alicuotado y se incubó a 37 ± 1.7 °C y 80 ± 10 rpm por 6 horas. Cada 30 minutos se tomó 1ml de muestra del matraz y se midió su absorbancia a 600 nm, asegurándonos de que el matraz se mantenga fuera de la incubadora por tiempos cortos. A su vez cada muestra a

los distintos tiempos fueron tituladas, diluyendo cada muestra hasta 10^{-7} y se sembró con el asa de Drigalsky 0.1 ml de los volúmenes 10^{-5} , 10^{-6} y 10^{-7} en un medio de cultivo selectivo Chromocult Coliform Agar. Finalmente se incubaron las cajas a 37 ± 1.7 °C por 24 horas, se contó el número total de colonias en cada caja y se calculó la concentración de cada muestra (ufc/ml).

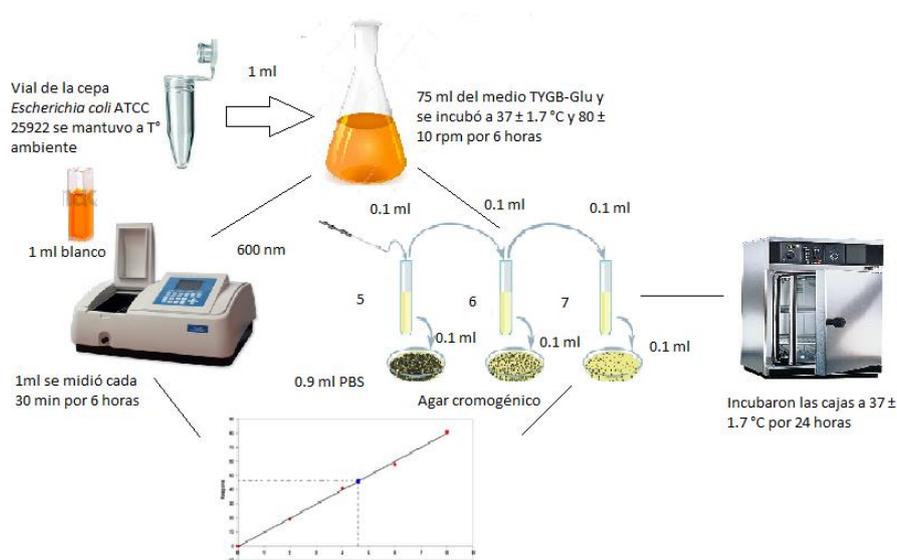


Figura 27. Curva de crecimiento para *Escherichia coli* ATCC 25922

Adaptado de (Potters for Peace, 2011)

4.3.1.1.2 Método de titulación

4.3.1.1.2.1 Método de Dilución Seriado

Este método se utilizó cuando la muestra se esperaba a una concentración >100 ufc/ml. Para ello se diluyó las muestras en PBS estéril (tampón fosfato salino) en relación con la concentración esperada y se sembró 0.1 ml de las diluciones a cuantificar en un medio de cultivo selectivo Chromocult Coliform Agar. Finalmente, se incubaron las cajas a 37 ± 1.7 °C por 24 horas, se contó el número total de colonias en cada caja y se calculó la concentración de cada muestra (cfu/ml).

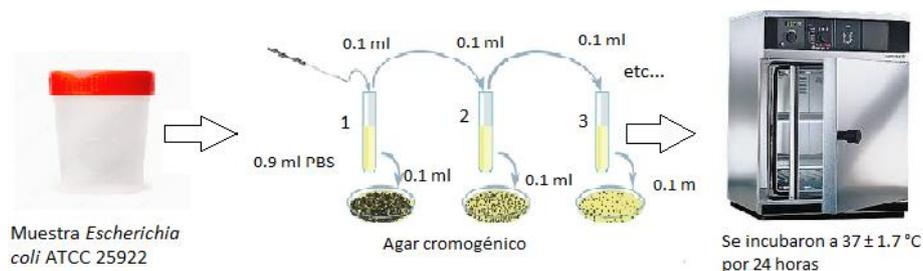


Figura 28. Titulación por el Método de Dilución Seriada para *Escherichia coli* ATCC 25922

Adaptado de (Potters for Peace, 2011)

4.3.1.1.2.2 Método de Filtración por Membrana

Este método se utilizó cuando las muestras presentaban concentraciones de contaminación <100 ucf/ml. Se filtraron volúmenes fijos de 100 ml o 10 ml en función de la concentración esperada (<1 ufc/ml o 1-100 ufc/ml respectivamente). La trampa de filtración consta de los siguientes elementos: bomba que genera vacío, matraz Kitasato, mangueras de plástico, 3 vasos cónicos con tapa, 1 llave de paso para cada vaso y 3 pinzas de sujeción. Adicionalmente se utilizan membranas de nitrocelulosa con un diámetro de poro de 0.45 μm , pinzas de laboratorio, alcohol al 96% y lámpara de alcohol. En primer lugar, se conectó la trampa de filtración a la bomba de vacío y al matraz Kitasato a través de mangueras. Se realizó la desinfección de los vasos cónicos de la trampa de filtración, con llama y alcohol al 96%. Se retiraron las pinzas de sujeción de los vasos y se colocó con una pinza estéril las membranas de nitrocelulosa sobre las rejillas de la trampa, y se colocaron nuevamente los vasos. Se vertieron las muestras en cada vaso cónico y se encendió la bomba de vacío, se esperó hasta que toda el agua sea pasada y se apagó la bomba. Se retiró la membrana con ayuda de una pinza estéril para colocarlas en cajas Petri con el medio Chromocult Coliform Agar, para ser incubadas a 37 ± 1.7 °C por 24 horas. Finalmente, se contó el número de colonias de color morado presentes en la membrana de nitrocelulosa de cada Caja Petri y se calculó la concentración de la muestra (ufc/ml).



Figura 29. Titulación por el Método de Filtración por Membrana para *Escherichia coli* ATCC 25922

Adaptado de (Potters for Peace, 2011)

4.3.1.2 Bacteriófago MS2

El bacteriófago MS2 fue donado por la Universidad de Barcelona. Es un bacteriófago sin membrana de una sola hebra de ARN, un virus capaz de infectar bacterias que expresan un pili sexual. Su tamaño y estructura es similar a la de los virus entéricos y son capaces de sobrevivir a los procesos de aguas y alcantarillado, como la desinfección y la luz solar mucho mejor que los indicadores bacterianos. Ya que los virus son parásitos estrictos, es necesario que infecten un hospedero para poder ser cuantificados. El bacteriófago MS2 infecta cepas de *Salmonella typhimurium* WG49 la misma que expresa un pili sexual para poder ser infectada, gracias a que fue modificada genéticamente con el plásmido F'42 lac Tn 5, por ello es necesario hablar primero acerca de esta cepa huésped.

4.3.1.2.1 Preparación del stock de trabajo de *Salmonella typhimurium* WG49

Se preparó un stock de la cepa huésped *Salmonella typhimurium* WG49 (donación de la Universidad de Barcelona), para lo cual se tomó un vial de cultivo WG49 y se realizó la técnica de estriamiento en una Caja Petri con agar McConkey para obtener colonias aisladas lactosa positivas. Por otro lado, se elaboró 50 ml del medio de cultivo TYGB en un Erlenmeyer de 300 ml, este medio

de crecimiento fue suplementado con 0.1 ml de ácido nalidíxico (presión selectiva) y 0.5 ml de Calcium glucosa. Después de transcurridas las 20 horas se seleccionaron y picaron de 3-5 colonias lactosa positiva del agar McConkey y fueron inoculadas en el medio líquido TYGB-Glu antes preparado. Se incubó por 5 horas a 37°C y 80 ± 10 rpm. Finalmente, se añadió 10 ml de glicerol al matraz para su conservación, se homogenizó y se alicuotó 1 ml en viales de plástico para almacenar a -80°C.

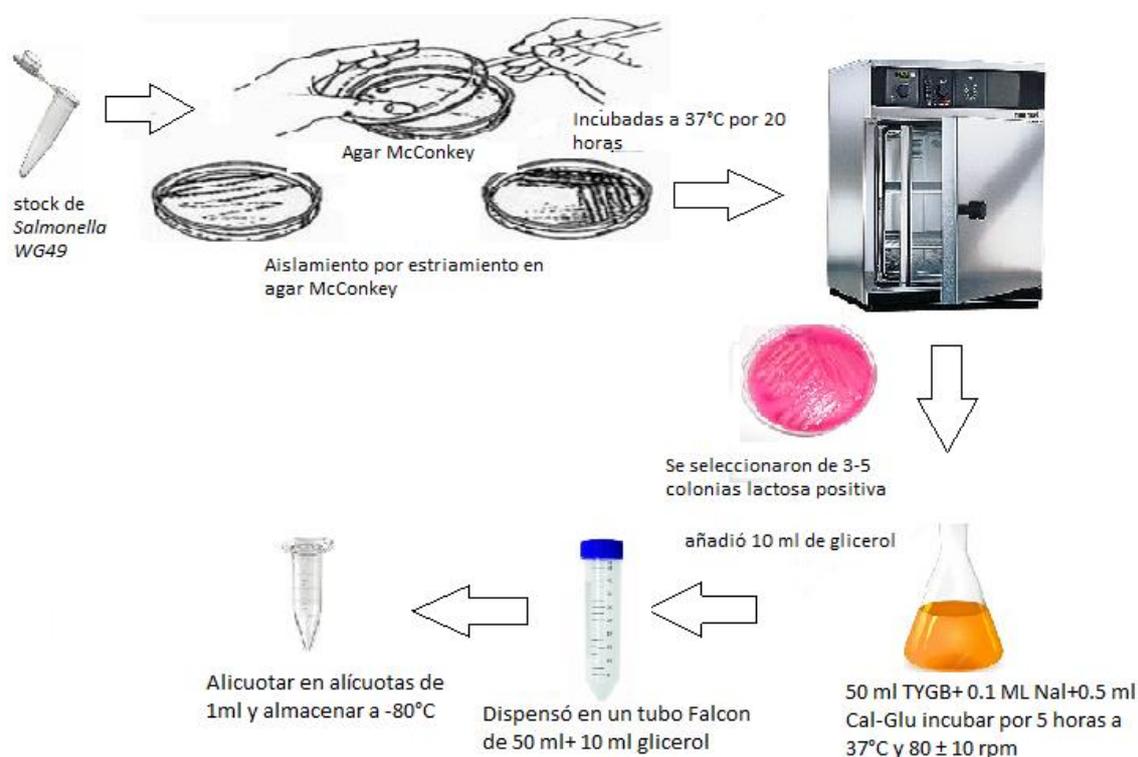


Figura 30. Preparación del stock de trabajo de *Salmonella* WG49

Adaptado de (Potters for Peace, 2011)

4.3.1.2.1.1 Calibración de la Curva de Crecimiento

Como objetivo de conocer la densidad óptica a la cual la *Salmonella* WG49 está a una concentración óptima para infectarla con MS2, se calibro su crecimiento.

Se tomó un vial del congelador de la cepa cultivada previamente y se la atemperó. Por otro lado, se preparó 50 ml del medio TYGB-Glu en un matraz Erlenmeyer de 300 ml, se tomó 1 ml del medio como blanco para ajustar el espectrofotómetro a 0. Se inoculó 0.5 ml del vial y se incubó a 37 ± 1.7 °C y 80

± 10 rpm por 3.5 horas. Cada 30 minutos se tomó 1 ml de muestra del matraz y se midió su absorbancia a 600 nm, asegurándonos de que el matraz se mantenga fuera de la incubadora por tiempos cortos. Se diluyeron las muestras hasta 10⁻⁶ y se sembró 0.1 ml de los volúmenes 10⁻⁴, 10⁻⁵ y 10⁻⁶ en Cajas Petri con medio de cultivo TYGA (Tryptona-Extracto de levadura-Glucosa Agar). Finalmente se incubaron las cajas a 37 ± 1.7 °C por 24 horas, se contó el número total de colonias en cada caja y se calculó la concentración de cada punto.

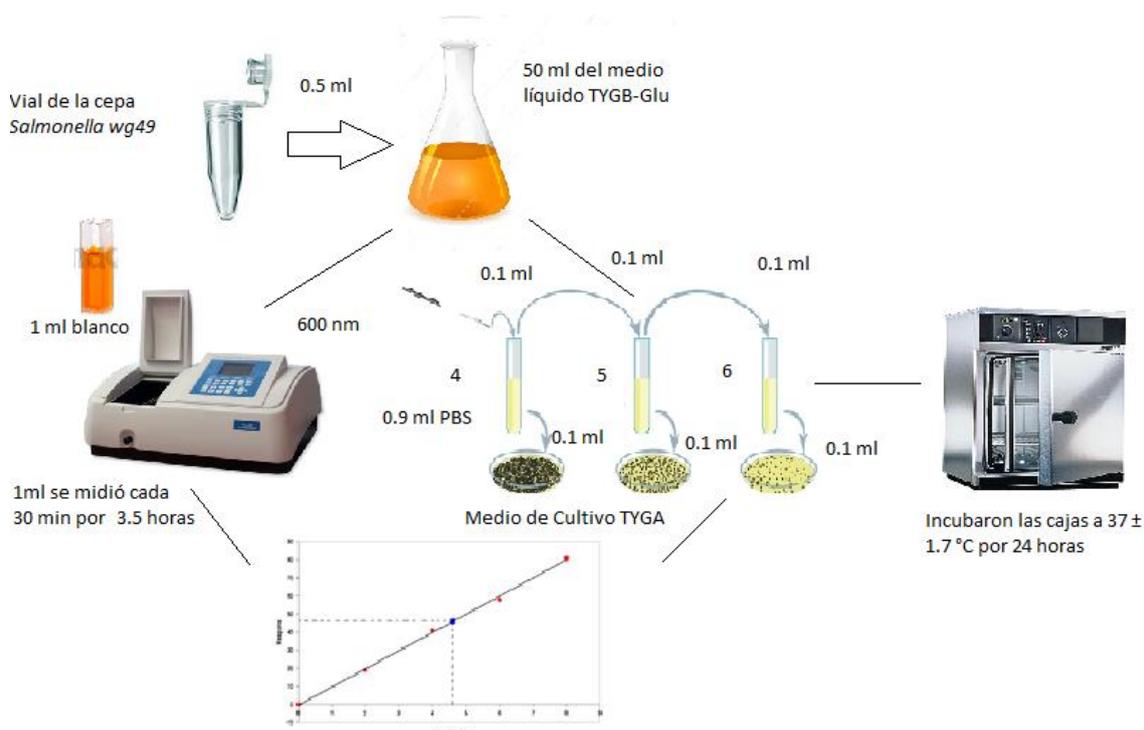


Figura 31. Curva de crecimiento para *Salmonella typhimurium* WG49

Adaptado de (Potters for Peace, 2011)

4.3.1.2.2 Preparación del stock del Bacteriófago MS2

Se preparó 25 ml del medio de cultivo líquido TYGB en un matraz Erlenmeyer de 250 ml, se inoculó 0.25 ml de la cepa *Salmonella typhimurium* WG49 y se dejó incubando a 37°C, 80 ± 10 rpm durante 20 horas. Al día siguiente, otros 25 ml del medio de cultivo líquido TYGB, fueron inoculados con 0.25 ml del cultivo overnight de *Salmonella typhimurium* WG49. Cuando el crecimiento de salmonella WG49 presentó una concentración o densidad óptica óptima (según la curva de calibración) se infectaron con el bacteriófago MS2 a una

concentración final de 10^7 pfu/ml (proveniente de un stock de Barcelona) y se lo dejó incubando a 37°C , 80 ± 10 rpm por un tiempo de 4-5 horas. Transcurrido ese tiempo, se añadió 2.5ml de cloroformo (10%), se homogenizó y se dejó incubando toda la noche a 4°C . Finalmente, al día siguiente se recuperó la fase acuosa y se centrifugó a $3000 \times g$ durante 20 minutos. Se recogió con pipeta el sobrenadante y almacenó a 4°C .

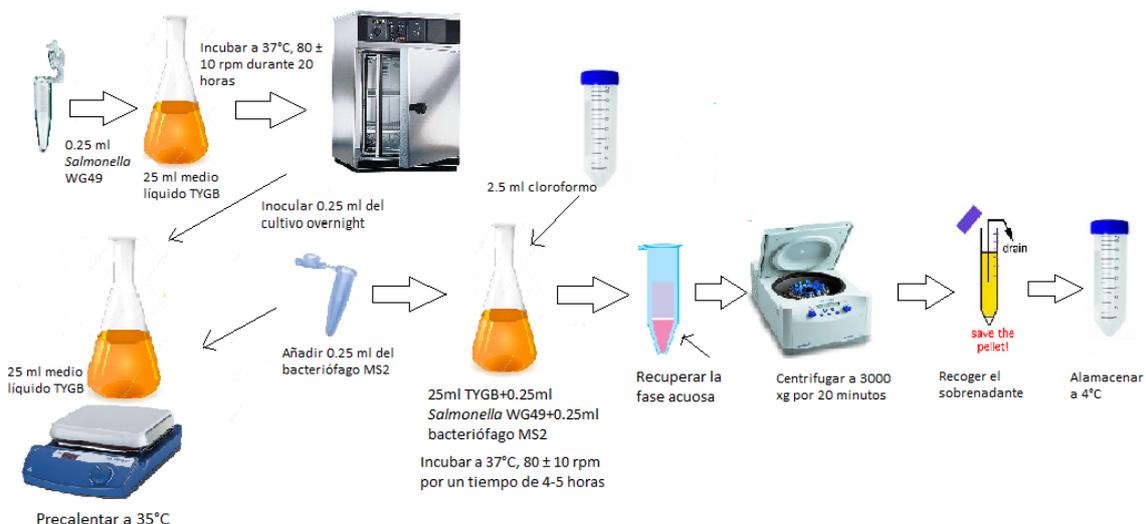


Figura 32. Replicación del bacteriófago MS2

Adaptado de (Potters for Peace, 2011)

4.3.1.2.2.1 Método de titulación

En función de la concentración esperada, se realizaron diluciones de la muestra en PBS. Se puso en contacto 1 ml de las diluciones respectivas de la muestra conteniendo el bacteriófago MS2, junto con 1 ml de la *Salmonella typhimurium* WG49 a una OD 0.22 en frascos de vidrio estéril, junto con 3 ml de ssTYGB previamente adicionado con Glucosa y Acido Nalidíxico. Se plaqueó el cocultivo en una placa Petri con medio de cultivo TYGA y se incubó a 37°C por 24 horas. Se contó el número total de calvas formadas en las Cajas Petri (sitios transparentes en el agar) y se calculó la concentración de pfu/ml de la muestra.

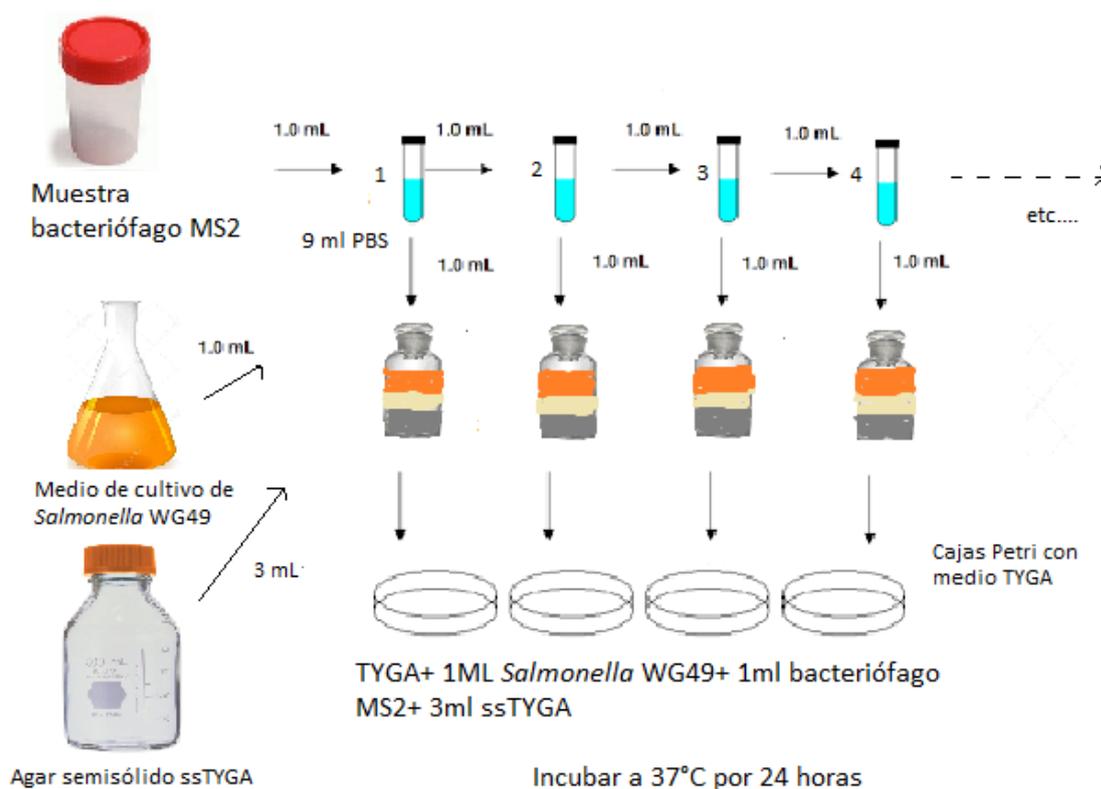


Figura 33. Titulación de la muestra para el bacteriófago MS2

Adaptado de (Potters for Peace, 2011)

4.3.2 Producción de filtros de agua de cerámica negra.

Los filtros de agua de cerámica negra fueron elaborados en la fábrica “Horeb” ubicada en Pifo-Ecuador. Para elaborar 16 filtros se utilizó 68 kg de aserrín, 10 kg de arcilla y 25 litros de agua fueron mezclados, amasados y repartidos para elaborar 16 filtros. Los cuales fueron moldeados y prensados hasta obtener el tamaño y la forma característica. Posteriormente fueron cocidos en un horno de leña hasta los 890 °C días que fue el momento en el que se quitó totalmente el suministro de oxígeno para recrear una atmósfera reductora, y se dejó enfriar hasta los 180 °C por aproximadamente 3 días antes de ser retirados. Después se los sumergió por 3 horas en agua para eliminar cualquier material que se haya retenido en los poros. Se realizaron pruebas para determinar el estado después de la cocción que consistían en pruebas de sonido y pruebas de filtración. Finalmente fueron impregnados con ayuda de una brocha por dentro y por fuera

con 93.75 mg de nitrado de plata coloidal por filtro, para lo cual se diluyeron 1.5 g de nitrato de plata por cada 4 litros agua.



Figura 34. Producción de filtros de agua de cerámica negra en la fábrica “Horeb” Pifo-Ecuador

Adaptado de (Potters for Peace, 2011)

4.3.3 Test de eficacia microbiológica de los filtros elaborados

Para determinar la eficacia microbiológica de los filtros a nivel de laboratorio, se dopó agua de cloro con los microorganismos modelo a una concentración en agua para MS2 de 6.24×10^5 ufp/ml y para *E. coli* ATCC 25922 de 8.1×10^5 ufc/ml. Se dejó agitando a 250 ± 10 rpm por 15 minutos. Después de este tiempo se tomó una muestra del agua dopada y se almacenó a 20°C hasta su titulación. Después el agua dopada fue repartida equitativamente para cada filtro (3 filtros negros) los cuales fueron colocados individualmente en un receptáculo con un agitador mariposa, para asegurar una correcta distribución de los posibles microorganismos presentes en el efluente.

Transcurridas las 3 horas de filtración, se obtuvo las muestras de agua filtrada de cada filtro, los cuales fueron almacenados a 20°C.



Figura 35. Test de eficacia microbiológica a nivel de laboratorio de los filtros elaborados

Adaptado de (Potters for Peace, 2011)

4.3.4 Montaje sistema continuo de filtración

Se implementó un sistema de goteo continuo para los filtros de agua de cerámica negra. En primer lugar, se dispuso dos tanques de 500 litros que fueron los que suministraron agua decolorada constantemente a través de un sistema de mangueras y válvulas. Se diseñó una mesa de madera cubierta por puertas de madera, en la que se pudo colocar a los filtros y dejar que estos filtraran indefinidamente siempre cubiertos para evitar cualquier forma de contaminación. De igual manera, la mesa fue envuelta en plástico para evitar que los filtros se contaminaran por la parte inferior. Se implementó aspersores en paralelo con ayuda de mangueras, los cuales tenían regulado un caudal de aproximadamente 1 L/h para cada filtro. El agua filtrada se recogía a través de un sistema de caída de agua, para inmediatamente ser arrojada al desagüe.



Figura 36. Montaje sistema continuo de filtración

Adaptado de (Potters for Peace, 2011)

4.3.5 Evaluación semanal de los filtros negros durante 1200 L

Ya establecido el sistema de goteo continuo, se dejó filtrando durante 2 meses, 7 días a la semana y por 24 horas con una provisión de agua continua de 1L/h para cada filtro. Dándonos un total de 1200 litros aproximadamente de agua filtrada para cada filtro después de los 2 meses de ensayo. Un día por semana se realizaron pruebas de caudal, para monitorear la cantidad de agua que se suministraba a cada filtro en una hora, y el día 7 de cada semana se evaluó su eficacia microbiológica a nivel de laboratorio antes ya descrita. Finalmente, se realizaron 2 mantenimientos a los filtros en este periodo de tiempo, en los cuales se eliminó la biopelícula que se había formado por dentro y por fuera del filtro, con ayuda de un juego de lijas y agua destilada que nos ayudó a eliminar la biopelícula formada.

4.4 Evaluación estadística de los resultados

Los valores de reducción logarítmica (LRV) se calcularon restando el Log10 de la concentración final del Log10 de la concentración inicial de microorganismos presentes (*Escherichia coli* y bacteriófago MS2) y se calcularon los valores promedios y las desviaciones estándar. Para los cálculos de promedios y desviación estándar, así como las gráficas que muestran los resultados obtenidos se utilizó el Programa Excel 2016.

5. Capítulo V. Resultados y Discusión.

5.1 Preparación de Stocks de Trabajo

5.1.1 Bacteriófago MS2

Se obtuvo un stock de trabajo de MS2 que tuvo una concentración de $E+12$ ufp/ml que estaba dentro del margen de concentración esperada después de proceder a la amplificación siguiendo la ISO 10705-2 ($E+10-13$ ufp/ml) (International Organization for Standardization, 1996).

Para tener un stock de trabajo con el cual dopar el agua, diluimos hasta una concentración de $E+10$ ufp/ml. Este stock inicial fue titulado en cada ensayo de filtración con una concentración promedio de $8.19E+09$ ufp/ml y una desviación estándar de 0.49.

El agua dopada para los ensayos de filtración fue inoculada con 3 ml del stock de trabajo por cada 10 L de agua y tuvo una concentración promedio de $1.64E+06$ ufp/ml y una desviación estándar de 0.49. Esta concentración final fue la adecuada para poder medir la capacidad de remoción viral, ya que se esperaba una reducción logarítmica de 2-3 Logs por parte del filtro de cerámica negra (WHO, 2011).

5.1.2 *Salmonella typhimurium* WG49

Se obtuvo un cultivo saturado de *Salmonella typhimurium* WG49 que fue alícuotado y almacenado a -80°C . Para cada ensayo de filtración se creció una alícuota del inóculo hasta una densidad celular de $E+08$ ufc/ml, que de acuerdo con la ecuación de la curva de crecimiento de la *Salmonella typhimurium* WG49 ($y=2E-09x+0.0227$) correspondía a una absorbancia de 0.227 nm. (Figura 37.).

Se buscó esta densidad celular ya que es el momento en que la *Salmonella typhimurium* WG49 se encuentra en fase exponencial, y es capaz de expresar el phili para poder ser infectada por el bacteriófago MS2 de acuerdo a la normativa ISO 10705-2 (International Organization for Standardization, 1996).

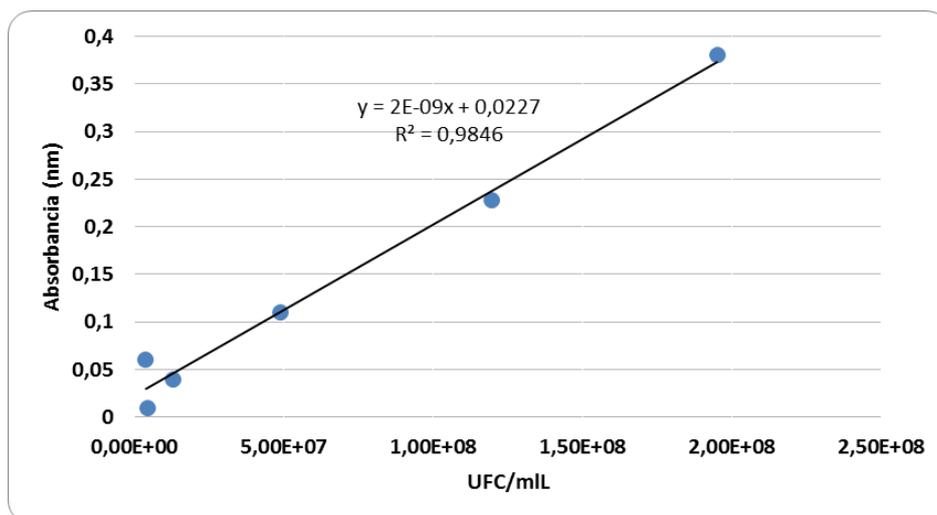


Figura 37. Curva de crecimiento de *Salmonella typhimurium* WG49 a 600 nm.

El tiempo al que se obtuvo esa absorbancia (0.227 nm) fue de 2 horas y 1 minuto, que fue determinado a partir de la ecuación ($y=5.8469x+0.7019$) de la gráfica Tiempo Vs Absorbancia (Figura 38.)

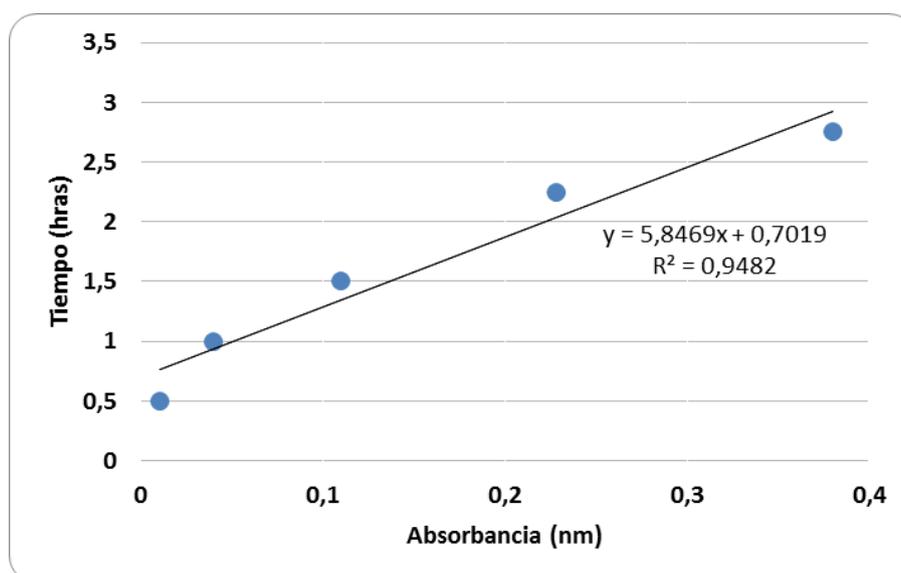


Figura 38. Curva Tiempo Vs Absorbancia para *Salmonella typhimurium* WG49.

5.1.3 *Escherichia coli* ATCC 25922

Se obtuvo un primer stock de trabajo de *Escherichia coli* ATCC 25922 que tuvo una concentración de $E+08$ ufc/ml, pero este no resultó estable a lo largo del tiempo almacenado a 4°C , ya que al titularlo al día siguiente tenía una

concentración de E+05 ufc/ml, por lo que se decidió utilizar stocks producidos el día anterior.

La concentración de E+08 ufc/ml corresponde a una absorbancia de 1.4 nm en un tiempo de incubación de 7 horas y 30 minutos como se observar en la Tabla 6.

Tabla 6

Medida de absorbancia y ufc/ml para Escherichia coli ATCC 25922

Tiempo (horas)	Absorbancia (nm)	-4	-5	-6	-7	ufc/mL
2	0,071	70	22		NA	1,45E+07
2,5	0,165	NA	68	1	NA	3,90E+07
3,5	0,608	NA	254	24	NA	2,47E+08
5,5	1,036	NA	240	14	2	1,93E+08
6,5	1,313	NA	NA	125	12	1,23E+09
7,5	1,414	NA	NA	95	4	6,75E+08

El agua dopada para los ensayos de filtración se inoculo con 10 ml del stock de trabajo para cada 10L y tuvo una concentración promedio de 8.10E+05 ufc/ml. Esta concentración final fue la adecuado ya que se esperaba una reducción logarítmica de 4-5 Logs por parte del filtro de cerámica negra (WHO, 2011).

5.2 Producción de los filtros de cerámica negra

El 8 de mayo del 2017 se elaboraron los primeros prototipos de filtros de cerámica negra, en la fábrica "Horeb" ubicada en la parroquia Pifo-Ecuador. De un total de 16 filtros elaborados, cada uno estaba conformado por 4,25 kg de arcilla, 0,625 kg de aserrín y 1,5 litros de agua con un peso total de 6.375 kg. El filtro obtenido después de ser moldeado y prensado presentó las siguientes dimensiones: diámetro externo: 32.4 cm, altura: 24 cm, diámetro de la base: 22.8 cm y altura del borde que encaja en el receptáculo: 2.1 cm como se puede observar en la Figura 39.

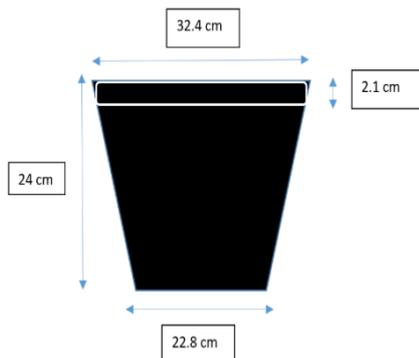


Figura 39. Dimensiones del filtro de cerámica negra.

La arcilla empleada fue de color rojo por la presencia de óxidos de hierro, pero después de ser carbonizados hasta los 890°C por 13.5 horas, el óxido férrico se convirtió en óxido ferroso que le confirió el color negro característico.

En la Figura 40. se puede observar el aumento de temperatura del horno a medida que transcurren las horas, llegando hasta los 890°C a las 13.5 horas que fue el momento en que se quitó por completo el suministro de oxígeno para crear la atmósfera reductora.

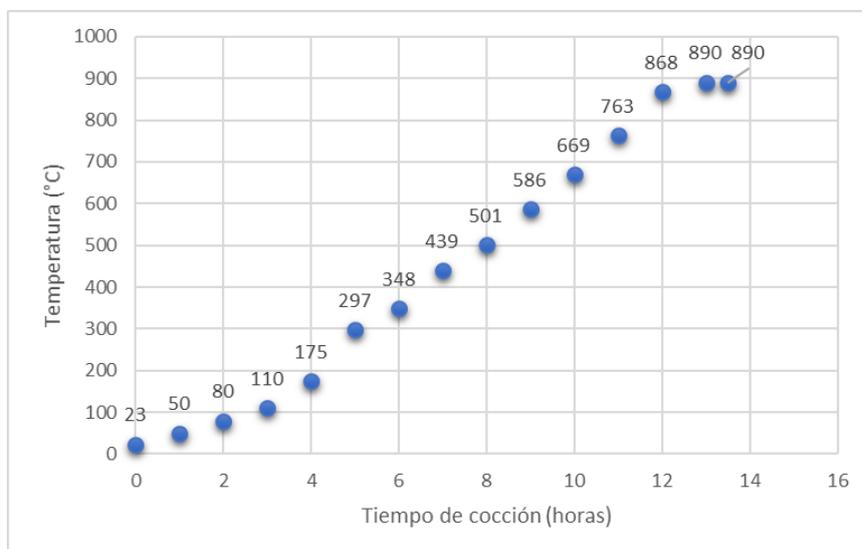


Figura 40. Curva de cocción de los filtros de cerámica negra.

Después de enfriados los filtros, se realizó una prueba de control de calidad, para lo cual se sumergió a los filtros en agua y se midió su ratio de filtración el cual fue de 1.5-2.5 L/h, que se encuentra dentro de la velocidad de flujo esperada (1-2 L/h) (Van Halem, 2006).

Después se procedió a eliminar partículas que pudieran encontrarse de remanente en la superficie de los filtros, para luego ser impregnados cada uno con 150 mg de plata en su superficie, este procedimiento es importante ya que la plata tiene un efecto bactericida capaz de destruir membranas microbianas de bacterias, protozoarios y helmintos.

5.3 Ensayo de efectividad de los filtros de cerámica negra

5.3.1 Ensayos microbiológicos

Los ensayos microbiológicos se realizaron por triplicado cada 200 litros de uso (0-1200L) para MS2 y *Escherichia coli*. en la Figura 43., se muestran las unidades filtrantes analizadas, la concentración del agua dopada utilizada en cada ensayo de filtración, la concentración del agua filtrada y los valores de logaritmo de reducción (LRV) de cada ensayo, tanto para *Escherichia coli* como para el bacteriófago MS2. La concentración de agua dopada (input) para *E. coli* tuvo una concentración promedio de $1.64E+06$ ufc/ml y una desviación estándar de 0.49, mientras que para MS2 fue de $8.19E+09$ ufp/ml y 0.49 respectivamente (ver Anexo 8.2).

En la Figura 41 de cajas y bigotes se puede observar el LRV para *E. coli* y MS2 después de 600 litros de agua filtrada. El LRV promedio para *E. coli* fue de 5.36 Log con una desviación estándar de 0.46. De acuerdo con los parámetros establecidos por la OMS los filtros de cerámica negra son altamente protectores para la remoción de bacterias (≥ 4), ya que presentaron un LRV de hasta 5.36 Log. Este LRV puede ser comparado con el realizado por Van Halem (2006) el cual analizó filtros de tres lugares diferentes: Camboya, Ghana (con plata coloidal) y Nicaragua (sin plata coloidal), en el cual reportó un LRV para bacterias de 6.55 Log. Lastimosamente la replicabilidad de estos filtros resulta difícil por falta de información de fabricación de los filtros (Van Halem, 2006). Exceptuando el estudio realizado por Van Halem (2006) ningún otro estudio ha mostrado un LRV para bacterias tan alto (5.36 Log) como la que en este estudio se presenta. Respecto al bacteriófago MS2 los filtros de cerámica negra mostraron un LRV de 3.83 Log con una desviación estándar de 1.49. De acuerdo con los parámetros establecidos por la OMS, los filtros de cerámica negra resultan

protectores (≥ 3) ya que presentaron un LRV de hasta 3.83 Log. Este LRV puede ser comparado con el realizado por Brown and Sobsey (2010), en el cual se estudió dos filtros de cerámica con y sin AgNO_3 elaborados en Cambodia, el cual reportó un LRV de 1.4 Log que de acuerdo a la OMS no resulta un método protector ni altamente protector, por lo que no puede ser considerado un método de tratamiento domiciliario efectivo para la remoción de virus (Brown & Sobsey, 2010). Ningún otro estudio ha mostrado un LRV para virus mayor que la que en esta investigación se presenta.

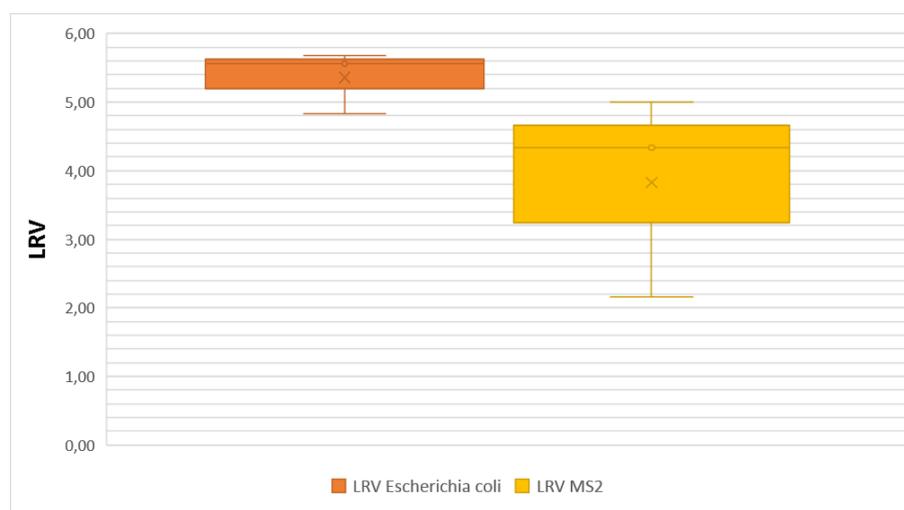


Figura 41. Valor de Logaritmo de Reducción (LRV) después de 600 litros para *Escherichia coli* y el bacteriófago MS2.

5.3.2 Ensayos a largo plazo

En la Figura 42., se puede observar la tendencia del LRV a lo largo de 1200 litros filtrados. Para *E. coli* se observa que el LRV se mantuvo estable a lo largo de los litros filtrados con un LRV promedio de 5.27 LRV (altamente protector ≥ 4) y una desviación estándar de 0.42.

Para MS2 se puede observar una LRV promedio de 2.45 que de acuerdo con los parámetros establecidos por la OMS es un tratamiento de agua domiciliario intermedio, no puede ser considerado protector ni altamente protector en la remoción de virus, y con una desviación estándar de 1.59 después de filtrar 1200 litros de agua. Por otro lado, si analizamos hasta los 600 litros de agua filtrada podemos observar que los filtros alcanzan un LRV de hasta 5 Log (altamente

protector ≥ 5), pero a partir de esa cantidad su eficiencia decayó hasta 1 Log. Este decaimiento en la eficiencia del filtro puede atribuirse a la formación de una biopelícula por fuera del filtro, debido a la elevada concentración de *Escherichia coli* utilizada en los ensayos ($E+05$ UFC/ml), una concentración mucho mayor de la que se podría encontrar en aguas altamente contaminadas, pero que en este estudio se utilizó para determinar la eficacia del filtro en la remoción de bacterias. Esta elevada concentración de *Escherichia coli* puede ser la causante de la formación de la biopelícula, que ocasionó el taponamiento de los poros del filtro de cerámica negra lo que dificultó la retención de virus en su estructura porosa.

Un estudio realizado por Brown and Sobsey (2010) en el que se utilizaron dos filtros impregnados con y sin $AgNO_3$, y agua potable de Camboya dopada con *Escherichia coli* y MS2, mostró una reducción de 2 Log para *Escherichia coli* y una reducción de 1-2 Log para MS2 después de filtrar 600 litros (Joe Brown & Sobsey, 2010). La aplicación de $AgNO_3$ no mostró una reducción significativa para los dos microorganismos a lo largo de varios litros filtrados, en comparación con nuestra investigación el LRV para *Escherichia coli* (5.36 Log) y MS2 (3.83 Log) es mucho mayor después de 600 litros filtrados, esto se puede deber a que los filtros de cerámica negra fueron cocidos en una atmósfera reductora.

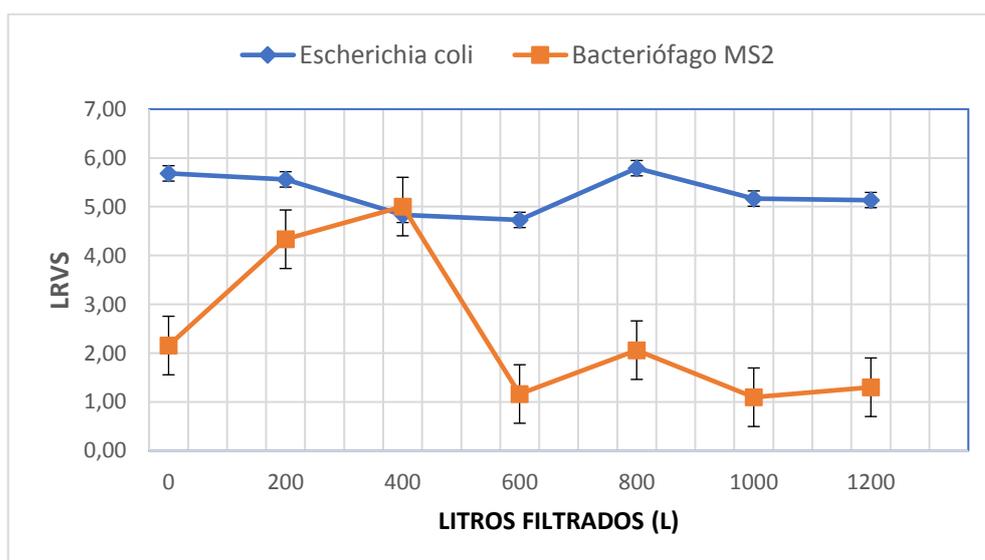


Figura 42. LRVS Vs litros filtrados para *E. coli* y MS2 a lo largo de 1200 litros filtrados.

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones

El filtro de cerámica negra elaborado por la fábrica Horeb en Ecuador a partir de aserrín, arcilla y agua, cocido en una atmósfera reductora e impregnado con nitrato de plata coloidal es una tecnología eficaz en la remoción de virus y bacterias en agua.

De acuerdo con los ensayos de laboratorio para evaluar su eficacia microbiológica a lo largo de 1200 litros de agua filtrada, se ha encontrado que estos filtros son capaces de remover bacterias hasta 5.27 Log, ubicándolos de acuerdo con la OMS como un tratamiento de agua domiciliar altamente protector.

Para la remoción de virus en agua mostró a lo largo de 600 litros de agua filtrada un valor de logaritmo de reducción de 3.83 Log, ubicándolos de acuerdo con la OMS como un tratamiento de agua domiciliar protector.

Sin embargo, este valor de reducción para virus no se mantuvo constante después de los 600 litros de agua filtrada, decayendo hasta 1.41 Log que de acuerdo con la OMS no puede ser considerado como un tratamiento protector, ni altamente protector para el tratamiento de agua a nivel domiciliar. Esto se pudo deber a la presencia de una biopelícula que creció por fuera del filtro, que pudo alterar la matriz porosa del filtro disminuyendo su eficacia microbiológica en la remoción de virus. La presencia de esta biopelícula se puede atribuir a la concentración elevada de *Escherichia coli* que se utilizó para los ensayos microbiológicos, una concentración muy por encima de la que se podría encontrar normalmente en agua.

6.2 Recomendaciones

El filtro de agua de cerámica negra es una solución protectora para el tratamiento de agua a nivel doméstico según las especificaciones de la OMS, de acuerdo con lo observado durante la ejecución de la presente investigación se recomiendan los siguientes aspectos:

Para evitar el crecimiento de biopelícula por fuera del filtro se plantea estudiar el incremento de nitrato de plata para este modelo, añadiendo mayor cantidad en

la superficie del filtro o incluyendo el nitrato de plata en la mezcla de elaboración de los filtros.

Otra opción para analizar el comportamiento del nitrato de plata y la presencia de biopelícula por fuera del filtro, sería realizar estudios de la eficacia microbiológica en hogares, para de esta manera obtener valores reales de concentración de virus y bacterias que se encuentran generalmente en el agua que la población utiliza, y analizar si se presenta o no la biopelícula y después de qué cantidad de litros filtrados. De igual manera, se podría tener un LRV más exacto y cercano a la realidad de la población que utilizaría estos filtros como tratamiento de agua domiciliar.

REFERENCIAS

- Ableau, S. M., (2017). Estadísticas Ecuador 2017. Ministerio de Salud Pública. Recuperado el 23 de Abril del 2017 de <https://public.tableau.com/profile/archimedes.project#!/vizhome/WorldDataTable/Dashboard5>
- Agrawal, V. K., & Bhalwar, R. (2009). *Household water purification: Low-cost interventions. Medical Journal Armed Forces India*, 65(3), 260–263. Recuperado el 21 de Abril del 2017 de [https://doi.org/10.1016/S0377-1237\(09\)80019-1](https://doi.org/10.1016/S0377-1237(09)80019-1)
- Black, R. E., Cousens, S., Johnson, H. L., Lawn, J. E., Rudan, I., Bassani, D. G., ... Mathers, C. (2010). *Global, regional, and national causes of child mortality in 2008: a systematic analysis. The Lancet*, 375(9730), 1969–1987. Recuperado el 11 de Junio del 2017 de [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(10\)60549-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(10)60549-1)
- Bofill-mas, S., Rusiñol, M., Fernandez-cassi, X., Carratalà, A., Hundesa, A., & Girones, R. (2013). *Quantification of Human and Animal Viruses to Environmental Samples. BioMed Research International*, 2013. Recuperado el 10 de Julio del 2017 de <https://doi.org/10.1155/2014/675857>
- Boyle, M., Sichel, C., Fernández-Ibáñez, P., Arias-Quiroz, G. B., Iriarte-Puña, M., Mercado, A., ... McGuigan, K. G. (2008). *Bactericidal effect of solar water disinfection under real sunlight conditions. Applied and Environmental Microbiology*, 74(10), 2997–3001. Recuperado el 12 de Julio del 2017 de <https://doi.org/10.1128/AEM.02415-07>
- Brown, J. M., & Sobsey, M. D. (2007). *Effectiveness of ceramic filtration for drinking water treatment in Cambodia*, 3289142, 275. Recuperado el 12 de Agosto del 2017 de <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Brown, J., & Sobsey, M. D. (2009). *Ceramic media amended with metal oxide for the capture of viruses in drinking water. Environmental Technology*, 30(4), 379–391. Recuperado el 14 de Noviembre del 2017 de <https://doi.org/10.1080/09593330902753461>

- Brown, J., & Sobsey, M. D. (2010). *Microbiological effectiveness of locally produced ceramic filters for drinking water treatment in Cambodia*. *Journal of Water and Health*, 8(1), 1–10. Recuperado el 15 de Febrero del 2017 de <https://doi.org/10.2166/wh.2009.007>
- Brown, J., Sobsey, M. D., & Loomis, D. (2008). *Local drinking water filters reduce diarrheal disease in Cambodia: A randomized, controlled trial of the ceramic water purifier*. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 79(3), 394–400. Recuperado el 11 de Febrero del 2017 de <https://doi.org/79/3/394> [pii]
- Cartagena, J. (2001). Prueba de la aceptación del filtro de cerámica impregnado con plata coloidal en el barrio El Ocotal de Guinope , Honduras .
- 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), 4255–60. Recuperado el 14 de Agosto del 2017 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18605541>
- Curtis, V., Cairncross, S., Yonli, R., Sivanappan, R. K., Daoud, A. K., Swaileh, K. M., ... Dunstan, R. H. (2012). *Results of Round I of th WHO International Scheme to evaluate Household Water Treatment Technologies*. *Tropical Medicine and International Health*, 106(1), 155–162. Recuperado el 08 de Abril del 2017 de <https://doi.org/10.3329/jhpn.v28i1.4521>
- Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas. (2015). Decenio Internacional para la Acción “El agua, fuente de vida” 2005-2015. Áreas temáticas: Derecho humano al agua y al saneamiento. Recuperado el 27 de Noviembre del 2017 de http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- Guerrero-Latorre, L. (2016). *Estudis sobre la contaminació i desinfecció de virus entèrics en contexts d’ajuda humanitària*.
- Guerrero-Latorre, L., Rusiñol, M., Hundesa, a., Garcia-Valles, M., Martinez, S., Joseph, O., ... Girones, R. (2015). *Development of improved low-cost ceramic water filters for viral removal in the Haitian context*. *Journal of Water*,

- Sanitation and Hygiene for Development*, 5(1), 28. Recuperado el 23 de Abril del 2017 de <https://doi.org/10.2166/washdev.2014.121>
- Halem, D. Van. (2006). *Ceramic silver impregnated pot filters for household drinking water treatment in developing countries*.
- Halem, D. Van, Laan, H. Van Der, Heijman, S. G. J., Dijk, J. C. Van, & Amy, G. L. (2009). *Assessing the sustainability of the silver-impregnated ceramic pot filter for low-cost household drinking water treatment*. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34(1–2), 36–42. Recuperado el 14 de Mayo del 2017 de <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.01.005>
- Holt, K. B., & Bard, A. J. (2005). *Interaction of Silver(I) Ions with the Respiratory Chain of Escherichia coli: An Electrochemical and Scanning Electrochemical Microscopy Study of the Antimicrobial Mechanism of Micromolar Ag⁺*. *Biochemistry*, 44(39), 13214–13223. Recuperado el 15 de Agosto del 2017 de <https://doi.org/10.1021/bi0508542>
- Hunter, P. R. (2009). *Household Water Treatment in Developing Countries: Comparing Different Intervention Types Using Meta-Regression*. *Environmental Science*, 43(23), 8991–8997. Recuperado el 19 de Septiembre del 2017 de <https://doi.org/10.1021/es9028217>
- International Organization for Standardization*. (1996). *Water Quality-Detection and Enumeration of Bacteriophages*. ISO 10705-1
- Klarman, M. (2009). *Investigation of Ceramic Pot Filter Design Variables*.
- Lantagne, D. S. (2001). *Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver Impregnated Ceramic Filter Report 2: Field Investigations*. *Methods*, 1–121.
- Levine, M. M., Kotloff, K. L., Nataro, J. P., & Muhsen, K. (2012). *The Global Enteric Multicenter Study (GEMS): Impetus, rationale, and genesis*. *Clinical Infectious Diseases*, 55(SUPPL. 4), 215–224. Recuperado el 19 de Septiembre del 2017 de <https://doi.org/10.1093/cid/cis761>
- Maier, R. M., Pepper, I. L., & Gerba, C. P. (2009). *Environmental microbiology*. Academic Press.

- Ministerio del Ambiente. (2016). Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua. Recuperado el 02 de Mayo del 2017 de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2013a). Agua para la salud: un derecho humano. Recuperado el 05 de Junio del 2017 de <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/pr91/es/>
- Organización Mundial de la Salud. (2013b). Manejo del agua en la vivienda: beneficios acelerados para la salud derivados del abastecimiento de agua mejorado. Recuperado el 16 de Junio del 2017 de http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/wsh0207/es/index1.html
- Organización Mundial de la Salud. (2013c). Reconocimiento del acceso al agua segura y limpia y a servicios de saneamiento como un derecho humano. Recuperado el 19 de Agosto del 2017 de http://www.who.int/water_sanitation_health/recognition_safe_clean_water/es/
- Organización Mundial de la Salud. (2017a). Enfermedades diarreicas. Recuperado el 19 de Mayo del 2017 de <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs330/es/>
- Organización Mundial de la Salud. (2017b). Informe 2015 del PCM sobre el acceso a agua potable y saneamiento: datos esenciales. Recuperado el 19 de Mayo del 2017 de http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/
- Potters for Peace. (2011). *Best Practice Recommendations for Local Manufacturing of Ceramic Pot Filters for Household Water Treatment. The Ceramics Manufacturing Group*, 1(1), 187.
- Roberts, M. (2003). *Field test of a silver-impregnated ceramic water filter. Vientiane, Lao PDR: 30th WEDC International Conference.*, 1–6.
- Salsali, H., McBean, E., & Brunsting, J. (2011). *Virus removal efficiency of Cambodian ceramic pot water purifiers. Journal of Water and Health*, 9(2),

306–11. Recuperado el 13 de Febrero del 2017 de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21942195>

Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2014). Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador.

Smith, J. A. (2008). *Sustainable Colloidal-Silver-Impregnated Ceramic Filter for Point-of-Use Water Treatment*, 42(3), 927–933.

Sobsey, M. (2002). *Managing Water in the Home : Accelerated Health Gains from Improved Water Supply. Water, Sanitation and Health*.

UNICEF, & WHO. (2017). *Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene*. Recuperado el 17 de Octubre del 2017 de <https://doi.org/10.1111/tmi.12329>

Wegmann, M., Michen, B., Luxbacher, T., Fritsch, J., & Graule, T. (2008). *Modification of ceramic microfilters with colloidal zirconia to promote the adsorption of viruses from water. Water Research*, 42(6–7), 1726–1734. Recuperado el 11 de Noviembre del 2017 de <https://doi.org/10.1016/j.watres.2007.10.030>

ANEXOS

Colocar en condiciones asépticas la solución de glucosa en el medio basal estéril y homogenizar la solución, si no se va a emplear inmediatamente, almacenar en oscuridad a (5 ± 3) °C por un tiempo máximo de 6 meses.

8.1.4 Preparación del medio de crecimiento Triptona – Extracto de levadura – Glucosa Agar (TYGA)

Medio Basal (mix)	19 g
Agar	15 g
Agua destilada	1000 ml

Se emplea agua caliente, en la cual se disuelve el medio basal y el agar para luego ser autoclavados a (121 ± 1) por 15 minutos. Deben ser almacenados a (5 ± 3) °C en la oscuridad por un tiempo máximo de 6 meses.

Nota: (Autoclavar los medios sin adicionar glucosa)

8.1.5 Medio completo (TYGA-Glu)

Medio Basal disuelto	200 ml
Solución de calcium-glucose	2 ml

Colocar la solución de calcium - glucose en condiciones de llama en el medio basal estéril cuando este se encuentre a una temperatura de 45 a 50 °C, mezclar bien y plaquear en cajas de Petri. Si no se va a emplear inmediatamente, almacenar en oscuridad a (5 ± 3) °C por un tiempo máximo de 6 meses.

8.1.6 Preparación del medio de crecimiento Triptona – Extracto de levadura – Glucosa Semi-Sólido (ssTYGA)

Medio Basal (mix)	19 g
Agar	8 g
Agua destilada	1000 ml
Solución de calcium-glucose	10 ml
Ácido nalidíxico	4 ml

Este medio consiste en la preparación de un medio basal normal (TYGA) como se ha mencionado anteriormente, pero con la mitad de agar que se colocaría normalmente y suplementado con una fuente de carbono y un antibiótico para evitar la proliferación de bacterias que no sean *Salmonella typhimurium* WG49.

Nota: (Autoclavar los medios sin adicionar glucosa ni ácido nalidíxico. Al momento de dispensar el medio semisólido, asegurarse de que este se encuentre caliente para evitar una mala distribución de los componentes o que el agar se solidifique antes de tiempo y dañe el cocultivo de MS2 y *Salmonella typhimurium* WG49)

8.1.7 Solución de Ácido Nalidíxico

Ácido nalidíxico	250 mg
Solución NaOH (1mol/L)	2 ml
Agua destilada	8 ml

Disolver el ácido nalidíxico en la solución de NaOH y mezclar inmediatamente para evitar que el ácido se precipite, añadir el agua destilada y homogenizar vigorosamente (trabajar en condiciones de llama). Para poder alicuotar la solución de ácido nalidíxico asegurando su esterilidad, utilizar una jeringuilla estéril y una membrana de filtración de 0,22 µm. Almacenar en la oscuridad a una temperatura de -20°C por un tiempo máximo de 6 meses.

Nota: (Colocar en el ssTYGA a una concentración de 100 µg/ml, es decir 0.2 ml/ 50 ml, 0.2 ml de solución de ácido nalidíxico por cada 50 ml de medio de cultivo)

8.1.8 Chromocult Coliform Agar. Agar Cromogénico

Agua	10000 ml
Agar cromogénico	26 g

Disolver el agar cromogénico en el agua destilada, colocar un agitador mariposa y someter al calor. Subir la temperatura gradualmente desde 280°C hasta 350°C, hasta que el medio hierva aproximadamente 2 minutos.

Nota: (El medio no necesita ser autoclavado ni ser suplementado con glucosa o ácido nalidíxico. Para asegurarse de una correcta elaboración del medio, asegurarse de que el medio sea de un color amarillo intenso y no se observe partículas sin disolver en el medio).

8.2 ANEXO2. Valores de Reducción Logarítmica para MS2 y *E.coli*

Litros	Unidad filtración	E.coli				MS2					
		Input (ufc/ml)	Output (ufc/ml)	LRV	LRV promedio	DesVest	Input (ufp/ml)	Output (ufp/ml)	LRV	LRV promedio	DesVest
0	IV	4,55E+04	0,12	5,6	5,68	0,21	2,01E+04	1,70E+02	2,07	2,16	0,11
	V		0,06	5,92				1,56E+02	2,11		
	VI		0,14	5,53				1,04E+02	2,29		
200	IV	1,46E+05	1,07	5,13	5,56	0,43	6,70E+04	1,00E+00	4,83	4,33	0,85
	V		0,15	5,99				1,00E+00	4,83		
	VI		0,41	5,56				3,00E+01	3,35		
400	IV	2,27E+05	1,00	5,36	4,83	0,91	1,60E+05	2,00E+00	4,90	5,00	0,17
	V		38,00	3,78				2,00E+00	4,90		
	VI		1,00	5,36				1,00E+00	5,20		
600	IV	1,54E+05	4,90	4,5	4,73	0,37	6,50E+05	4,52E+04	1,16	1,16	0,00
	V		4,58	4,53				4,44E+04	1,17		
	VI		1,07	5,16				4,39E+04	1,17		
800	IV	1,58E+05	0,10	6,2	5,79	0,71	5,00E+02	2,00E+00	2,40	2,06	0,58
	V		1,70	4,97				2,05E+01	1,39		
	VI		0,10	6,2				2,00E+00	2,40		
1000	IV	2,13E+05	1,40	5,18	5,17	0,13	5,00E+02	1,06E+02	0,67	1,10	0,57
	V		1,08	5,29				6,70E+01	0,87		
	VI		2,00	5,03				9,00E+00	1,74		
1200	IV	1,08E+05	4,00	4,43	5,14	0,77	8,00E+03	6,70E+02	1,08	1,30	0,27
	V		0,12	5,95				2,00E+02	1,60		
	VI		1,00	5,03				4,75E+02	1,23		
	Promedio	1,50E+05		Promedio	5,27	Promedio	1,29E+05		Promedio	2,45	
	DesVest	0,49		DesVest	0,42	DesVest	0,49		DesVest	1,59	

Figura 43. Valores de Reducción Logarítmica (LRV) para MS2 y *Escherichia coli*.

8.3 ANEXO 3. Ficha técnica de medios de cultivo empleados.

8.3.1 Agar Cromogénico



CCA Agar Cromogénico ISO 9308-1:2014

Aplicación

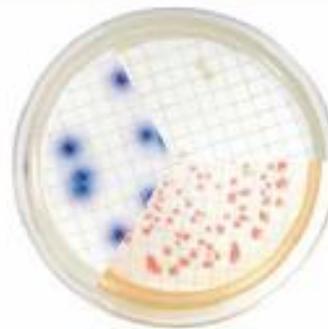
A finales de 2014 entró en vigor una importante revisión de la norma ISO 9308-1. En esta se establece que el Agar TTC (Chapman o Tergitol-7 Agar) se reemplaza por el CCA Agar Cromogénico como medio de cultivo para el recuento de bacterias coliformes y *Escherichia coli* después de la etapa de filtración por membrana.

El CCA se basa en reacciones enzimáticas que dan color a las colonias de los organismos objetivo para una detección simultánea de los coliformes y *E. coli*.

Este medio es apropiado para muestras con baja carga microbiana como el agua potable, aguas de piscinas desinfectadas y el agua de las plantas potabilizadoras al final de su tratamiento.

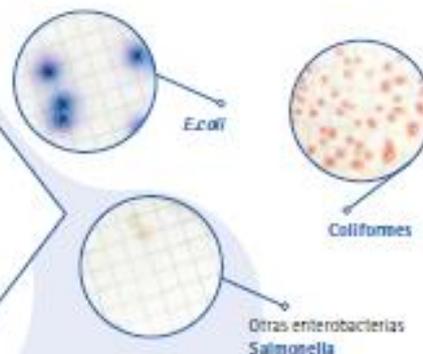
Interpretación

E. coli → Colonias de azul a violeta
Coliformes → Rosa salmón a rojo
Otras bacterias (principalmente Gram-negativas) → Sin color (excepto aquellas que tengan una débil actividad glucuronidasa pero no galactosidasa que producen colonias azul claro o turquesa).



Principales ventajas

- Muy buena recuperación.
- Ideal para la detección y recolección de *E. coli* y coliformes en aguas con baja contaminación.
- Buen contraste de colores que facilita la interpretación.
- Disponible en medio deshidratado y en placas de 55 mm.



Técnica

1. La muestra de agua se filtra a través de una membrana de 0,45 µm de diámetro de poro, validada de acuerdo a la norma ISO 7704:1985 (*).
2. La membrana se deposita boca arriba sobre una placa conteniendo CCA agar procurando que no se formen burbujas ni arrugas.
3. Se incuba la placa con la membrana durante 18-24 horas a $36 \pm 2^\circ\text{C}$. Si a las 18 h aparecen colonias rojas o incoloras, prolongar la incubación hasta 24 h para incluir posibles reacciones tardías de β-galactosidasa o de β-glucuronidasa.

(*) Si el Agar Cromogénico para Coliformes se utiliza para la incubación de membranas filtrantes deberá tenerse en cuenta que el color y tamaño de las colonias puede modificarse por la composición y tipo de la membrana por lo cual se recomienda una validación previa del tipo de membrana filtrante utilizada.

Composición (g/l)

Oxígeno trinitrato de Casina	1,00
Extracto de levadura	3,00
Cloruro de Sodio	5,00
Fosfato Monosódico	3,20
Fosfato Dídico	2,70
Triptófano	1,00
Pinavato Sódico	1,00
Tergitol®7	0,15
Sorbitol	1,00
6-Cloro-3-indolil β-D-galactopiranosido	0,20
5-Bromo-4-cloro-3-indolil β-D-glucuronido	0,10
IPFD	0,10
Agar	12,00
pH: 6,8 ± 0,2	

Resultados

Contar las colonias β-galactosidasa positivas y β-glucuronidasa negativas (de color rosa asalmonado a rojo) como bacterias Coliformes distintas a *E. coli*.

Contar las colonias β-galactosidasa positivas y β-glucuronidasa positivas (de color azul oscuro a violeta) como *E. coli*.

El recuento de bacterias Coliformes totales corresponde a la suma de las colonias de color rosa asalmonado a rojo y las colonias azul oscuro a violeta.

La concentración de bacterias Coliformes y de *E. coli* en 100 ml de muestra se calcula a partir del volumen de agua filtrado y del número de colonias características contadas sobre la membrana. Los resultados se expresan como unidades formadoras de colonias por 100 ml (UFC/ 100 ml).

Confirmación

El medio contiene una pequeña cantidad de triptófano con el fin de verificar la identidad de *E. coli* por la producción de indol:

Se cubre la colonia azul oscuro-violeta con una gota del Reactivo de Kovacs. Si el reactivo vira a un color rojo cereza en pocos segundos se considera la producción de indol positiva y con ello la presencia de *E. coli* queda confirmada.

Código	Descripción	Envase
417153.1210	CCA Coliformes, Agar Cromogénico (ISO 9308-1) (Medio Deshidratado) para microbiología	500 g
447153.0922	CCA Coliformes, Agar Cromogénico (ISO 9308-1) (Placa Preparada (Ø 55 mm)) para microbiología	30 placas
También disponible CCA Agar acorde a Orden SCO/778/2009, de 17 de marzo (no ISO) Ideal para análisis de agua residual y muestras muy contaminadas.		
448210.0922	CCA Coliformes, Agar Cromogénico (Placa preparada (Ø 55 mm)) para microbiología	20 placas
Reactivo Auxiliar		
252908.1608	Reactivo de Kovacs	100 ml

IP-012

AppliChem GmbH
Chloeweg 4
DE-64291 Darmstadt
Germany
Phone +49 6151 9337 0
Fax +49 6151 9337 11
service@applichem.com
www.applichem.com

Nova Química Srl
Via G. Galilei, 47
I-20092 Cinisello Balsamo
(Milano) Italy
Phone +39 02 66043392
Fax +39 02 66040394
info@novachimica.com
www.novachimica.com

PanReac Química SLU
Carral, 2
Polígono Pla de la Bruquera
E-08011 Castell de Villosa
Barcelona (Spain)
Phone +34 937 439 400
Fax +34 937 439 401
central@panreac.com
www.panreac.com



8.3.2 Tryptone Glucose Yeast Extract Agar (TYGA)



Technical Data

Tryptone Glucose Extract Agar (Tryptone Glucose Yeast Extract Agar)

M014

Tryptone Glucose Yeast Extract Agar is recommended for enumeration of bacteria in water, air, milk and dairy products.

Composition**

Ingredients	Gms / Litre
Casein enzymic hydrolysate	5.000
Yeast extract	3.000
Glucose	1.000
Agar	15.000
Final pH (at 25°C)	7.0±0.2

**Formula adjusted, standardized to suit performance parameters

Directions

Suspend 24 grams in 1000 ml distilled water. Heat to boiling to dissolve the medium completely. Sterilize by autoclaving at 15 lbs pressure (121°C) for 15 minutes. Mix well and pour into sterile Petri plates.

Principle And Interpretation

Tryptone Glucose Yeast Extract Agar was originally developed by Bowers and Hacker (1) which they called as Tryptone Glucose Skim Milk Agar. Later on it was modified to the present composition for the cultivation and enumeration of bacteria in air, water (2), milk and dairy products (3). Various authors have studied different aspects of this medium like study of thermophilic bacteria in milk (4), influence of incubation temperature (5) etc. It is used as a standard medium for the bacteriological plate count of milk and dairy products (6).

Casein enzymic hydrolysate, yeast extract provide nitrogenous compounds, vitamin B complex and other essential growth nutrients. Glucose is the energy source. For the enumeration purposes, pour plate method is suggested. Medium must be quickly poured into Petri dishes if milk sample is to be tested, because the milk may get flocculated if the medium remains hot for longer period of time.

Quality Control

Appearance

Cream to yellow homogeneous free flowing powder

Gelling

Firm, comparable with 1.5% Agar gel

Colour and Clarity of prepared medium

Light yellow coloured Clear to slightly opalescent gel forms in Petri plates.

Reaction

Reaction of 2.4% w/v aqueous solution at 25°C. pH : 7.0±0.2

pH

6.80-7.20

Cultural Response

M014: Cultural characteristics observed after an incubation at 35-37°C for 18- 48 hours.

Organism	Inoculum (CFU)	Growth	Recovery
Cultural Response			
<i>Bacillus subtilis</i> ATCC 6633	50-100	good luxuriant	≈70%
<i>Enterobacter aerogenes</i> ATCC 13048	50-100	good luxuriant	≈70%
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	50-100	good luxuriant	≈70%

<i>Enterococcus faecalis</i> ATCC 50-100 29212	good-luxuriant	≈70%
<i>Lactobacillus casei</i> ATCC 50-100 9395	good-luxuriant	≈70%
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 27853	good-luxuriant	≈70%
<i>Staphylococcus aureus</i> ATCC 25923	good-luxuriant	≈70%

Storage and Shelf Life

Store below 30°C in tightly closed container and the prepared medium at 2 - 8°C. Use before expiry date on the label.

Reference

1. Bowers and Hacker, 1935, Tech. Bull., 228, N.Y. State Agr. Expt. Station.
2. Eaton A. D., Cloosari L. S. and Grossberg A. W., (Eds.), 2005, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st Ed., APHA, Washington, D.C.
3. Wehr H. M. and Frank J. H., 2004, Standard Methods for the Microbiological Examination of Dairy Products, 17th Ed., APHA Inc., Washington, D.C.
4. Pickett, 1928, Tech. Bull. 147, N.Y. State Agr. Expt. Station.
5. Dennis and Weiser, 1937, J.Dairy Science, 20 : 445.
6. Abele C. A., Am. J. Pub. Health, 1939, 29: 621.

Revision : 02 / 2013

Disclaimer :

User must ensure suitability of the product(s) in their application prior to use. Products conform solely to the information contained in this and other related HiMedia™ publications. The information contained in this publication is based on our research and development work and is to the best of our knowledge true and accurate. HiMedia™ Laboratories Pvt Ltd reserves the right to make changes to specifications and information related to the products at any time. Products are not intended for human or animal or therapeutic use but for laboratory diagnostic, research or further manufacturing use only, unless otherwise specified. Statements contained herein should not be considered as a warranty of any kind, expressed or implied, and no liability is accepted for infringement of any patents.

