



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICACIA VERSUS EFECTIVIDAD  
MICROBIOLÓGICA DE LOS FILTROS DE AGUA DE CERÁMICA NEGRA

AUTOR

Carlos Santiago Moyota Tello

AÑO

2018



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

ESTUDIO COMPARATIVO DE EFICACIA VERSUS EFECTIVIDAD  
MICROBIOLOGICA DE LOS FILTROS DE AGUA DE CERAMICA NEGRA

Trabajo experimental de titulación presentado en conformidad con los  
requisitos establecidos para optar por el título de Ingeniero en Biotecnología.

Profesor Guía  
PhD. Laura Guerrero Latorre

Autor  
Carlos Santiago Moyota Tello

Año  
2018

## **DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA**

"Declaro haber dirigido el trabajo, Estudio comparativo de eficacia versus efectividad microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra, a través de reuniones periódicas con el estudiante Carlos Santiago Moyota Tello, en el semestre 2018-2, 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, Estudio comparativo de eficacia versus efectividad microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra, del estudiante Carlos Santiago Moyota Tello, en el semestre 2018-2, dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación".

---

Mayra Fernanda Chico Terán

Master en Biotecnología

CI: 1003327044

## **DECLARACIÓN DE AUTORIA DEL ESTUDIANTE**

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

---

Carlos Santiago Moyota Tello

CI: 0604430173

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Dra. Laura Guerreo Latorre, por darme la oportunidad de trabajar a su lado, así como por el apoyo que me ha brindado.

Al laboratorio de Investigación de la Universidad de las Américas, por el apoyo logístico otorgado para la realización de este proyecto.

A la fábrica “Horeb Agua de Vida”, por haberme permitido trabajar en conjunto en la elaboración de los filtros de agua de cerámica negra.

A mis tíos Marco y Rubén, por haberme acogido y apoyado en las primeras instancias de mi vida en Quito.

## **DEDICATORIA**

A mis padres: Rosita y Carlos. A mis abuelitos: Bertilde, Elvita, Wilfrido y Segundo. A mi hermano: Francisco. Su ejemplo y compromiso con lo que es correcto, el amor inmarcesible que he recibido desde siempre y su fortaleza, son sencillamente únicos y se ven reflejados en mi vida. Esto es para ellos con profundo cariño

## Resumen.

El filtro de agua de cerámica negra es un nuevo prototipo de tratamiento y almacenamiento seguro a nivel domiciliario, desarrollado con el objetivo de mejorar la eficacia microbiológica del filtro de cerámica clásica, en la eliminación de virus entéricos. Tras la realización de los primeros ensayos microbiológicos, el prototipo ha sido considerado como un tratamiento de agua domiciliario protector, sin embargo, nunca se ha estudiado su distribución en un contexto real. La comunidad de Santa Marianita muestra niveles moderados de contaminación fecal y la presencia de virus entéricos en sus fuentes de agua. Se comparó la eficacia microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra versus su efectividad en la comunidad de Santa Marianita, para la cual se montó un sistema de filtración continuo donde fueron colocados tres filtros y evaluados de manera mensual. Se efectuó un estudio de intervención aleatorizado en la comunidad, retirando de forma bimensual tres filtros seleccionados al azar, para analizarlos. Como microorganismos modelo fueron empleados *E.coli* ATCC 25922 y el Bacteriófago MS2. Realizados los ensayos microbiológicos, los valores de reducción logarítmica obtenidos para *E.coli* fueron de 4.77 log de eficacia microbiológica y 4.84 log de efectividad microbiológica, ubicando a esta tecnología como un tratamiento domiciliario altamente protector. Para el bacteriófago MS2, los valores de reducción logarítmica obtenidos fueron de 1.9 log de eficacia y 2.02 log de efectividad, que no permiten ubicar a esta tecnología como un tratamiento domiciliario protector. Sin embargo, estos valores obtenidos superan al promedio descrito para esta tecnología, ubicado en 1 log. De los filtros retirados de la comunidad, dos proveen agua con un nivel de riesgo bajo en la presencia de *E.coli*, siete proveen agua con un nivel de riesgo intermedio y uno con un nivel alto de riesgo. Los valores de p provenientes de los valores de reducción logarítmica no muestran diferencias estadísticamente significativas con un 95% de confianza, en los resultados obtenidos. El prototipo de filtro presentado es el primero en demostrar valores de reducción viral sostenidos en el tiempo mayores a los promedios de reducción reportados en estudios previos, destinados a valorar la eficiencia microbiológica.



**Palabras Clave:** Filtros de Cerámica, Eficacia, Efectividad, Microbiológica, Valor de reducción logarítmica.

## **Abstract.**

The black ceramic water filter is a new prototype of safe storage and household water treatment, developed with the aim of improving the microbiological efficiency of the classic ceramic filter, in the elimination of enteric viruses. After carrying out the first microbiological tests, the prototype has been considered as a protective home water treatment however, its distribution has never been studied in a real context. The community of Santa Marianita shows moderate levels of fecal contamination and the presence of enteric viruses in their water sources. The microbiological efficacy of the black ceramic water filters was compared with its effectiveness in the community of Santa Marianita by installing a continuous filtration system of three filters evaluated monthly. A randomized intervention study was carried out in the community, removing two randomly selected filters twice a month to analyze them. *E.coli* ATCC 25922 and Bacteriophage MS2 were used as model microorganisms. Once the microbiological tests were performed, the logarithmic reduction values obtained for *E.coli* were 4.77 log of microbiological efficiency and 4.84 log of microbiological effectiveness, placing this technology as a highly protective home treatment. For bacteriophage MS2, the logarithmic reduction values obtained were 1.9 log of effectiveness and 2.02 log of effectiveness, which do not allow to locate this technology as a protective home treatment. However, these values surpass the average values reported for this technology, set at 1 log. Two of the filters removed from the community, provided water with a low level of risk in the presence of *E.coli*, seven provide water with an intermediate level of risk and one with a high level of risk. The p values coming from the logarithmic reduction values of the effectiveness and effectiveness analysis do not show statistically significant differences with 95% confidence in the results obtained. The presented filter prototype is the first to demonstrate sustained viral reduction values over time greater than the averages of reduction reported in previous studies, aimed at assessing microbiological efficiency.

**Keywords:** Ceramic Filters, Efficiency, Effectiveness, Microbiological, Log reduction value.

## INDICE

1. CAPITULO I. INTRODUCCION.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema .....	3
1.3 Objetivo General.....	4
1.4 Objetivos Específicos .....	4
1.5 Justificación.....	5
2. CAPITULO II. MARCO TEORICO.....	6
2.1 Acceso al agua en el mundo.....	6
2.1.1 Cobertura de agua en el Ecuador .....	9
2.2 Contaminación de fuentes de agua.....	12
2.2.1 Enfermedades relacionadas con el agua .....	14
2.2.2 Diarrea.....	15
2.3 Tratamientos domiciliarios y almacenamiento seguro .....	18
2.3.1 Tratamientos basados en métodos físicos .....	20
2.3.2 Tratamientos basados en métodos químicos .....	22
2.3.3 Eficacia microbiológica de “TANDAS” .....	24
2.3.4 Disponibilidad global de los “TANDAS” .....	26
2.3.5 Eficacia y efectividad microbiológicas .....	27
2.4 Filtros de agua de cerámica negra .....	30
2.4.1 Historia .....	30
2.4.2 Proceso de fabricación .....	31
2.4.3 Mecanismos de efectividad .....	34

2.4.4 Producción en la fábrica “Horeb Agua de Vida” .....	37
<b>3. CAPÍTULO III. DISEÑO DEL PLAN EXPERIMENTAL ...</b>	<b>38</b>
<b>4. CAPÍTULO IV. PROCEDIMIENTOS .....</b>	<b>39</b>
4.1 Determinación de la población .....	39
4.2 Determinación de la muestra .....	39
4.3 Descripción de materiales y métodos .....	39
4.3.1 Microorganismos modelos.....	39
4.4 Producción de filtros de agua de cerámica negra.....	45
4.5 Evaluación de eficacia microbiológica .....	47
4.5.1 Montaje del sistema de filtración continuo.....	47
4.5.2 Ensayos de eficacia.....	48
4.6 Evaluación de efectividad microbiológica .....	49
4.6.1 Ensayo de intervención en la comunidad de Santa Marianita .....	49
4.6.2 Ensayos de efectividad microbiológica.....	49
4.6.3 Formulación de encuestas de seguimiento de uso .....	50
4.7 Evaluación estadística de los resultados.....	50
<b>5. CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSION .....</b>	<b>50</b>
5.1 Stocks de Trabajo.....	50
5.1.1 <i>Escherichia coli</i> ATCC 25922.....	50
5.1.2 Bacteriófago MS2.....	51
5.2 Producción de filtros de agua de cerámica negra.....	52
5.3 Eficacia microbiológica.....	53
5.4 Efectividad microbiológica .....	61
5.4.1 Uso continuado de los filtros en la comunidad .....	63

5.5 Comparación de Eficacia y Efectividad microbiológica .....	64
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
6.1 Conclusiones .....	67
6.2 Recomendaciones.....	67
REFERENCIAS .....	69
ANEXOS .....	80

## 1. CAPITULO I. INTRODUCCION

### 1.1 Antecedentes

En el año 2015, el 29 por ciento de la población del planeta no dispuso de una fuente segura de agua potable disponible y exenta de contaminación. Por otro lado, 844 millones de personas se encuentran imposibilitadas de acceder a una fuente de agua. En esta cifra se engloba a 263 millones de personas que asignan un lapso mayor a los treinta minutos por día en buscar agua y 159 millones que dependen de fuentes naturales para acceder al líquido vital (UNICEF & WHO, 2017). Es preciso mencionar que las fuentes naturales de agua no siempre son seguras por varios parámetros, por lo que no pueden ser catalogadas como fuentes de agua potable (UNICEF & WHO, 2017).

En el país el acceso que tiene la población a las fuentes seguras de agua potable, es condicionado en las zonas rurales de las 25 provincias (Senplades, 2014). En estas áreas la red pública de agua cubre a un 57.5 % de los habitantes, lo que difiere con la red urbana que cubre a un 94 % de los pobladores (INEC, 2017). Sobre los sistemas básicos de saneamiento, el 15.7 % de los moradores de los sectores rurales no pueden acceder a dicho sistema, lo que difiere con el 88.7 % de acceso en los sectores urbanos (INEC, 2017).

El agua no segura es vehículo de enfermedades, dentro de las cuales se pueden citar: a la diarrea, el cólera y la fiebre tifoidea. Los orígenes etiológicos de la diarrea generalmente se han ligado a la presencia de bacterias y protozoos. En la actualidad varios métodos de diagnóstico han facilitado la detección de los virus entéricos, como otros agentes causantes de este tipo de afecciones (Kotloff et al., 2013). La contaminación del agua en los sectores rurales, se origina muchas veces por causa de materia fecal presente, que generalmente proviene de letrinas de hogares o de actividades ganaderas (Farias, 2010). La diarrea se ha convertido en la segunda causa del fallecimiento de niños menores a 5 años

en países en vías de desarrollo, en 2017 se registraron 1.7 billones de casos en esta población (UNICEF & WHO, 2017).

A pesar de que existen distintos métodos destinados al tratamiento del agua, la intervención de estos no ha podido desarrollarse a plenitud, al no encontrarse disponibles o no poder ser aplicados en áreas rurales (Albert, Luoto, & Levine, 2010). De esta forma y, en un esfuerzo por combatir las enfermedades diarreicas en todo el globo, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha identificado a los tratamientos a nivel domiciliario de agua y almacenamiento seguro (TANDAS), como una alternativa para la provisión de agua segura para los hogares de los países en vías de desarrollo, al reducir el riesgo de contaminación ubicado entre la fuente de agua y el hogar (Murphy, McBean, & Farahbakhsh, 2010).

Uno de estos tratamientos son los filtros de agua de cerámica, dispositivos que potabilizan el agua al filtrarla por un material poroso. En la actualidad, el modelo de filtro que se produce se basa en un diseño desarrollado a principios de 1980 por el Instituto Centro Americano de Tecnología Industrial (ICAITI), a finales de la década de los noventa la organización no gubernamental de los Estados Unidos Potters for peace (PFP), adoptó la fabricación de los filtros (Potters for Peace, 2011). Las piezas de cerámica, tradicionalmente han sido empleadas para tratar el agua de uso doméstico (Lantagne et al., 2010).

El diseño del filtro de cerámica roja es similar al de una maceta que puede contener 8 litros de agua, suspendidos en el interior de un recipiente de plástico o de cerámica, en donde se almacenara el agua posterior a su filtración en la pieza de cerámica. La "unidad de filtración", cuenta a la par con un grifo y una tapa (Potters for Peace, 2011). Se conoce que la eficacia de eliminación de bacterias que posee el filtro, se ubica en rango de 2 a 4 logaritmos (Oyanedel-Craver & Smith, 2008). Sin embargo, la eficacia de eliminación viral es mucho

más baja encontrándose en un rango de 0.21 a 0.45 log, por lo que los niveles de eliminación viral no son efectivos para reducir el riesgo de la presencia de virus en el agua, mismos que se encuentran presentes en un rango comprendido entre 2 a 4 log (Salsali, McBean, & Brunsting, 2011). Recientemente, un nuevo prototipo de filtro de agua de cerámica se ha desarrollado, presentando resultados prometedores para la eliminación viral (Guerrero Latorre, 2016).

En abril de 2017, en un trabajo realizado de manera conjunta con la fábrica “Horeb Agua de Vida” localizada en la parroquia de Pifo que pertenece al Distrito metropolitano de Quito (DMQ), se comenzó con la producción industrial de los filtros de agua de cerámica negra. Estas piezas de cerámica manufacturadas, se han considerado como tratamientos de agua domiciliar protectores, según la OMS (Guerrero-Latorre et al., 2017).

## **1.2 Planteamiento del problema**

A nivel global, el 10 por ciento de los decesos de niños menores a cinco años se encuentran relacionadas con la diarrea, un total de 800000 muertes al año (Kotloff et al., 2013). De la cifra anterior, el 85 % son otorgables al agua no segura y 15 % al saneamiento no adecuado (Prüss-Ustün et al., 2014). En el Ecuador dentro de las causas de morbilidad, la diarrea se ubica en el sexto lugar con 322327 casos a nivel nacional (Lugmaña, 2015). Dándose un total de 3682 egresos de hospitales, que corresponden a infantes menores a cinco años (INEC, 2017).

Por otro lado, la mancomunidad del noroccidente del DMQ está conformada por cinco parroquias rurales, dos de las cuales son Nanegal y Gualea (GADPP, 2011). Una línea de base realizada por la Universidad de las Américas (UDLA) que se llevó a cabo en mayo de 2017, mostro un déficit en la cobertura de agua potable por parte del Empresa pública metropolitana de agua potable y de saneamiento de Quito (EPMAPS) hacia estas dos parroquias, mismas que han



optado por la autogestión para cubrir la necesidad de acceso al agua. Algunas de las enfermedades que se reportaron en estas parroquias, se menciona a la gastritis que afecta al 7.14 % de los habitantes y a la diarrea que afecta al 3.57%. A la par, el análisis microbiológico mostró niveles moderadamente-altos de contaminación microbiológica en el agua a ser consumida (Guerrero-Latorre et al., 2017). Por lo que la comunidad de Santa Marianita que pertenece a la parroquia de Nanegal, es la comunidad que necesita con mayor urgencia ser intervenida al poseer niveles moderados de contaminación fecal, que se sitúan en 36.82 ufc/100 ml de *E.coli* mostrando su vez, la presencia de virus entéricos en el agua a ser utilizada (Guerrero-Latorre et al., 2015). Con lo antes expuesto, se entiende que la diarrea se ha tornado en un problema en los sectores rurales, la falta de cobertura de los sistemas de agua potable expone a la población a consumir agua contaminada y a infecciones por agentes microbiológicos que causan diarrea.

Es importante mencionar que la eficacia puede ser entendida como el efecto proveniente de una acción que se lleva a cabo bajo las mejores condiciones experimentales, mientras que la efectividad puede ser entendida como el efecto proveniente de una acción que se lleva a cabo bajo las mejores condiciones habituales (Maldonado, 2009).

### **1.3 Objetivo General**

- Comparar la eficacia microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra versus su efectividad en la comunidad de Santa Marianita.

### **1.4 Objetivos Específicos**

- Evaluar la eficacia microbiológica de un 10 % del lote de los filtros de agua de cerámica negra, producidos para el estudio en la comunidad.
- Evaluar la efectividad microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra distribuidos en Santa Marianita durante 6 meses de seguimiento.

- Analizar los factores que afecten a la posible variación de eficacia y efectividad microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra.

### **1.5 Justificación**

En la actualidad las enfermedades que se transmiten por la contaminación del agua continúan sucediendo, este problema aún persiste (Guerrero-Latorre et al., 2015). La comunidad de Santa Marianita muestra niveles de contaminación microbiológica moderados y la presencia de virus entéricos desde la fuente del agua (Guerrero-Latorre et al., 2017). Esto provoca enfermedades gastrointestinales que, si no son tratadas a tiempo, pueden conducir a la muerte de la población más vulnerable (Kotloff et al., 2013).

Los filtros de agua de cerámica negra son una tecnología que se ha desarrollado para la mejora de la eficacia de una tecnología ya existente, para la remoción de virus entéricos (Guerrero-Latorre et al., 2015). Los primeros prototipos que se han producido en Ecuador, muestran la capacidad de remover bacterias hasta 5.27 logaritmos y una remoción de 3.83 logaritmos para virus, después de 600 litros de agua filtrada. Ubicando a esta tecnología como un tratamiento domiciliar protector, de acuerdo con la OMS (Guerrero-Latorre et al., 2017). Este nuevo prototipo mejorado puede ser fácilmente implementado en las fábricas ya existentes, debido a que la combustión en una atmósfera reductiva requiere de un horno específico que se puede construir con materiales locales, ladrillos tradicionales y hormigón.

Existen variables de manejo muy relevantes que requieren ser evaluadas en un estudio piloto previo a la comercialización de los nuevos prototipos, ya que su efectividad en un contexto concreto puede ser distinta de la eficacia medida en el laboratorio (Guerrero-Latorre et al., 2015). Mencionándose que la eficacia puede ser entendida como el efecto proveniente de una acción que se lleva a cabo bajo las mejores condiciones experimentales, mientras que la efectividad

puede ser entendida como el efecto proveniente de una acción que se lleva a cabo bajo las mejores condiciones habituales (Maldonado, 2009).

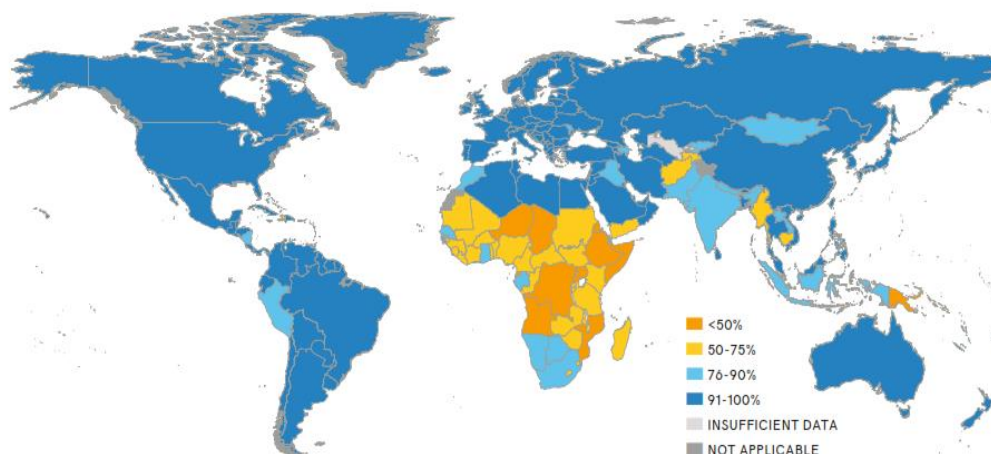
De esta manera, el estudio que aquí se muestra es importante al presentar una alternativa de solución a la contaminación del agua, que ha resultado muy eficaz en el tratamiento domiciliar de la misma. El principal aporte del proyecto tanto a nivel académico y científico, recae en la evaluación de la efectividad microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra en un escenario real, con miras a valorar su aplicación en contextos semejantes. Y de igual forma, poder contribuir con la mejora en la calidad del agua de manera especial entre quienes dependen de fuentes no mejoradas de esta.

## **2. CAPITULO II. MARCO TEORICO**

### **2.1 Acceso al agua en el mundo**

El acceso a un suministro de agua potable de manejo seguro se encuentra reconocido como un derecho fundamental, al ser este esencial para la vida de los seres humanos. En búsqueda de un desarrollo sustentable, el agua ha alcanzado un punto central al permitir el progreso socioeconómico, la obtención de alimentos, energía y el sostenimiento de ecosistemas saludables (Nations, 2015). Es de esta manera que el acceso al agua potable, se ha tornado en una de las políticas de salud pública más relevantes en este siglo (UNDESA, 2015). Sin embargo, se conoce que el 29 % de la población mundial no dispone de una fuente de agua potable de manejo seguro, definida como una fuente ubicada en instalaciones disponibles en el momento en que se requieran, encontrándose libre de contaminación. Se sabe a la par que el 11% de la población mundial en la actualidad carece de un servicio básico de agua potable, incluyéndose a 263 millones de personas que destinan un tiempo mayor a los 30 minutos al día en buscar agua y 159 millones que dependen de fuentes naturales para tener acceso a un suministro de agua. Dichas fuentes no siempre son seguras microbiológicamente, por lo que no se pueden sopesar como fuentes de agua

potable de manejo seguro. A lo mencionado, debe anotarse que un estimado de 2 billones de personas poseen acceso a una fuente de agua que se encuentra contaminada con heces y que para 2025, la mitad de la población del mundo tendrá su residencia en zonas de estrés hídrico (UNICEF & WHO, 2017). En la figura 1 que se muestra a continuación, se aprecia el acceso global al agua:



*Figura 1.* Acceso mundial a las fuentes de agua potable de manejo seguro. Tomado de (UNICEF & WHO, 2017).

En América latina y el Caribe, el 35% de la población carece de acceso a un servicio básico de agua potable, mostrándose una disparidad prominente en el acceso al agua entre sectores urbanos y rurales. En estos últimos, solo 2 de cada 10 personas poseen agua potable de manejo seguro, en cambio el 13 % de personas en las ciudades están exentas de un servicio de agua potable. Además el 51% del recurso hídrico disponible en América latina y el Caribe, no se encuentra libre de contaminación (BID, 2016). En la figura 2 que se muestra a continuación se aprecia el acceso panregional al agua:

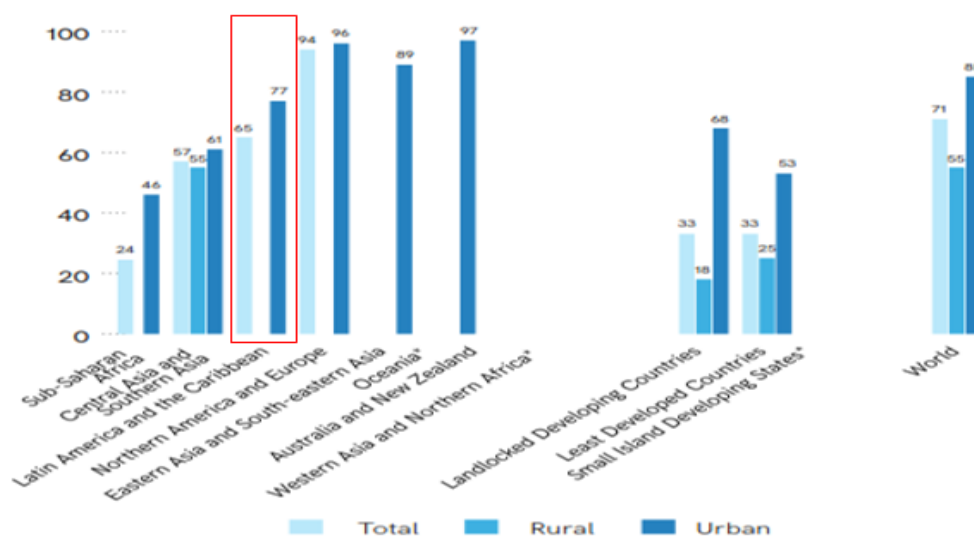


Figura 2. Acceso en América latina y el Caribe, a las fuentes de agua potable de manejo seguro.

Adaptado de (UNICEF & WHO, 2017).

En la figura anterior se puede observar la disparidad en la distribución del agua potable de manejo seguro, el total de la región es menor al acceso presente en los sectores urbanos, por lo que se asume que la diferencia proviene de la cobertura en los sectores rurales (UNICEF & WHO, 2017). Esta situación es especialmente agravante, al tener en consideración que el continente americano se caracteriza por ser una de las regiones más lluviosas del planeta y albergar cerca del 31 % de las fuentes de agua dulce en el mundo. Es así que tomando en cuenta los objetivos de desarrollo sustentable, el acceso universal al líquido vital en América latina y el Caribe, espera ser cubierto para 2030.

El potencial del agua para transportar patógenos microbianos hacia un gran número de personas, causando una posterior enfermedad, se encuentra bien documentado en países de todos los niveles de desarrollo económico (Odonkor & Ampofo, 2013). De esta manera, para verificar la calidad microbiana del agua potable de manejo seguro, se incluyen pruebas microbiológicas para detectar la presencia de *Escherichia coli*, virus entéricos y protozoos. Estos actúan como

indicadores de la posible contaminación fecal del agua (Gorchev & Ozolins, 2011). Se debe considerar que varios factores han llevado a la prevalencia en la detección de *E.coli*, como el indicador más fehaciente de contaminación fecal. Se puede mencionar el hallazgo de algunos coliformes fecales con un origen no fecal, a lo que se suma la disponibilidad de métodos de detección asequibles, rápidos, sensibles, específicos para *E.coli* (Odonkor & Ampofo, 2013). A continuación en la tabla 1 se muestra la concentración de *E.coli* presente en el agua y su consideración sobre el riesgo para los sistemas de agua domésticos:

Tabla 1.

*Clasificación de nivel de riesgo por presencia de E.coli*

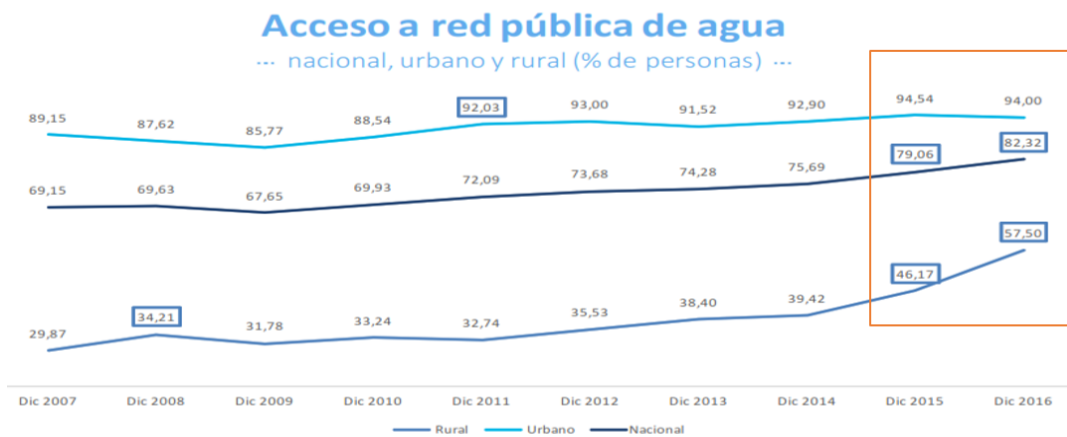
	<1	Bajo riesgo: ninguna acción necesaria.
Clasificación de <i>E.coli</i> (como concentración decimal / 100)	1-10	Riesgo intermedio: baja prioridad de acción prioridad de acción.
	11-100	Alto riesgo: mayor prioridad de acción prioridad de acción.
	> 100	Muy alto riesgo: urgente acción requerida.

Adaptado de (Gorchev & Ozolins, 2011).

### 2.1.1 Cobertura de agua en el Ecuador

En el Ecuador, el acceso de la población a las fuentes de agua potable de manejo seguro es limitado en los sectores rurales de las distintas provincias (Senplades, 2014). En dichas áreas, la cobertura de la red pública de agua abarca al 57.5 % de la población, que emplea fuentes de agua ubicada en las viviendas o en sus inmediaciones. Esta cifra difiere con el acceso en las áreas urbanas, situado en un 94 % (Instituto Nacional de Estadística y Censos - INEC, 2017).

La cuantificación de la cobertura de acceso al agua potable, toma únicamente como referencia la que corresponde a las conexiones municipales. De esta manera no se toman en consideración otro tipo de fuentes de agua destinadas para ser consumidas (INEC, 2017). En la figura 3 que se muestra a continuación se aprecia la cobertura de agua potable de manejo seguro en el Ecuador:



*Figura 3. Acceso a la red pública de agua potable, en el país.*  
Adaptado de (INEC, 2017).

Se debe mencionar que los sectores rurales que no disponen de agua potable de manejo seguro recurren a fuentes naturales para la recolección del líquido vital. De esta manera se afirma que, el 21.7 % de los ecuatorianos emplea para beber una fuente de agua de manejo seguro que no se encuentra libre de contaminación fecal (INEC, 2017).

#### 2.1.1.1 Cobertura de agua en el Noroccidente de Quito

La mancomunidad del noroccidente del DMQ, está formada por 5 parroquias rurales entre las cuales se encuentran Nanegal y Gualea (GADPP, 2011). En 2015, se encontraron deficiencias en la cobertura de agua por parte de la EPMAPS hacia estas parroquias. Se conoce que el abastecimiento por medio de la red pública cubre un 45 % de los hogares, en contraposición al 44 % de la

población que utiliza agua no potable (Mora, 2012). Las fuentes de abastecimiento de la parroquia de Gualea, el número de viviendas y el porcentaje de empleo de la población, se muestran a continuación en la tabla 2:

Tabla 2.

*Fuentes de abastecimiento de agua de la Parroquias de Gualea*

Indicador.	Número de Viviendas.	Porcentaje.
Red pública:	251	45
Pozo:	15	3
Río, vertientes, canales:	248	44
Agua de lluvia:	45	8
Total:	559	100

Adaptado de (Mora, 2012)

Dentro de las fuentes de agua no potable accesibles al 44 % de la población mencionada, las principales son los ríos San Carlos para la parroquia de Gualea y el río Pachijal para la parroquia de Nanegal. Las nacientes de las vertientes de estos ríos, se encuentran en propiedades privadas que han optado en talar los bosques con miras a convertir estas áreas en pastizales, lo que repercute en una disminución del caudal de los ríos y por consiguiente un descenso en el volumen disponible de estas fuentes de abastecimiento de agua (Mora, 2012,).

A su vez se debe considerar a las actividades ganaderas y pecuarias que se desarrollan en este sector; debido a la contaminación que llega a desprenderse de las mismas, ligada a la descarga que se realiza de los desechos de estas industrias hacia las fuentes de captación de agua, perjudicando su calidad e inocuidad. El alcantarillado no está presente en la mayoría de los asentamientos de las parroquias; por consiguiente, se emplean ríos y quebradas para el desecho de las aguas servidas. Es así que, el agua que finalmente llega a distribuirse en la población, se descarga en un principio en una planta de

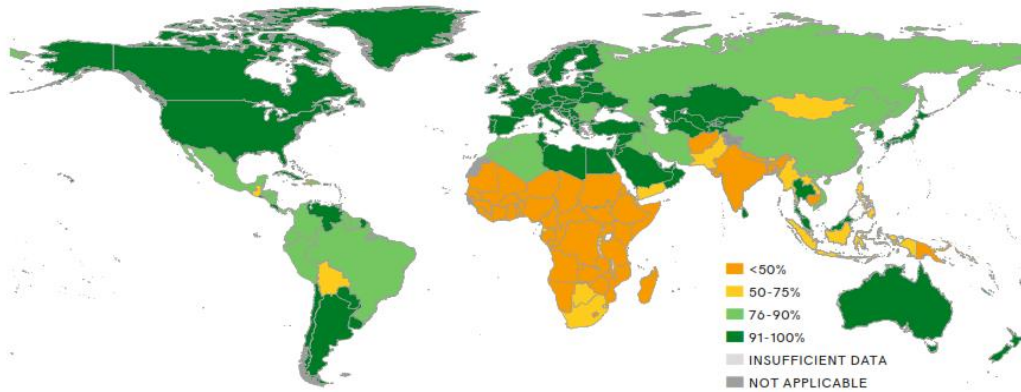


tratamiento de agua potable de la cual es repartida en los diferentes barrios de estas dos parroquias (Mora, 2012).

## **2.2 Contaminación de fuentes de agua**

Como añadido al acceso limitado al agua potable, es necesario mencionar la contaminación de las fuentes hídricas, que ha repercutido en una cobertura parcial de la misma en el planeta. Es así que se pueden nombrar varios factores como detonantes de esta contaminación, teniendo en primer lugar a la polución del agua de lluvia ligada al estado del aire, a lo que se añade la contaminación de aguas superficiales debido al escurrimiento de aguas pluviales provenientes de industrias ganaderas y agrícolas (FAO, 2013). Se menciona además a la contaminación de las aguas subterráneas vinculada a desechos depositados en vertederos de basura que alcanzan la localización de las cuencas hídricas, sumado a la contaminación proveniente de elementos naturales y productos químicos (Solíz Torre, 2015).

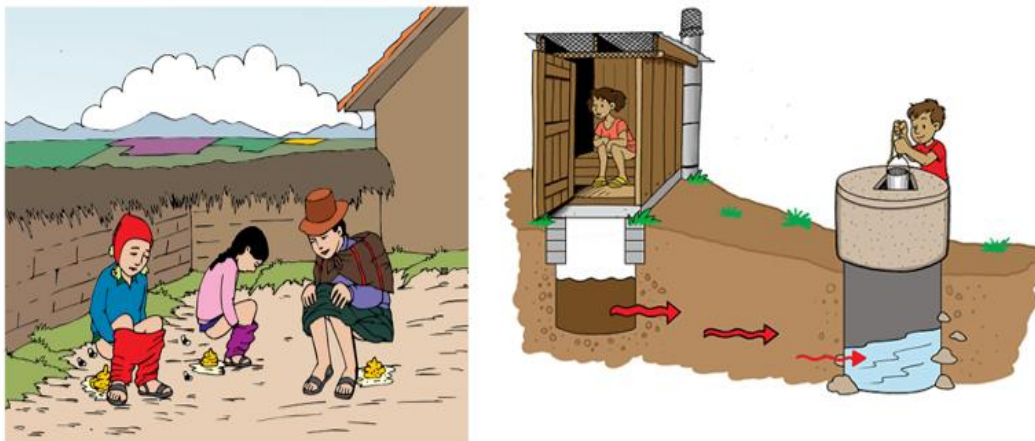
Por otro lado, se conoce que 2.3 billones de personas carecen de servicios básicos de saneamiento, por lo que las excretas no se eliminan de manera segura; de este número, el 13 % emplea retretes y letrinas para la eliminación *in situ* de los desechos. Se debe mencionar también que 600 millones de personas utilizan un servicio de saneamiento limitado, compartido con varios hogares y 892 millones de personas que defecan al aire libre (UNICEF & WHO, 2017). En la figura 4 que se muestra a continuación, se aprecia el acceso global a los servicios básicos de saneamiento:



*Figura 4.* Acceso mundial a servicios básicos de saneamiento.

Tomado de (UNICEF & WHO, 2017).

En los sectores rurales la contaminación de las cuencas hídricas, proviene principalmente de materia fecal de letrinas que llegan a ser edificadas cerca de las viviendas y de las actividades pecuarias. En ambos casos las descargas de los desechos se realizan de manera directa en las fuentes de agua (Figura 5) (Farias, 2010).



*Figura 5.* Contaminación del agua en sectores rurales.

Tomado de (Farias, 2010).

### 2.2.1 Enfermedades relacionadas con el agua

Las enfermedades relacionadas con el agua engloban aquellas que se derivan de la exposición directa o indirecta, ya sea esta por consumo o por contacto con la piel durante labores de aseo o recreativas. Una definición más extensa menciona las afectaciones relacionadas a la escasez de agua o su contaminación en eventos climáticos adversos (Forstinus, Ikechukwu, Emenike, & Christiana, 2016). Se incluye a la par, a aquellas ligadas a la presencia de patógenos o sustancias tóxicas en el agua (White, 2015).

La mayoría de las enfermedades se transmiten a través de la ruta fecal-oral que ocurre con la ingestión de agua o alimentos contaminados, derivados de un deficiente manejo de aguas servidas. Las naciones en el mundo prestan especial importancia a las enfermedades ligadas al agua, al ser estas causas principales de morbilidad y mortalidad (Forstinus, Ikechukwu, Emenike, & Christiana, 2016). A continuación, en la tabla 3 se muestran varias enfermedades relacionadas al agua, su ruta de infección y el agente causante:

Tabla 3.

#### *Enfermedades relacionadas al agua*

	Enfermedad	Ruta de Infección	Agente Etiológico
Enfermedades relacionadas con el agua	Cólera	Oral	<i>Vibrio cholerae</i>
	Tifoidea	Oral	<i>Salmonella enterica</i>
	Hepatitis infecciosa	Oral	Hepadnaviridae
	Disentería bacilar	Oral	<i>Entamoeba histolytica</i>
	Amebiasis	Oral	<i>Entamoeba histolytica</i>
	Sarna	Cutáneo	<i>Sarcoptes scabiei</i>
	Sepsis de la piel	Cutáneo	<i>Clostridium difficile</i>
	Ascariasis	Oral	<i>Ascaris</i>
	Tricuriasis	Oral	<i>Trichuris trichiura</i>

Adaptado de (Forstinus, Ikechukwu, Emenike, & Christiana, 2016).

### 2.2.2 Diarrea

La diarrea puede definirse como la evacuación de tres o más veces en el día de heces no sólidas, una frecuencia mayor a la normal (WHO, 2017). Esta enfermedad conduce a una severa deshidratación lo que pone en riesgo la vida de manera especial en las poblaciones más vulnerables. Dentro de las cuales están los niños menores a 5 años, personas desnutridas y con una inmunidad trastornada (Aboubaker, 2013). A su vez, las enfermedades diarreicas se presentan como la segunda causa de muerte de niños menores a cinco años, teniendo un número de 525000 muertes por año y 1.7 billones de casos en el mismo periodo de tiempo (WHO, 2017).

Los orígenes etiológicos de la diarrea se han ligado a la presencia de bacterias y protozoos; sin embargo, en los últimos años variados métodos de diagnóstico han facilitado el descubrimiento de otros agentes etiológicos como lo son los virus entéricos (Kotloff et al., 2013). Las enfermedades diarreicas pueden prevenirse de manera adecuada, si se cuenta con acceso a agua potable de manejo seguro, así como a servicios básicos de saneamiento (WHO, 2014). Se distinguen tres tipos clínicos de enfermedades diarreicas que son mostradas junto a sus características, a continuación en la tabla 4.

Tabla 4.

*Tipos clínicos de enfermedades diarreicas*

Diarrea Acuosa	Varios días de duración.
Diarrea con sangre aguda	Conocida como diarrea disintérica.
Diarrea persistente	14 días de duración.

Adaptado de (WHO, 2017).

Es importante señalar que la deposición de manera habitual de heces que presenten una apariencia sólida, así como también la evacuación de heces

sueltas en bebés en estado de lactancia, no es considerada como diarrea (Marks, 2018).

### Agentes etiológicos relacionados con la diarrea

Las entidades biológicas, bacterias, virus y protozoos que provocan enfermedades en distintos organismos, son conocidas como agentes etiológicos. La mayoría de manera general se encuentran ligados con enfermedades intestinales, afectando a las personas dentro un periodo corto de tiempo. Los patógenos que son transmitidos por el agua, presentan características distintas de otros agentes etiológicos como los virus causantes de gripe y de las bacterias causantes de la tuberculosis, que se transmiten por las secreciones corporales de una persona que padece la enfermedad (Algal, 2015). A continuación, se muestran los agentes etiológicos relacionados con la diarrea.

### Bacterias

Las bacterias son microorganismos procariotas que integran el grupo eubacteria, se reproducen por fisión binaria, no poseen un núcleo verdadero, cuentan con paredes celulares compuestas de peptidoglicanos. Su tamaño fluctúa dependiendo de su forma, en un rango entre 0.3 a 100  $\mu\text{m}$  de longitud. Varias de la zoonosis bacterianas llegan a transmitirse por medio del agua, estas se desprenden de los desechos fecales de animales de sangre caliente y otras de reptiles ( Cliver & Fayer, 2004). Algunas de las bacterias que causan enfermedades, se muestra a continuación en la tabla 5:

Tabla 5.

### *Bacterias causantes de enfermedades*

<i>Salmonella spp</i>	<i>Leptospira spp</i>	<i>Micobacterium spp</i>
<i>Vibrio cholera</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Salmonella spp</i>
<i>Brucella tularensis</i>	<i>Campylobacter spp</i>	<i>Aeromonas spp</i>
<i>Shigella spp</i>	<i>Escherichia coli spp</i>	<i>Helicobacter pylori</i>

Adaptado de (Gorchev & Ozolins, 2011).

### Virus

Los virus son microorganismos cubiertos de una capa protectora proteica denominada capsida, no poseen la facultad de sintetizar proteínas por lo cual dependen de la energía y el metabolismo de sus huéspedes para llegar a reproducirse. Estos, son entre 20 y 100 veces más pequeños que las bacterias, razón por la cual no pueden ser observados por instrumentos de microscopía óptica (Algal, 2015). Presentan a la vez un patrón de transmisión por medio del agua y demás rutas medioambientales.

Los virus transmitidos a través del agua se desprenden de los desechos fecales, por lo que infectan por vía oral, que muestran un patrón específico de células hospederas que pueden invadir para dar comienzo a una infección. En este punto, las primeras células del huésped susceptibles a ser infectadas se encuentran localizadas en el revestimiento intestinal, tras lo cual la infección se transmitirá hacia otros tejidos. Los virus más elaborados son los bacteriófagos que muestran una apariencia similar al de insectos con una cabeza icosaédrica unida a una vaina tubular. Poseen varias fibras de cola larga que permiten al virus adherirse a la bacteria e inyectar su ADN para poder ser replicado (Cliver & Fayer, 2004). Algunos de los virus que causan enfermedades, se muestra a continuación en la tabla 6:

Tabla 6.

*Virus causantes de enfermedades por contaminación fecal-oral*

Adenovirus	Norovirus
Astrovirus	Rotavirus
Virus Hepatitis A	Virus Hepatitis E

Adaptado de (Gorchev & Ozolins, 2011).

### Protozoarios

Los protozoarios son organismos microscópicos unicelulares, viven en ambientes húmedos y se presentan a su vez como parásitos de otros seres vivos (Cliver & Fayer, 2004). Las infecciones derivadas de estos microorganismos provocan morbilidad gastrointestinal, malnutrición y mortalidad. Se ha estimado alrededor de 100000 casos con una prevalencia de entre el 20 y 30% en países en vías de desarrollo (Speich, Croll, Fürst, Utzinger, & Keiser, 2016). Los patógenos protozoarios, en donde se incluyen amebas, ciliados y flagelados, tienen su origen en heces humanas y animales, encontrándose a estos en aguas superficiales alrededor del globo. Dentro de los protozoos causantes de enfermedades relacionadas al agua, las especies *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium spp* son las más comunes (Abebe, Su, Guerrant, Swami, & Smith, 2015). Algunos de los protozoos que causan enfermedades, se muestran a continuación en la tabla 7:

Tabla 7.

*Protozoos causantes de enfermedades por contaminación fecal-oral*

<i>Entamoeba histolytica</i>	<i>Dracunculus medinensis</i>
<i>Giardia lamblia</i>	<i>Giardia intestinalis</i>
<i>Naegleria gruben,</i>	<i>Toxoplasma gondii</i>
<i>Cryptosporidium spp</i>	<i>Acanthamoeba spp</i>

Adaptado de (Gorchev & Ozolins, 2011).

### **2.3 Tratamientos domiciliarios y almacenamiento seguro**

Para el combate de las enfermedades diarreicas a nivel global, la OMS ha identificado a los llamados tratamientos a nivel domiciliario de agua y almacenamiento seguro "TANDAS". Estos se presentan como una alternativa plausible para proveer de agua potable a hogares de países en desarrollo, al reducir la contaminación entre la fuente de captación de agua y los hogares (Murphy, McBean, & Farahbakhsh, 2010). Los tratamientos requieren contar con una reducción suficiente de patógenos, con miras a valorar su utilización en la

protección de la salud. Deben ser empleados de una manera adecuada y consistente por las personas expuestas a fuentes de agua no potable de manejo seguro (WHO, 2007).

La implementación de los “TANDAS”, se da cuando la fuente de captación del líquido vital no es tratada de manera adecuada o no llega a ser tratada de ninguna forma, además de si se presenta contaminación durante la distribución del agua y su posterior almacenamiento (WHO, 2011). Las fuentes de captación de agua que pueden ser empleadas para ser tratadas incluyen: ríos, arroyos y canales, esto facilita la adaptación de las variaciones en las condiciones climáticas y su incidencia en la accesibilidad hacia los suministros de agua, lo que cual es particularmente importante en regiones áridas y con una presencia menor de precipitaciones (Curtis et al., 2012). De manera general se pueden encontrar las siguiente ventajas y desventajas del uso de los tratamientos de agua domiciliar y almacenamiento seguro:

Ventajas:

- Rápida implementación en zonas de difícil acceso o de desastres naturales (WHO, 2011).
- No se requiere de una infraestructura compleja para ser empleadas (PFP, 2011).
- Se las considera como tecnologías baratas, debido al fácil acceso hacia la materia prima requerida para su construcción (PFP, 2011).

Desventajas:

- Su eficacia microbiológica se encuentra condicionada, a los materiales usados durante su construcción (PFP, 2011).
- La aplicabilidad del tratamiento se encuentra influenciada por las condiciones ambientales (Curtis et al., 2012).
- Su implementación puede frustrarse, de acuerdo al nivel de participación de la población que las emplee (PFP, 2011).



Los “TANDAS” se constituyen en una alternativa plausible para una mejora en la calidad del agua destinada a ser consumida, así como en una importante intervención de salud pública en la prevención de las enfermedades transmitidas por el agua (Curtis et al., 2012).

### **2.3.1 Tratamientos basados en métodos físicos**

Entre los tratamientos de agua domiciliar y almacenamiento seguro basados en métodos físicos se mencionan a los siguientes:

- Desinfección Solar
- Ebullición
- Filtración a través de filtros de agua de cerámica
- Filtración a través de filtros de arena (BioSand)

#### *Desinfección Solar*

La desinfección solar es un proceso de exclusión de microorganismos por medio una combinación de actividad oxidativa y radicación UV (Curtis et al., 2012). El empleo de este método comienza con la saturación con agua de contenedores transparentes y su posterior exposición a la luz solar. Para lograr la desinfección el agua requiere alcanzar una temperatura promedio situada en los 75 °C (Boyle et al., 2008). De manera general, las botellas de tereftalato de polietileno son consideradas como idóneas para el tratamiento que resulta especialmente efectivo en contra de virus, bacterias y protozoos. El tiempo de exposición de las botellas de tereftalato, se encuentra condicionado por las condiciones climáticas. La desinfección no debe realizarse en días lluviosos al no resultar efectiva (Hunter, 2009). La radiación UV proveniente de la desinfección solar da origen a oxígeno radioactivo, que provoca daños en la estructura del ADN y causa envejecimiento celular (Boyle et al., 2008). La desinfección solar está disponible solo para volúmenes pequeños menores a los 10 litros debido al tamaño de los recipientes empleados (WHO, 2007).

### Ebullición

La ebullición es uno de los métodos para el tratamiento y desinfección del agua, más extendido a nivel mundial. Su eficacia ha sido reportada en la eliminación de bacterias, protozoos y virus (WHO, 2007). Se ha señalado que calentar el agua hasta los 100 °C, inactiva a los patógenos antes mencionados (Clasen et al., 2008). El tratamiento da inicio con la deposición de cierta cantidad de agua en un recipiente que llega a ser calentado, para el aumento de temperatura se pueden emplear varias fuentes de combustible entre las que se puede nombrar: el carbón, gas propano y madera. El tiempo estimado para este proceso varía, las recomendaciones se encuentran entre 1 y 5 minutos, con una adición de 1 minuto por cada 1000 metros de altitud (Clasen et al., 2008). Se recomienda que el agua se almacene en el mismo recipiente en el que se la ha hervido, se la proteja del exterior con el objetivo de evitar la re-contaminación y preferentemente debe ser consumida el mismo día en que se realice el tratamiento térmico de ebullición (WHO, 2007).

### Filtración a través de filtros de agua de cerámica

Los filtros de agua de cerámica son dispositivos que facilitan la potabilización del agua, al ser esta filtrada a través de un material poroso. Son una mezcla de arcilla y materia orgánica, obteniéndose tras un proceso de prensado y una cocción en hornos fabricados para este proceso. El tratamiento del agua, se basa en la eliminación física de contaminantes por exclusión por tamaño (Curtis et al., 2012). El diseño de la pieza de cerámica se asemeja al de una maceta (Pieza de cerámica) que llega a contener unos 8 litros de agua, volumen que se encuentra suspendido dentro de un recipiente que puede ser de plástico o de cerámica, a su vez se encuentra provisto de un grifo y una tapa. Estos componentes conforman lo que se denomina como “unidad de filtración” (PFP, 2011). Para el empleo de los filtros se requiere que se vierta agua dentro de él, se espera a que la misma fluya a través de la pieza de cerámica hacia el receptáculo, con una recolección final del agua filtrada. La eficacia microbiológica de los filtros se encuentra ligada al tamaño de los poros provenientes de la materia orgánica y

de una solución de plata coloidal que actúa como bactericida, aplicada sobre la superficie de la cerámica en la parte final del proceso de elaboración. El filtro cerámico rojo clásico, presenta una eficacia limitada en contra de virus.

### Filtración a través de filtros de arena (BioSand)

El filtro BioSand, es un filtro de arena adaptado para un uso doméstico, se encuentra conformado por un contenedor de hormigón de 90 centímetros de altura y 30 centímetros de ancho, una capa de arena fina y dos capas de grava con una abertura en la parte inferior de recipiente de hormigón, todos estos componentes conforman lo que se denomina como “unidad de filtración”. El nivel del agua en el filtro se encuentra entre 5 y 6 centímetros sobre la capa de arena (Ds Lantagne, Quick, & Mintz, 2006). Este nivel de agua facilita la formación de una bio-capa que permite al filtro la reducción de microorganismos patógenos entre los que se pueden nombrar bacterias, protozoos y virus. La formación de la bio-capa resulta del uso continuado de la unidad de filtración (WHO, 2007). Para emplear el sistema de filtración, se requiere verter agua en el interior del filtro y esperar que la misma salga por la tubería de la parte inferior de la unidad de filtración para su recolección y posterior uso (Ds Lantagne et al., 2006). La absorción y captura de los microorganismos y materiales suspendidos en el agua, se da en las capas de arena y grava (Sobsey, 2004). El uso de la unidad de filtración debe ser diario con miras a evitar la sequedad de las capas de arena y grava (WHO, 2007).

### **2.3.2 Tratamientos basados en métodos químicos**

Entre los tratamientos de agua domiciliar y almacenamiento seguro basados en métodos químicos se mencionan a los siguientes:

- Cloración
- Floculación

### Cloración

Dentro de los desinfectantes usados en el agua, el cloro ocupa un lugar preponderante al ser este el más accesible y empleado a nivel global (WHO, 2007). El funcionamiento de este tipo de desinfectante se focaliza en la alteración química, de manera especial la oxidación de los componentes bioquímicos de los microorganismos, de esta manera se interrumpen algunas funciones celulares vitales (Curtis et al., 2012). El proceso de cloración, se centra en el uso de sales del ácido hipocloroso, que expelen de manera eficiente microorganismos tales como bacterias y virus (Sobsey, 2004). Sin embargo, presenta excepciones notables contra algunas especies de protozoos, en donde se pueden nombrar a *Cryptosporidium parvum* y varias especies de *Mycobacteria*. El cloro se encuentra a disposición tanto de manera líquida en forma de hipoclorito de sodio y de manera sólida en forma de pastillas de hipoclorito de calcio y polvo de blanqueo, una mezcla de hidróxido de calcio, cloruro de calcio e hipoclorito de calcio (WHO, 2007). El tiempo de contacto estimado entre el desinfectante y el agua es de 30 minutos.

### Floculación

El tratamiento de floculación se basa en la utilización de una barrera múltiple, que estimula la unión de microorganismos para su deposición en el fondo de un contenedor de agua. Se ha demostrado que el procedimiento de floculación es eficaz contra virus, bacterias y protozoos (Curtis et al., 2012). El proceso da inicio con la añadidura de coagulantes al agua a tratar, se necesita de un tiempo de contacto entre los coagulantes y el agua con el objetivo de lograr la formación de floculos (Agrawal & Bhalwar, 2009). Existen dos tipos de coagulantes, los sintéticos más utilizados son el sulfato de amonio, el cloruro de polialuminio y las sales de hierro, en contraposición a los coagulantes naturales más empleados que son el cactus de nopal y las semillas de moringa. El uso de esta técnica es recomendable en áreas en donde las fuentes de agua presenten una turbidez alta y se cuente con una cadena de suministros consistente.

### 2.3.3 Eficacia microbiológica de “TANDAS”

Para reflejar la eficacia microbiológica de una tecnología propuesta para el tratamiento domiciliario del agua, se requiere compararla. Dicho valor de equiparación proviene de la diferencia situada entre la concentración de patógenos presentes en el agua antes y después de aplicar un tratamiento (WHO, 2011). La eficacia microbiológica se simboliza en una base logarítmica, que se muestra a continuación en la tabla 8:

Tabla 8.

*Base logarítmica de eficacia microbiológica*

1 log10	Reducción del 90%
2 Log10	Reducción del 99%
3 Log10	Reducción del 99.9%
4 Log10	Reducción del 99.99%

Adaptado de (WHO, 2011).

De esta manera la OMS, ha clasificado a los “TANDAS” de acuerdo a su capacidad de eliminación de microorganismos. Es así que se cuenta con métodos intermedios, cuando estos presentan una capacidad de remoción de dos tipos de microorganismos; protectores, cuando esta capacidad de remoción se sitúa en hasta tres tipos de microorganismos, teniendo a su vez una reducción logarítmica en un rango entre 2 y 3 logaritmos y altamente protectores al eliminar 3 clases de microorganismos con una reducción situada entre 4 y 6 logaritmos (WHO, 2011). La clasificación antes mencionada, se muestra a continuación en la tabla 9:

Tabla 9.

*Tecnologías de tratamiento de agua domiciliar y almacenamiento seguro y su eficacia microbiológica*

Patógeno	Reducción Logarítmica		
	Intermedio	Protector	Altamente Protector
Bacterias	Resultan protectores para dos tipos de microorganismos que proporcionan mejoras para la salud.	$\geq 2$	$\geq 4$
Virus		$\geq 3$	$\geq 5$
Protozoos		$\geq 2$	$\geq 4$

Adaptado de (WHO, 2011).

Los métodos más efectivos en contra de patógenos presentes en el agua, son aquellos considerados como altamente protectores y aquellos considerados como protectores (Tabla 10) en donde destacan:

Tabla 10.

*Tecnologías altamente protectoras y protectoras de tratamiento de agua domiciliar y almacenamiento seguro.*

TANDAS	Denominación	Eficacia Microbiológica
Ebullición		9 Logaritmos para bacterias, virus y protozoarios.
Cloración	Altamente Protector	6 Logaritmos para bacterias y virus.
Floculación		9 logaritmos para bacterias, 6 logaritmos para virus y 5 logaritmos para protozoarios.
Filtros de Arena		3 logaritmos para bacterias, 2 logaritmos para virus y 4 logaritmos para protozoarios.
	Protector	
Filtros de agua de Cerámica		3 logaritmos para bacterias y 6 logaritmos para protozoarios.

---

Radiación  
Solar

5 logaritmos para bacterias, 4 logaritmos para  
virus y protozoarios.

---

Adaptado de (WHO, 2011).

Por último, de entre los métodos menos eficientes se puede citar a la sedimentación, que presenta una reducción logarítmica de 0.5 logaritmos para bacterias y virus, y 1 logaritmo para protozoarios (WHO, 2011).

### **2.3.4 Disponibilidad global de los “TANDAS”**

A nivel global, 1.1 billones de persona utilizan los “TANDAS” de esta cifra el 30% se sitúa en países de baja renta (Curtis et al., 2012). El uso continuado de estos tratamientos de manera principal se ubica en el Pacífico Occidental y el Sudeste Asiático, en estas regiones la ebullición y la filtración son los métodos más utilizados, lo que se contrapone con los continentes Americano y Africano en donde el método más empleado es la cloración (WHO, 2014). En este último continente, el uso de los tratamientos de agua domiciliar muestra una amplia variación, es de esta manera que el rango de empleo fluctúa entre un 4% de uso en la República Democrática del Congo a un 49 % de aceptación en Ruanda (Curtis et al., 2012). Otro método difundido es la filtración, aquí es necesario remarcar que los filtros, aunque son fabricados de manera local su uso no ha sido generalizado, es de esta forma que se tiene la presencia de filtros de membrana, de arena y de agua de cerámica (Curtis et al., 2012). En Asia por otro lado, el uso continuado de los tratamientos muestra valores de aceptación entre el 8% en Bangladesh y el 87 % en Vietnam. Es así que la ebullición es por mucho, el método más arraigado seguido de la filtración, en donde el mercado de filtros ha crecido considerablemente en China, Vietnam y la India (Curtis et al., 2012). Se requiere de trabajo complementario con miras a garantizar la presencia de los tratamientos de agua domiciliar y almacenamiento seguro, en

regiones que no cuenten con fuentes de agua potable para lo cual, se necesita de la formulación y aplicación de políticas regulatorias acerca de la fabricación y el uso de estas tecnologías, las cuales deben estar centradas en la eficacia microbiológica de estos tratamientos (Naman, J., Montgomery, 2012). En la figura 6 que se muestra a continuación, se aprecia el acceso mundial hacia los TANDAS y los tratamientos mayormente utilizados:

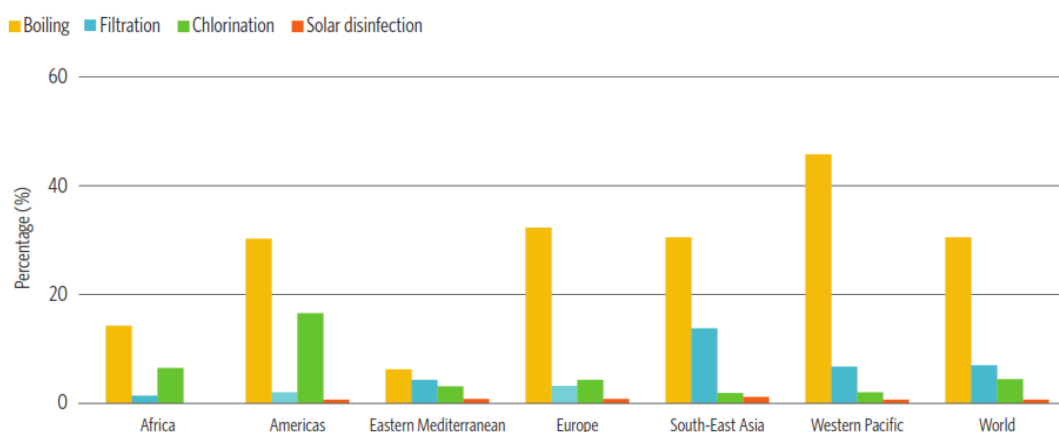


Figura 6. Distribución global de los tratamientos a nivel domiciliario y almacenamiento seguro.

Tomado de (Curtis et al., 2012).

### 2.3.5 Eficacia y efectividad microbiológicas

Los filtros de agua de cerámica, han sido sujeto de análisis con miras a valorar su eficacia y efectividad microbiológica para distintos microorganismos. A continuación, se muestran los valores de eliminación presentados por este tratamiento de agua domiciliario y almacenamiento seguro.

#### 2.3.5.1 Eficacia microbiológica de los filtros de agua de cerámica

En Tunja-Colombia durante un periodo de 14 meses, se analizó el rendimiento en la eliminación microbiológica de los filtros de cerámica. Dicha evaluación se realizó con agua enriquecida con *E.coli* ATCC 95922 con un volumen total de 65 litros, los ensayos de filtración y la valoración de eficacia microbiológica se



realizaron de manera semanal. La eliminación de *E. coli* fue del 99.998%, con una reducción de 4 LRV (Pérez-Vidal, Diaz-Gómez, Castellanos-Rozo, & Usaquen-Perilla, 2016).

Un estudio realizado en los Países Bajos, analizo la eficacia microbiológica de filtros que fueron testados de manera diaria con 6 litros de agua proveniente del canal de Schie, por un periodo de 12 semanas. Los filtros de agua que se testaron fueron manufacturados en Nicaragua, Ghana y Camboya, tras el periodo de análisis se obtuvo que el efluente proveniente de los filtros mostro concentraciones de *E.coli* k12 menores a las 1ufc/30ml, con un LRV de 6.55 log. A la par se obtuvo una eficacia microbiológica par el Bacteriófago MS2 situada en 1.24 log. (Van Halem, Heijman, Soppe, Van Dijk, & Amy, 2007).

En 2010, se realizó otro análisis de la eficacia de las piezas de cerámica que empleo agua superficial y de lluvia provenientes de la provincia de Kendal. Para lo cual se enriqueció el agua con concentraciones predeterminadas de *E.coli* CN13 y de bacteriófago MS2, en los ensayos de filtración que duraron 5 horas se utilizaron 10 L de agua en cada filtro testado, con un total de duración de 3 meses y 660 litros filtrados por las pizas de cerámica. Los resultados mostraron que los filtros presentaban un LRV de 2.2 log para el agua de lluvia y de 2.3 log en el agua superficial para la bacteria. En contraposición a la reducción viral situada en 1.4 log para el agua de lluvia y de 1.3 log para la superficial (Brown & Sobsey, 2010).

La modificación de filtros de agua de cerámica a quienes se les introdujo oxihidróxido de magnesio en la matriz del dispositivo, arrojó como resultado una capacidad de eliminación viral de 4 logaritmos para los bacteriófagos MS2 y PhiX174. La variación significativa de eficacia en la eliminación de estos microorganismos durante el tiempo de filtración, se especula que se encontró

ligada al tiempo de empleo al que fue sometido la pieza de cerámica y los cambios transformacionales que sufrió el oxihidróxido de magnesio en su contacto con agua (Michen, Fritsch, Aneziris, & Graule, 2013).

Se desarrolló un nuevo prototipo de filtro de agua de cerámica cocido en una atmosfera reductiva, la misma que consistió en el encendido del horno hasta una temperatura de entre los 950 a 990 °C y la retirada del oxígeno presente. Este nuevo prototipo de filtro se probó con agua enriquecida con la bacterias *E.coli* y los virus HAdV y bacteriófago MS2. Para evaluar la eficacia microbiológica, los filtros fueron saturados con el agua previamente mencionada que se dejó filtrar por un espacio de 4 horas, tras haber filtrado un volumen de 1000 litros. Obteniéndose valores de reducción entre 1.5 a 4 log para bacterias (*E. coli*) y entre 2.5 a 4 log para virus (HAdV y MS2) (Guerrero-Latorre et al., 2015).

#### 2.3.5.2 Efectividad microbiológica de los filtros de agua de cerámica

En Nicaragua, un análisis microbiológico realizado con 24 filtros de agua de cerámica provenientes de 7 comunidades distintas del total de viviendas que contaron con los filtros distribuidos, 8 no mostraron la presencia de *Ecoli*. A la vez 14 piezas de cerámica mostraron un flujo de filtración inadecuado con miras a proveer de una cantidad suficiente de agua para suplir las necesidades del hogar que contaba con la pieza de cerámica (Lantagne, 2001).

En Camboya se distribuyó 1000 filtros desde julio de 2002 a enero de 2003, en tres aldeas rurales situadas al oeste del país, tras este periodo de prueba se constató que el 99% de las piezas de cerámica, proveía agua con una cantidad menor a 1 ufc/10 ml de *Ecoli*. Sin embargo, es preciso denotar que 250 de los filtros distribuidos al termino del estudio no estaban ya en funcionamiento, del número anterior el 71% se relacionó con el rompimiento del grifo y el 20% por el rompimiento de la base del dispositivo. Los restantes se relacionaron con la preferencia hacia la ebullición como método de tratamiento del agua, además de

la creencia de que el agua con la que contaban no requería de tratamiento alguno (Roberts, 2003).

En Ghana, entre 2006 y 2007 se analizó la calidad del agua en 40 hogares que empleaban los filtros de agua de cerámica, los cuales llegaron a reducir la presencia de *E. coli* en un rango de entre 99.7% a 85%. El recuento promedio fue inferior a 1ufc/10ml (Johnson, Peletz, & Murcott, 2008). A la par la distribución de 1000 filtros en el noreste del país, mostro que, tras la finalización del seguimiento de uso de los dispositivos cerámicos, el 63% de los mismos aun continuaron en uso. Del porcentaje restante, el desuso se explicó por la rotura de la pieza de cerámica y del contenedor del almacenamiento (Desmyter et al., 2009).

## **2.4 Filtros de agua de cerámica negra**

### **2.4.1 Historia**

El rendimiento del filtro de agua de cerámica roja se ha investigado desde su desarrollo, se ha puntualizado que la eficacia en la eliminación de bacterias, se enmarca dentro del rango de 2 a 4 logaritmos (Oyanedel-Craver & Smith, 2008). Sin embargo, la eficacia de eliminación viral ha demostrado ser mucho más baja, situándose en un rango de 0.21 a 0.45 log (Salsali, McBean, & Brunsting, 2011). Es de esta manera que, los niveles de eliminación viral no serían efectivos para disminuir el riesgo microbiano en la contaminación del agua, debido a la presencia de entre 2 a 4 log de adenovirus humanos en aguas superficiales de distintas regiones alrededor del globo (Fraile et al., 2015). Un nuevo prototipo de filtro de agua de cerámica se desarrolló en 2014, con el objetivo de mejorar la eficacia de una tecnología existente, para la mejor remoción de virus entéricos (Guerrero-Latorre et al., 2015). Los primeros prototipos del nuevo filtro de agua de cerámica, mostraron tras la realización de los primeros ensayos para la evaluación de su eficacia microbiológica, que podían ser considerados como un tratamiento de agua domiciliar protector, de acuerdo con la OMS (Guerrero-Latorre et al., 2015). Es de esta manera que el nuevo prototipo mejorado puede ser implementado de forma fácil en las fábricas existentes, la combustión en una

atmósfera reductiva solo requiere de un horno específico, que se puede construir con materiales locales, ladrillos tradicionales y hormigón (Guerrero-Latorre et al., 2015).

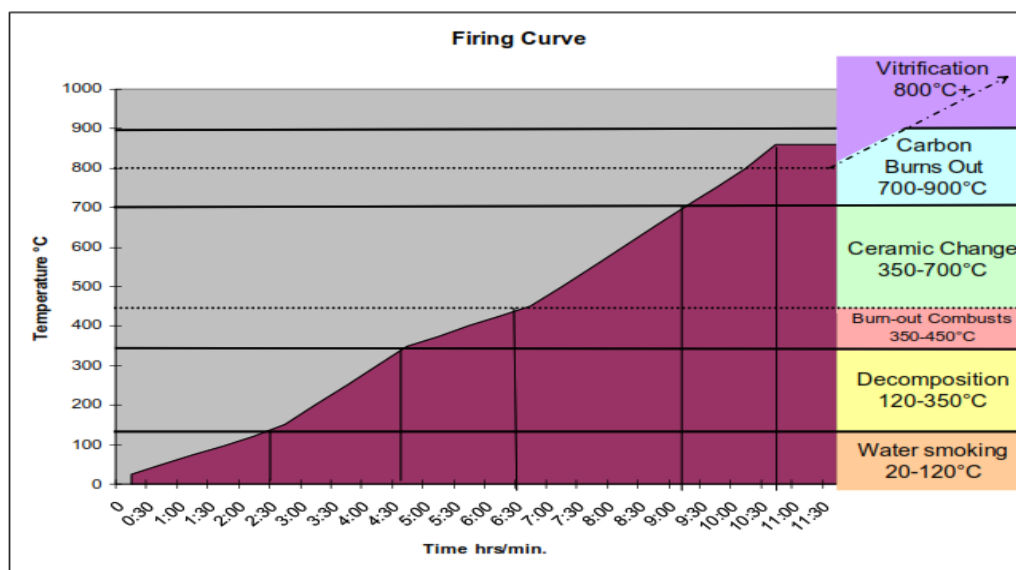
#### **2.4.2 Proceso de fabricación**

Los filtros de agua de cerámica se elaboran a partir de una mezcla de arcilla y un material orgánico como cáscara de arroz, cáscara de café o aserrín (Sobsey, 2002). Para la fabricación de los filtros es necesaria una fuente de agua fiable y limpia que se utilizara tanto en la producción de los mismos, así como en las pruebas de verificación de caudal (Potters for Peace, 2011). Al comienzo de la producción se debe contar con una mezcla homogénea de los materiales que conformaran este dispositivo. Dicha mezcla se da en una primera instancia cuatro veces en seco, tras lo cual esta se abre y se agrega agua, una vez que se ha completado este proceso la mezcla es recogida y acomodada en el molde dispuesto en la máquina de prensado, para el inicio de este procedimiento. El molde que se emplee condiciona el tamaño y la apariencia que poseerá la pieza de cerámica (Potters for Peace, 2011).

Para evitar que filtro se pegue al molde tras el prensado se requiere de un método de liberación (desmolde), las bolsas de plástico son la forma más frecuente de liberación del molde utilizado en distintas fábricas. Terminado el desmolde de los filtros y antes de que estos sean puestos a secar se deben corregir los defectos que puedan visualizarse tras los procedimientos antes ejecutados. Posteriormente, los filtros son puestos a secar antes de su colocación en el horno, de preferencia estos deben ser ubicados en habitaciones y bóvedas apartadas de las demás instalaciones de la fábrica, en un área con condiciones protegidas del viento, el sol directo y la lluvia. Acto seguido, estos deben ser colocados en el horno para la cocción y carbonización correspondientes. Los hornos usados para tal fin, independientemente del combustible que se emplee, están conformados por una cámara de cocción, en la cual serán depositados las piezas de cerámica de una cámara o puerto de

entrada para el combustible, un conducto para el control de la entrada de aire, chimeneas para la salida del calor y un sistema para controlar el calor del horno. Los tres tipos de combustible más utilizados en la producción de filtros son: la leña, el petróleo y el propano (Potters for Peace, 2011).

Para empezar con el proceso de cocción de los filtros estos deben ser colocados dentro del horno, para lo cual se los apila unos sobre otros separando cada pieza de cerámica. Después, la cámara en donde se colocan los filtros es cerrada y conectada a un pirómetro para el control de la temperatura. A medida que el proceso de cocción avanza, se debe vigilar el cumplimiento de las temperaturas y las horas que se muestran a continuación en la figura 7:



*Figura 7.* Curva de cocción de los filtros de agua de cerámica.

Tomado de (Potters for Peace, 2011).

La figura 7 muestra las distintas etapas inmersas en la cocción de la pieza de cerámica, de esta manera en la etapa inicial del proceso el agua utilizada en la mezcla de los materiales (arcilla y materia orgánica) se evapora. Se debe controlar que el aumento de la temperatura no sea demasiado rápido, con el objetivo de evitar un aumento de presión en las paredes de la pieza de cerámica

lo que ocasionará su fragmentación. En ésta primera etapa de cocción la temperatura del proceso no debe sobrepasar los 100 °C. Superada esta temperatura, el aumento de la misma se dará de forma progresiva partiendo de un aumento de 100 °C por cada hora de cocción. Para un correcto seguimiento del aumento de temperatura se debe tomar en consideración el grosor de los pedazos de madera utilizados, si los mismos son muy delgados se quemarán más rápido, lo que derivará en un aumento súbito de la temperatura que estará acompañado con un descenso igual de rápido de la misma. Entre los 350 °C y los 450 °C, las partículas volátiles de la materia orgánica se evaporan por lo que una gran cantidad de humo escapara por las chimeneas dispuestas en la parte superior del horno de cocción.

A partir de los 450 °C y hasta llegar a los 700 °C, la arcilla se convierte en cerámica. La cocción de los filtros puede darse en 10 horas dependiendo de las condiciones climáticas y la humedad presente en las piezas de cerámica. Es importante remarcar que en el momento de llegar a los 700 °C y hasta alcanzar la temperatura máxima (900°C a 1652 °C), se requiere de suficiente oxígeno con el objetivo de lograr una completa combustión de la materia orgánica. Finalizada la cocción, se debe esperar a que la temperatura descienda a los 200°C, para comenzar con la apertura del horno y la retirada de los filtros (Potters for Peace, 2011).

Las pruebas de caudal se realizan al sumergir las piezas tras la cocción por un espacio de tiempo de 24 horas y medir su velocidad de filtración tras este periodo. Es importante que la misma se ubique en un rango comprendido entre 1 a 2 litros por hora, si este no se cumple la pieza es descartada. El siguiente procedimiento a efectuar es la colocación del nitrato de plata coloidal, que facilita en gran medida a eliminación microbológica del filtro. Para esto se agregan 2 mililitros de nitrato de plata coloidal al 3.2% en 250 ml de agua, que serán impregnados en la totalidad de la superficie del filtro.

Es necesario evaluar la manera en que las variables de producción (Temperatura de cocción, proporción de mezcla de los materiales, cantidad de nitrato de plata coloidal usado y condiciones ambientales) afectan la efectividad microbiológica de los filtros, para de esta manera optimizar su producción en todo el mundo (Potters for Peace, 2011).

### **2.4.3 Mecanismos de efectividad**

Los mecanismos a los que se atribuye la efectividad de la filtración, de los filtros de agua de cerámica negra son cuatro:

- Plata coloidal.
- Poros y porosidad.
- Propiedades hidráulicas y caudal.
- Superficie interna y Potencial Z.

#### *Plata coloidal*

La plata coloidal, coloide conformado por partículas microscópicas de plata, facilita en gran medida la eficacia microbiológica que presenta el filtro. Para esto es necesario suministrar un pre-tratamiento con dicha sustancia, antes de comenzar el proceso de filtración (PFP, 201). Se conoce que la plata tiene efecto sobre las estructuras morfológicas de las bacterias, la microscopía electrónica ha permitido la identificación de daños en la membrana celular de estos microorganismos. A su vez se sabe que la plata llega a reaccionar con compuestos sulfurados, por lo que de esta manera reacciona con enzimas situadas en la membrana celular (Holt & Bard, 2005).

Al ser esta la responsable de la respiración celular, el intercambio osmótico y la permeabilidad de la célula, la reacción con estos compuestos interrumpe la respiración celular, lo que continúa con un cese en la producción de ATP y la posterior muerte de la célula (Jang, 2017). Otro aspecto a señalar se enmarca en la cantidad de plata reportada en el agua después de ser esta filtrada, dicho valor

se ubica en 0,1 mg/L, demostrándose de esta manera que la aplicación de este coloide en los filtros no llega a representar un riesgo para la salud de las personas (D. S. Lantagne & Environmental, 2001).

### Poros y porosidad

Los poros que se encuentran dentro del filtro, actúan como una barrera física en contra de los patógenos que pudiesen presentarse en el agua, así como también materiales orgánicos y la turbidez de la misma (Denis et al., 2017). Durante la cocción, la materia orgánica que se encuentra en la mezcla se combustiona, lo que aumenta la porosidad final del filtro (Oyanedel-Craver & Smith, 2008). El tamaño de poro está condicionado por la dimensión de partícula y la cantidad de materia orgánica que es añadida a la mezcla, pero el tamaño de poro también ha sido relacionado con el contenido de arcilla (Oyanedel-Craver & Smith, 2008).

Los poros, al momento de utilizarse aserrín como materia orgánica, poseen un tamaño que fluctúa en un rango comprendido entre los 0,6  $\mu\text{m}$  y los 3  $\mu\text{m}$ . (D. S. Lantagne & Environmental, 2001). Se debe mencionar que se ha encontrado una correlación entre el tamaño del poro y la eliminación de bacterias, los filtros con poros más pequeños tienen una tasa de eliminación de bacterias más alta (Van Halem et al., 2007). Varios estudios, que han empleado porosimetría de intrusión de mercurio han demostrado que tanto la distribución en el tamaño de los poros del filtro y la porosidad, no presentan una variación significativa (Wang et al., 2016).

### Propiedades hidráulicas y caudal

Se denomina caudal, a la cantidad de agua que atraviesa un filtro saturado que se ha llenado durante la primera hora (Fahlin, 2003). Esta medida sirve como indicador de la consistencia de la producción, así como también de la presencia de grietas, agujeros y poros grandes (Ehdaie et al., 2017). Su consideración dentro de la fabricación de los filtros es de suma importancia, ya que los mismos necesitan tratar suficiente agua para el uso diario dentro de una familia a un ritmo apropiado para un determinado tiempo de uso.



La velocidad por la que el agua atraviesa las paredes del filtro, llega a influir en los mecanismos de filtración y en la cantidad de tiempo de contacto con la plata coloidal (Ehdaie et al., 2017). Se ha estimado que el agua llega a permanecer en los poros del filtro por un periodo de 50 minutos, tiempo en el cual y tomando en consideración el espesor de plata coloidal, brindaría el tiempo suficiente de contacto con el coloide con miras a garantizar la eliminación microbiológica del filtro (Fahlin, 2003). La obstrucción de los poros del filtro, tiene como consecuencia una reducción considerable en el caudal. (Bloem, 2009).

### Superficie Interna y Potencial Z

El potencial z es un parámetro natural empleado para describir propiedades electroquímicas (Kirby & Hasselbrink, 2004). Los virus presentan cierta adhesión a diversas partículas y superficies que se encuentran cargadas positivamente, de manera especial óxidos de metales y medios cargados positivamente en el medio ambiente, como lo son las arcillas ricas en óxidos férricos (Guerrero-Latorre et al., 2015). Se tiene constancia que la cocción en atmósfera reductiva provoca un cambio del punto isoeléctrico en carga positiva a pH 7, esto hace que las cerámicas que se obtienen tras una cocción en atmósfera reductiva presenten una mayor capacidad de absorción viral. Tomando en cuenta que la mayoría de los virus entéricos tienen una carga superficial neta negativa (Michen, Fritsch, Aneziris, & Graule, 2013).

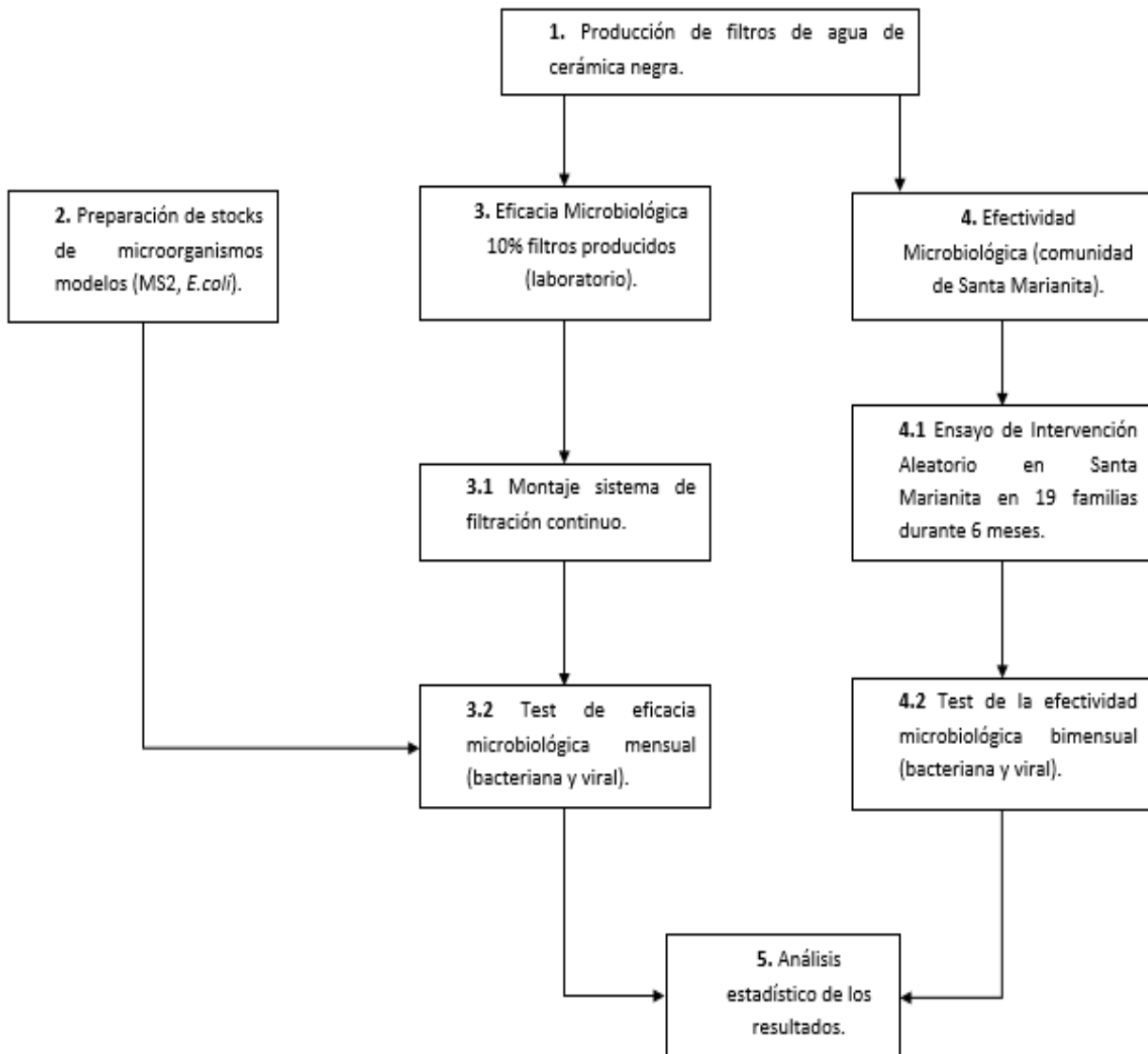
A lo que se suma el cambio en el área superficial de los filtros de agua de cerámica, obtenidos tras una cocción en atmósfera reductiva que tienen mayores áreas superficiales, con un valor promedio de  $6.65 \text{ m}^2/\text{g}$ , que los filtros que no fueron cocidos con este tipo de atmósfera, con una superficie media de  $2,41 \text{ m}^2/\text{g}$  (Guerrero-Latorre et al., 2015).

#### **2.4.4 Producción en la fábrica “Horeb Agua de Vida”**

La fábrica “Horeb Agua de Vida” se encuentra ubicada en la parroquia de Pifo, en la provincia de Pichincha, esta regentada por el pastor Ramiro Báez y localizada en la hacienda San Carlos, cuenta con una extensión de 1,6 hectáreas. La producción de los filtros de agua de cerámica comenzó en 2009 con el objetivo de proveer agua potable de manejo seguro y combatir las enfermedades diarreicas presentes en esta parroquia. Los filtros de forma principal se han vendido a distintas ONG, con una producción anual bastante baja y un mercado limitado ya que su distribución se restringe a lugares que han sufrido algún tipo de desastre natural por lo cual son entregados gratuitamente a las personas como un tratamiento de agua domiciliar. La fabricación del nuevo prototipo de filtro de agua de cerámica inicio a principios de 2017 con la construcción de un horno destinado a la fabricación de cerámica negra.

En la edificación del mismo estuvo involucrado Josep Mates, ceramista de Barcelona que arribo al país gracias a una campaña de crowdfunding, conjuntamente con la ayuda de Bolívar Báez, Rafael Olalla y Edgar Salazar, quienes han laborado en la fábrica por varios años. Ellos fueron los que llevaron a cabo la construcción del horno en el cual hasta la fecha se han podido obtener los primeros lotes de los filtros de cerámica negra. En la actualidad la fábrica aspira mejorar sus ventas y ampliar su mercado, lo que le permitirá mantener la producción y poder cumplir con los objetivos de convertir a la fábrica en una fuente de trabajo para la comunidad, y sobre todo elaborar una tecnología capaz de brindar agua de calidad a un precio accesible.

### 3. CAPÍTULO III. DISEÑO DEL PLAN EXPERIMENTAL



*Figura 8.* Diseño experimental de la comparación de eficacia versus efectividad microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra

Para la evaluación de eficacia versus efectividad microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra, se partió de la producción de los mismos en la fábrica “Horeb Agua de Vida” ubicada en Pifo, Para los ensayos de eficacia microbiológica, inicialmente se prepararon los stocks de los microorganismos modelos a ser empleados en el estudio. Se instaló el montaje del sistema de

filtración continuo, seguido de los test de eficacia microbiológica que fueron desarrollados de manera mensual. En contraposición a los ensayos de efectividad microbiológica, que comenzaron con el ensayo de intervención aleatorio en Santa Marianita, lo que continuó con el test de efectividad microbiológica, desarrollado cada dos meses. Finalmente, tanto para los ensayos de eficacia versus efectividad, se tuvo el análisis estadístico de los resultados.

## **4. CAPÍTULO IV. PROCEDIMIENTOS**

### **4.1 Determinación de la población**

La población objeto del análisis efectuado, fue de 30 filtros de agua de cerámica negra, que fueron manufacturados en la fábrica “Horeb Agua de Vida” localizada en Pifo.

### **4.2 Determinación de la muestra**

Para el estudio de eficacia microbiológica se usó como muestra 3 filtros de agua de cerámica negra manufacturados por la fábrica “Horeb Agua de Vida”, los cuales se analizaron de manera ininterrumpida por un periodo de tiempo de 170 días (24 semanas) en el laboratorio de investigación de la UDLA, en la sede Queri ubicada en Quito-Ecuador. Para el estudio de efectividad microbiológica se seleccionaron aleatoriamente 3 filtros de agua de cerámica negra cada dos meses, provenientes de Santa Marianita. Un total de 9 piezas de cerámica a lo largo del seguimiento, por un periodo de tiempo de 203 días (29 semanas).

### **4.3 Descripción de materiales y métodos**

#### **4.3.1 Microorganismos modelos**

Para el estudio de comparación de los filtros de agua de cerámica negra, se usaron microorganismos modelo no patógenos para controlar las concentraciones y evitar riesgos para la salud. Estos fueron el bacteriófago MS2 y la cepa de *Escherichia coli* ATCC 25922.

### *Escherichia coli* ATCC 25922

La cepa de *Escherichia coli* ATCC 25922 usada como modelo de bacteria, se obtuvo gracias a la concesión de la Dra. Maira Rojas, quien lidera los laboratorios docentes de la UDLA. Fue aislada por medio de la técnica de extensión en placa, en un agar de cultivo: Chromocult Coliform Agar Merck 118441. La cepa fue puesta a crecer en un rango de temperatura de  $37 \pm 1.2$  °C, por un periodo de tiempo de 24 horas. Tras haber finalizado el crecimiento, fueron formulados 50 ml del medio TGYB (Tryptona-Extracto de levadura) en el interior de un matraz Erlenmeyer de 300 ml, adicionado con 500  $\mu$ l de Calcium glucosa, que actuó como fuente de carbono. Se eligieron colonias de la cepa *Escherichia coli* ATCC 25922, que fueron depositadas en el volumen de medio de cultivo previamente desarrollado. El matraz que contuvo el cultivo se incubo al rango de temperatura antes mencionado por un periodo de tiempo de 6 horas a 180 rpm. Posterior a esto, el medio se depositó en un tubo falcon de 50 ml, al cual se le agrego un volumen de 10 ml de glicerol, para su conservación. Finalmente, un mililitro del medio fue alicuotado en viales de plástico que fueron almacenados a una temperatura de -80°C. Estos viales fueron empleados en los ensayos de eficacia y efectividad realizados. En la figura 9 que se muestra a continuación, se aprecia el procedimiento antes detallado:

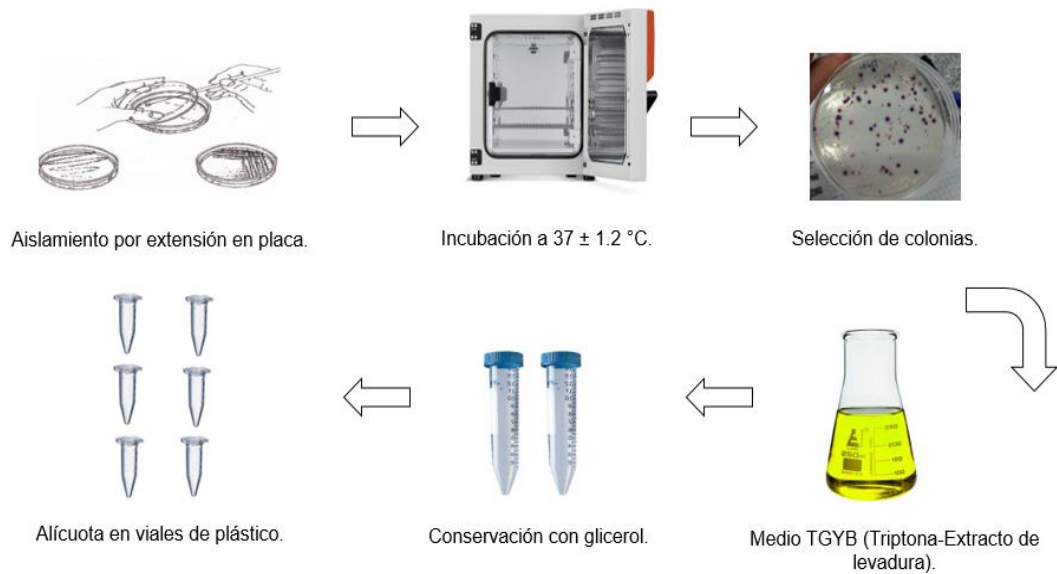
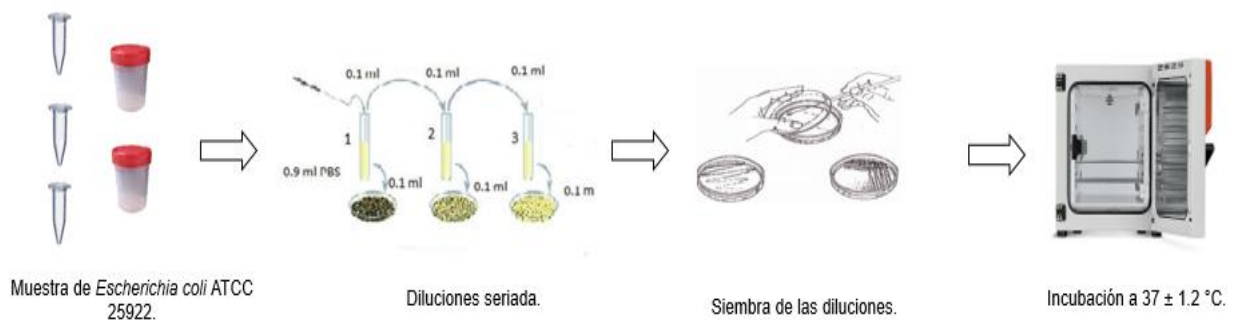


Figura 9. Preparación del stock de *Escherichia coli* ATCC 25922.

Método de titulación de *Escherichia coli* ATCC 25922: Dilución seriada

El método de dilución seriada, fue empleado cuando la concentración que se esperaba obtener en las muestras, no permitían el contaje del número total de ufc/ml. Por lo cual, las muestras fueron diluidas en tampón fosfato salino tomando en consideración la concentración que se esperaba obtener, sembrándose un volumen de 100 ul de las diluciones destinadas a su cuantificación, en un agar. Las cajas obtenidas fueron incubadas a un rango de temperatura de  $37 \pm 1.2$  °C, por un periodo de tiempo de 24 horas. Contándose el número total de colonias presentes en cada caja, para obtener el cálculo de la concentración (ufc/ml) en cada muestra. En la figura 10 que se muestra a continuación, se aprecia el procedimiento antes detallado:



*Figura 10.* Titulación de *Escherichia coli* ATCC 25922, por el método de dilución seriada.

*Método de titulación de Escherichia coli ATCC 25922: filtración por membrana*

El método de filtración por membrana fue empleado cuando la concentración que se esperaba obtener en las muestras, permitían el contaje del número total de ufc/ml. Fueron filtrados volúmenes de 100 y 10 mililitros, tomando en consideración la concentración de unidades formadoras de colonias que se esperaba obtener sea esta de 1 ml o de un rango comprendido entre 1 a 100 ml. La filtración por membrana se llevó a cabo en la trampa de filtración, conformada por una bomba generadora de vacío, un matraz kitasato, tres vasos cónicos con tapa y tres pinzas para la sujeción de estos. De manera adicional, fueron empleadas membranas de nitrocelulosa con poros de 0.45  $\mu\text{m}$  de diámetro, lámparas de alcohol, y pinzas de laboratorio. Para comenzar con la filtración, fueron conectados la trampa de filtración con la bomba de vacío y esta al matraz kitasato. La desinfección de los vasos cónicos con tapa y de las rejillas que conforman la trampa de filtración, fue realizada con alcohol al 96%. Se retiraron las pinzas de sujeción de los vasos cónicos con tapa, colocando una membrana de nitrocelulosa volviéndose a ubicar las pinzas de sujeción, tras lo cual el volumen de la muestra fue depositado en el interior de los vasos, para dar inicio a la filtración. Una vez filtrado todo el volumen, la membrana de nitrocelulosa fue recogida de las rejillas de la trampa de filtración y fue dispuesta dentro de una

caja Petri con el agar de cultivo cromogénico. En la figura 11 que se muestra a continuación, se aprecia el Sistema de filtración empleado:



*Figura 11.* Sistema de filtración por membrana.

Las cajas obtenidas fueron incubadas a un rango de temperatura de  $37 \pm 1.2$  °C, por un periodo de tiempo de 24 horas. Finalmente, se contó el número total de colonias con las siguientes características: enteras, circulares, lisas, translúcidas, poco convexas y con un color azulado, de acuerdo a la ISO 9308-1.2014. Mismas que se encontraron presentes en la membrana de nitrocelulosa de cada caja, para obtener el cálculo de la concentración (ufc/ml) en cada muestra. En la figura 12 que se muestra a continuación, se aprecia el procedimiento antes detallado:



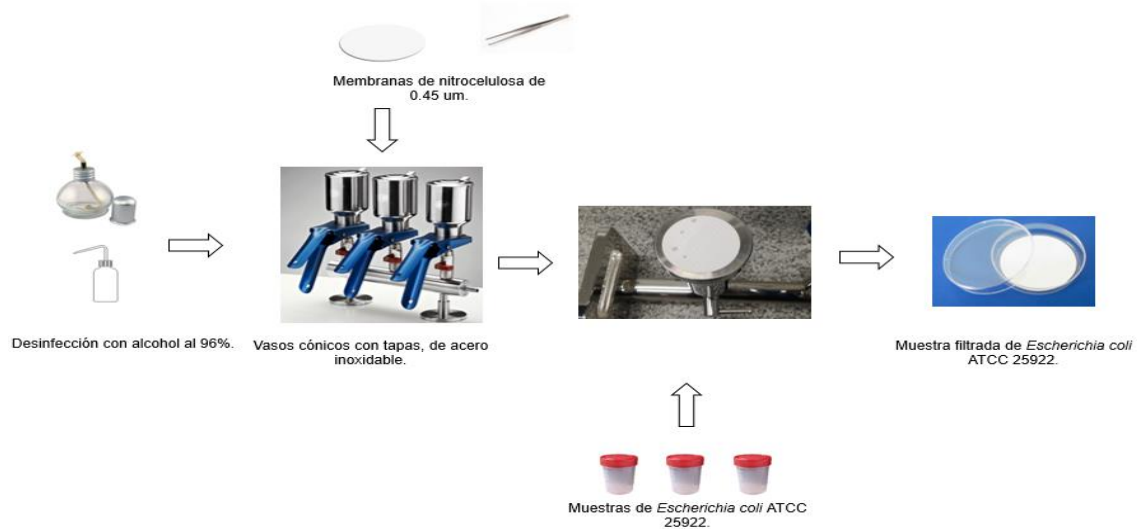


Figura 12. Titulación de *Escherichia coli* ATCC 25922, por el método de filtración por membrana.

### Bacteriófago MS2

El bacteriófago MS2 se obtuvo de parte de la Universidad de Barcelona. Este bacteriófago no posee membrana y cuenta con solo una hebra de ARN, teniendo la facultad de infectar a bacterias que puedan expresar un pili sexual. En cuanto a su tamaño y estructura, estas son semejantes a las presentes en virus entéricos, siendo capaz de sobrevivir a procesos de desinfección y tratamiento con luz solar de mejor manera que los indicadores bacterianos, a su vez posee una carga superficial negativa. Al ser los virus parásitos obligados, requieren de la infección a un hospedero que facilite su cuantificación. El bacteriófago infecta a las cepas de *Salmonella typhimurium* WG49, al ser estas capaces de expresar un pili sexual, debido a su modificación genética con el plásmido F'42 lac Tn 5 (Guerrero Latorre, 2016).

### Método de titulación

Se realizaron diluciones de la muestra en tampón fosfato salino, tomando en consideración la concentración que se esperaba obtener. De esta manera, 1 ml de las diluciones realizadas que contenían el bacteriófago MS2, se dispusieron en un frasco de vidrio estéril, junto con 1 ml de su hospedero la cepa de

*Salmonella typhimurium* WG49, que se encontraba a una OD de 0.22 nm y 3 ml de agar semisólido ssTYGA anteriormente acondicionado con Calcio glucosa y ácido Nalidíxico, según los estipulado en la ISO 10705. El colcultivo fue plaqueado en una caja Petri que contenía el medio TYGA (Triptona-Extracto de levadura-Agar) y posteriormente fue incubado a un rango de temperatura de  $37 \pm 1.2$  °C, por un periodo de tiempo de 24 horas. Contándose el número total de calvas (espacios translucidos en el agar) formadas en cada caja, para obtener el cálculo de la concentración (ufp/ml) en cada muestra. En la figura 13 que se muestra a continuación, se aprecia el procedimiento antes detallado:

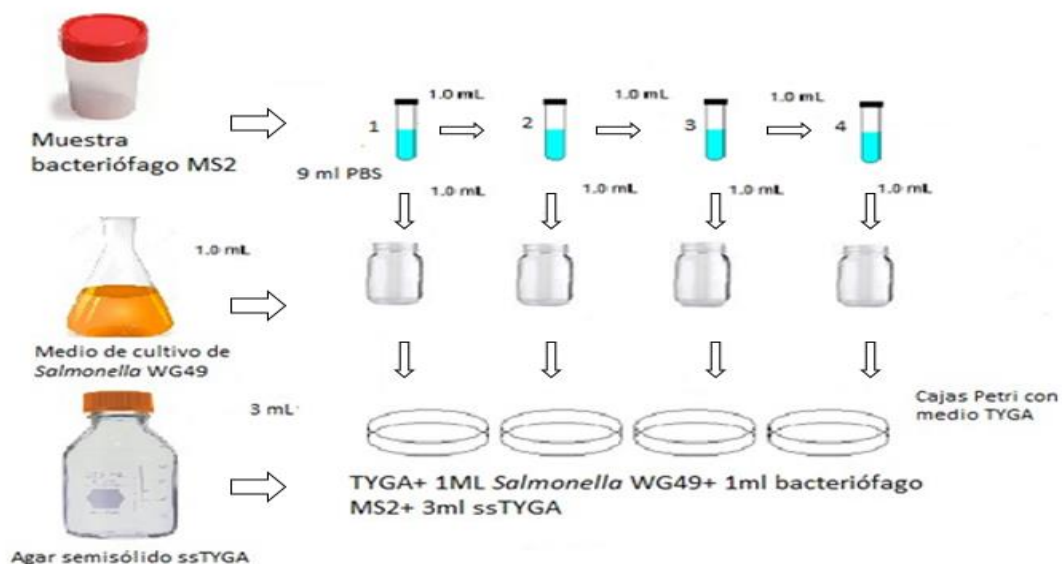


Figura 13. Titulación de la muestra para bacteriófago MS2.

#### 4.4 Producción de filtros de agua de cerámica negra

Los filtros de agua de cerámica negra, fueron manufacturados en la fábrica “Horeb agua de vida” ubicada en Pifo. Los filtros elaborados estuvieron conformados por una mezcla de 68 kilogramos de aserrín, 10 kilogramos de arcilla y 25 litros de agua, cantidades que permitieron la obtención de 16 filtros de agua de cerámica. La obtención de las piezas se dio tras un proceso de moldeado y prensado, con miras a la obtención de la forma y dimensiones características. Posteriormente, los filtros entraron en un proceso de cocción en un horno de leña construido para este propósito, dicha cocción se dio por un

periodo de 13 horas llegando hasta los 890 °C. Se debe mencionar que, a esta temperatura, el suministro de oxígeno fue retirado de la cámara de cocción con el fin de crear una atmosfera reductora necesaria para la obtención del color negro característico de estos filtros, dejándose enfriar hasta los 200 °C por un periodo de tiempo de 5 a 3 días antes de ser retirados de la cámara de cocción del horno. Una vez en el exterior, las piezas de cerámica fueron sumergidas en agua por un periodo de 3 horas con el objetivo de retirar el material que haya quedado retenido en los poros y en la superficie del filtro, antes de ser testeadas para verificar la velocidad de filtración, los filtros que filtraron entre 1,5-2 L/h fueron puestos a secar por un espacio de 7 días. Posteriormente las piezas de cerámica fueron impregnadas con 93.75 mg de nitrato de plata coloidal por cada pieza de cerámica. En la figura 14 que se muestra a continuación, se aprecia el procedimiento antes detallado:



*Figura 14.* Proceso de producción de los filtros de agua de cerámica negra.

En la figura 14 mostrada, se pueden apreciar: 1 Procesamiento de los materiales. 2 Prensado. 3 Secado. Cocción en atmosfera reductiva. 4 Limpieza poros. 5 Tratamiento con plata. 6 Filtro de cerámica negra.

## 4.5 Evaluación de eficacia microbiológica

### 4.5.1 Montaje del sistema de filtración continuo

Para la implementación del sistema de goteo continuo, se empleó 2 tanques con una capacidad de almacenamiento de 500 litros, estos fueron conectados a la red pública y suministraron agua de forma constante por medio de un sistema de mangueras, válvulas y aspersores, a los filtros apostados dentro de las instalaciones del laboratorio. A su vez se diseñó una mesa de madera con un sistema de recogida de agua, cuyas paredes fueron cubiertas de plástico para la colocación de los filtros que fueron empleados. Los aspersores conectados a las mangueras del sistema, fueron regulados semanalmente con miras a obtener un caudal de goteo de un litro por hora hacia cada filtro utilizado, lo que permitió establecer el volumen de agua filtrada por las piezas de cerámica. El agua filtrada, fue recogida para posteriormente ser desechada a la red de alcantarillado. En la figura 15 que se muestra a continuación, se aprecia el sistema antes detallado:



*Figura 15.* Sistema de filtración continuo.

#### 4.5.2 Ensayos de eficacia

Para determinar la eficacia microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra, de manera mensual los filtros fueron evaluados mediante pruebas microbiológicas a nivel de laboratorio. Para esto, se enriqueció 15 litros de agua sin cloro con concentraciones determinadas de bacteriófagos MS2 y *Escherichia coli* ATCC 25922. Dichas concentraciones fueron de  $6.24 \times 10^5$  ufp/ml para el bacteriófago MS2 y de  $8.1 \times 10^5$  ufc/ml para la *Escherichia coli* ATCC 25922. El volumen de agua fue agitado por un lapso de 15 minutos a 250 rpm, tras lo cual se tomó una muestra de agua inicial, que continuó con la repartición del volumen empleado de manera equitativa en los filtros a ser evaluados (3 filtros de agua de cerámica negra). Se debe mencionar que las piezas de cerámica se colocaron de manera individual en un receptáculo de plástico que contenía un agitador magnético. El proceso de filtración se dio por un periodo de tiempo de 3 horas, recogiendo el efluente de cada uno de los receptáculos. Las muestras de agua filtrada fueron almacenadas a 20°C. El valor de reducción logarítmica fue calculado a partir del log<sub>10</sub> de la concentración inicial y del log<sub>10</sub> de la concentración final. En la figura 16 que se muestra a continuación, se aprecia el procedimiento antes detallado:



Figura 16. Ensayo de Eficacia Microbiológica.

## 4.6 Evaluación de efectividad microbiológica

### 4.6.1 Ensayo de intervención en la comunidad de Santa Marianita

El ensayo de intervención aleatorizado y controlado de los filtros de agua de cerámica negra a escala doméstica, fue llevado a cabo en la comunidad de Santa Marianita perteneciente a la parroquia de Nanegal, los filtros de agua de cerámica negra fueron distribuidos en 19 hogares determinados. Para examinar el uso continuado de los filtros en los hogares seleccionados en el ensayo de intervención, se eligieron y visitaron al azar 3 viviendas bimensualmente por un espacio tiempo de 6 meses, que contaran con los filtros de agua de cerámica negra en la comunidad de Santa Marianita. A las cuales se les reemplazo la pieza de cerámica que fue analizada en el laboratorio, con miras a determinar la efectividad que presente el filtro de cerámica negra.

### 4.6.2 Ensayos de efectividad microbiológica

Para determinar la efectividad microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra, éstos fueron evaluados mediante pruebas microbiológicas a nivel de

laboratorio. Las pruebas microbiológicas que se realizaron, fueron las mismas que se describen en el apartado 4.5.2.

#### **4.6.3 Formulación de encuestas de seguimiento de uso**

El análisis del uso continuado de los filtros de agua de cerámica negra, en los hogares seleccionados en el ensayo de intervención, se realizó de manera bimensual. En las 9 viviendas seleccionadas al azar se aplicó un cuestionario de seguimiento de uso, que permitió el análisis de los factores de ensayo que influyeron en la variación de eficacia y efectividad microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra.

#### **4.7 Evaluación estadística de los resultados**

Los valores de reducción logarítmica, fueron obtenidos por medio de la resta del log<sub>10</sub> de la concentración final e inicial de microorganismos presentes en las muestras, *E.coli* y bacteriófago MS2.

$$\text{Valor de Reducción logarítmica} = \text{Log}(CI) - \text{Log}(CO)$$

La comparación se realizó por medio de la aplicación de la prueba estadística t-student. Se calcularon los valores de p necesarios para determinar la existencia o no de diferencias estadísticamente significativas. Los promedios, las desviaciones estándar, los valores de p y los gráficos que se usaron para mostrar los valores de reducción, se obtuvieron por el empleo del software Excel 2016.

### **5. CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSION**

#### **5.1 Stocks de Trabajo**

##### **5.1.1 *Escherichia coli* ATCC 25922**

El stock de trabajo de *Escherichia coli* ATCC 25922 que fue utilizado en los ensayos de eficacia y efectividad microbiológica, tuvo una concentración de 4.5E+08 ufc/ml. Esta se obtuvo tras incubarse por un periodo de tiempo de 7

horas y 30 minutos, momento en el cual se alcanzó una densidad óptica de 1.4 (600 nm). El volumen de agua enriquecida empleada en los análisis microbiológicos fue de 15 L. En esta cantidad se dispusieron 30 ml del stock de trabajo antes mencionado, teniendo una concentración promedio en el agua dopada de  $2.21E+05$  ufc/ml. Al esperarse una reducción logarítmica bacteriana de entre 4 a 5 log por el uso de los filtros de agua de cerámica negra, la concentración final en el agua dopada, fue considerada como adecuada (WHO, 2011). En la tabla 11 que se muestra a continuación, se aprecia las características del stock de *Escherichia coli* ATCC 25922 que fue utilizado en los ensayos de eficacia y efectividad microbiológica:

Tabla 11

*Características del stock de trabajo de Escherichia coli ATCC 25922.*

Microrganismo	Concentración	Tiempo de Incubación
<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	$4.5E+08$ ufc/ml	450 minutos
Reducción Esperada	Densidad Óptica	Concentración en el agua
4 a 5 log	1.4(600 nm).	$2.21E+05$ ufc/ml

### 5.1.2 Bacteriófago MS2

El stock de trabajo del bacteriófago MS2 que fue utilizado en los ensayos de eficacia y efectividad microbiológica, tuvo una concentración de  $2.08E+10$  ufp/ml. El volumen de agua enriquecida empleada en los análisis microbiológicos fue de 15 L. En esta cantidad se dispusieron 3 ml del stock de trabajo antes mencionado, teniendo una concentración promedio en el agua dopada de  $4.24E+04$  ufp/ml.

Al esperarse una reducción logarítmica viral de entre 2 a 3 log por el uso de los filtros de agua de cerámica negra, la concentración final en el agua dopada fue considerada como adecuada. En la tabla 12 que se muestra a continuación, se aprecia las características del stock de Bacteriófago MS2 que fue utilizado en los ensayos de eficacia y efectividad microbiológica.



Tabla 12

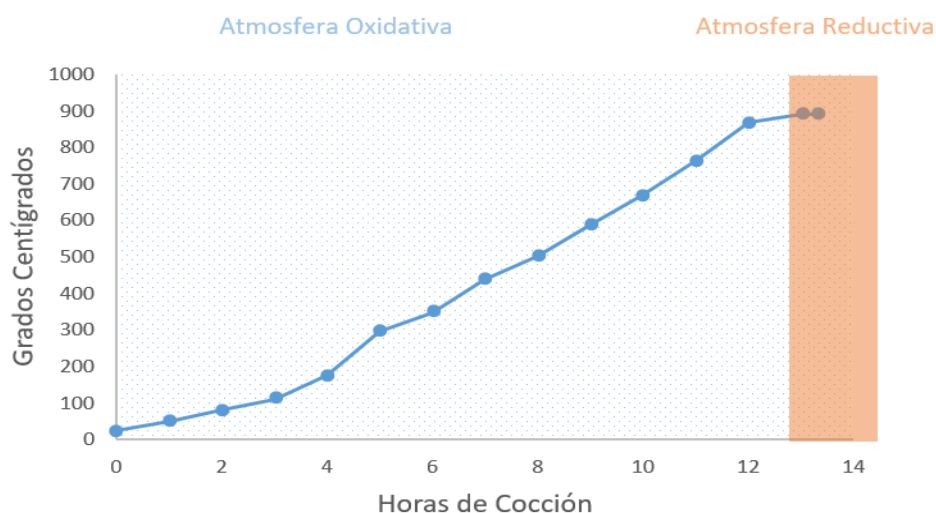
*Características del stock de trabajo de bacteriófago MS2.*

Microrganismo	Concentración
Bacteriófago MS2	2.08E+10 ufp/ml
Reducción Esperada	Concentración en el agua
2 a 3 log	4.24E+04 ufp/ml

## 5.2 Producción de filtros de agua de cerámica negra

El 15 de septiembre de 2017 fueron elaborados un total de 30 filtros de agua de cerámica negra. Estos se manufacturaron en la fábrica "Horeb agua de vida".

La mezcla base para la producción de los filtros se compuso de: 10 Kilogramos de Aserrín, 68 Kilogramos de Arcilla y 25 Litros de Agua. Estas cantidades permitieron la obtención de 16 piezas de cerámica. Se debe esclarecer que cada pieza producida, estuvo conformada por 4.25 kilogramos de arcilla además de 0.625 kilogramos de aserrín y 1.5 litros de agua, contando con un peso total de 6.375 kilogramos. Después de un secado óptimo, el proceso de cocción de los filtros en el horno previamente elaborado, tomo un tiempo de 13 horas con 30 minutos y alcanzó los 890°C, como se muestra la figura 17:



*Figura 17. Curva de cocción de los filtros de agua de cerámica negra*

A esta temperatura fueron cerradas las chimeneas y la boca del horno, con el objetivo de retirar el oxígeno presente y favorecer la formación de una atmósfera reductiva necesaria para la obtención de la cerámica negra, provocando la carbonización de las piezas de cerámica situadas dentro del horno. La madera añadida tras haber alcanzado los 890 °C, libera monóxido de carbono que se adhiere a las superficies del filtro, de esta manera el óxido férrico presente en la arcilla se transforma en óxido ferroso. El efecto visual que posee la atmósfera reductiva, es el cambio de color en la pared de la pieza de cerámica, que varía de un color marrón-rojizo a un color gris oscuro. Tras la finalización del proceso de cocción, se observó una buena carbonización de las piezas para la obtención de la cerámica negra. El tiempo de enfriamiento del horno antes de la apertura del mismo, tomó 72 horas. Se esperó a la que la temperatura descienda a los 200°C. Acto seguido, se realizó una prueba de control de calidad de las piezas de cerámica, que fueron sumergidas en agua por un periodo de 3 horas.

Con la intención de retirar el material que pudiese haber quedado remanente en los poros y valorar el caudal de filtración. El caudal medido se ubicó en un rango comprendido entre 1.5 h/L a 2.5L/h, esta velocidad de flujo filtrante se encuentra dentro de los valores esperados que son 1 h/L a 2 h/L (PFP, 2011). Para finalizar, a cada pieza cerámica se la trato con una solución de nitrato de plata coloidal que facilita en gran medida la eficacia microbiológica del filtro. Cada filtro de agua de cerámica negra conto con 93.75 mg de la solución.

### **5.3 Eficacia microbiológica**

Los ensayos de eficacia microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra, se realizaron por triplicado de manera mensual para la *Escherichia coli* y el Bacteriófago MS2. Fueron alcanzados los 4802 litros de filtración por el uso continuado de las piezas de cerámica, dispuestas en el sistema de filtración continuo. En la tabla 13 que se muestra a continuación se pueden visualizar: Las Unidades de filtración analizadas, el número de ensayos realizados, la concentración en el agua dopada de los dos microorganismos, la concentración

en el agua filtrada de los dos microorganismos, los valores de reducción logarítmica (LRV).

Tabla 13

*Valores de Reducción Logarítmica, para MS2 y Escherichia coli, en los ensayos de eficacia microbiológica*

L	Filtro	Microorganismo							
		<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922				Bacteriófago MS2			
		Input ufc/ml	Output ufc/ml	LRV	LRV promed Desvest	Input ufp/ml	Output (ufp/ml)	LRV	LRV promed Desvest
342	I	1.25E+05	0.02	6.80	6.84 (0.24)	1.77E+05	5.20E+03	1.53	1.33 (0.22)
	II		0.03	6.62			1.45E+04	1.09	
	III		0.01	7.10			7.30E+03	1.38	
1000	I	1.95E+05	2.2	4.95	5.63 (0.86)	1.70E+04	8.00E+01	2.33	2.6 (0.31)
	II		0.9	5.34			2.00E+01	2.93	
	III		0.05	6.59			5.00E+01	2.53	
1365	I	3.32E+05	13.1	4.40	5.53 (1.14)	1.59E+04	1.50E+02	2.02	2.02 (0.10)
	II		1	5.52			1.90E+02	1.92	
	III		0.07	6.68			1.20E+02	2.12	
1745	I	3.51E+05	10	4.55	4.74 (0.78)	1.33E+04	1.80E+02	1.87	1.87 (0.19)
	II		30	4.07			2.80E+02	1.68	
	III		0.36	5.59			1.20E+02	2.05	
2345	I	1.36E+05	90	3.18	3.44 (0.27)	1.89E+04	1.75E+02	2.13	2.33 (0.38)
	II		50	3.43			1.50E+02	2.10	
	III		25.7	3.72			3.20E+01	2.77	
3375	I	1.53E+05	7.7	4.30	3.79 (0.78)	8.53E+03	2.00E+01	2.63	2.53 (0.26)
	II		195	2.89			5.00E+01	2.23	
	III		10	4.18			1.60E+01	2.73	
3998	I	2.12E+05	10	4.33	4.31 (0.04)	7.60E+03	2.30E+02	1.52	1.56 (0.11)
	II		11.4	4.27			2.50E+02	1.48	
	III		9.7	4.34			1.60E+02	1.68	
4802	I	2.61E+05	50	3.72	3.88 (0.21)	8.10E+04	8.90E+03	0.96	0.93 (0.07)
	II		20	4.12			1.15E+04	0.85	
	III		40	3.81			8.40E+03	0.98	
		2.21E+05		Promedio	4.77	4.24E+04		Promedio	1.90
				DesVest	1.15			DesVest	0.59

Las concentraciones en el agua dopada tanto para la *Escherichia coli* como del Bacteriófago MS2, fueron de  $2.21E+05$  ufc/ml y  $4.24E+04$  ufp/ml respectivamente. Los valores promedios de reducción fueron de 4.77 log con una desviación estándar de 1.15 para el primer microorganismo y de 1.9 log con una desviación estándar de 0.59 para el segundo microorganismo.

En la figura 18 que se muestra a continuación, se puede apreciar la tendencia que toman los valores de reducción logarítmica a lo largo de los 4802 litros de agua filtrada por las piezas de cerámica. Se aprecia una caída en el tiempo de los LRV, a medida que aumenta el volumen de agua filtrada por las piezas de cerámica.

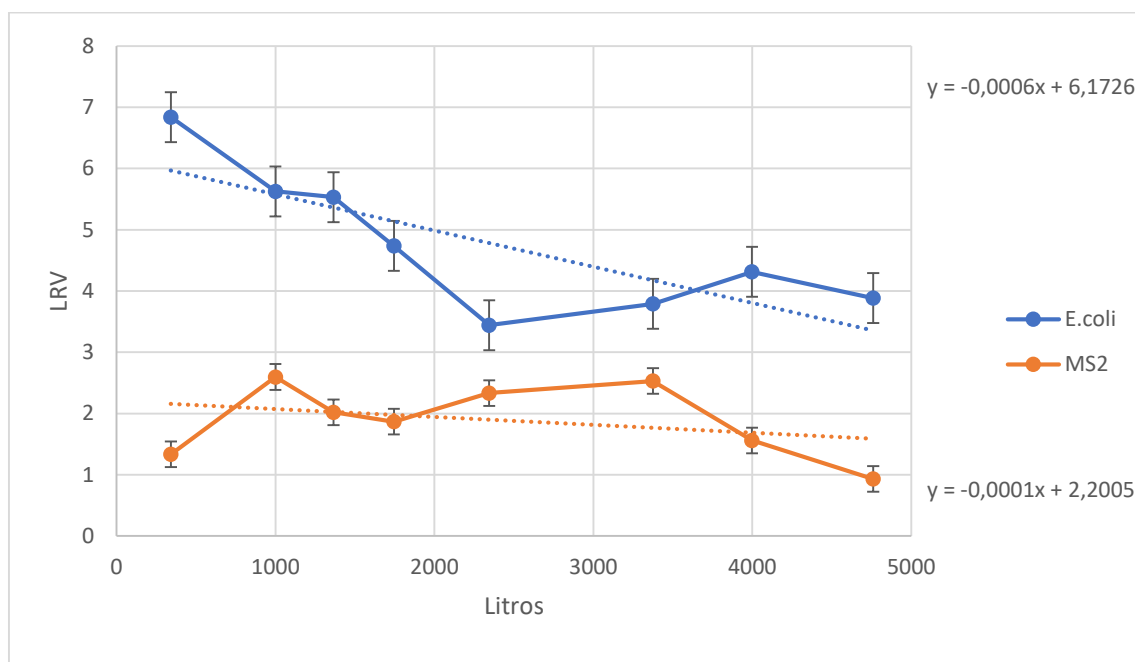


Figura 18. Valores de reducción logarítmica vs litros filtrados para *E. coli* y MS2, en los ensayos de eficacia microbiológica.

Se puede observar a la par las ecuaciones de los gráficos provenientes de las líneas de tendencia derivadas de los valores de reducción logarítmica. Estas ecuaciones permiten establecer el tiempo de uso de los filtros de agua, hasta superar los límites de reducción aceptados por la OMS.

*Ecuación 1* :  $Log = -0.0006 L + 6.1726$  (*E.coli*).

*Ecuación 2*:  $Log = -0.0001 L + 2.2005$  (MS2).

Partiendo del volumen estimado de agua filtrada por las piezas de cerámica, que puede ser observado en la tabla 14. Si se desea mantener valores de eficacia protectores para la *e.coli*, que no desciendan de los 2 log. El tiempo de uso de los filtros no debe exceder los 276 días de empleo, lo que se traduce en un volumen máximo de 7242 litros de agua a ser filtrada por las piezas de cerámica. Durante este periodo de tiempo, el filtro presenta un valor de reducción altamente protector que no desciende de los 4 log, hasta los 138 días de uso.

Tomando en consideración los parámetros establecidos por la OMS, acerca de la clasificación de las tecnologías de tratamiento de agua domiciliar y almacenamiento seguro. Los filtros de agua de cerámica son altamente protectores al presentar un valor de reducción máxima para bacterias de 6.84 log. Se debe recordar que el parámetro para otorgar esta denominación se basa en la superación de los 4 log de eficacia microbiológica, para este tipo de microorganismos (WHO, 2011). Este valor de reducción (6.84 log) puede ser comparado con el obtenido en el estudio realizado en 2007, cuyo valor de reducción logarítmica fue de 6.55 log, con un tiempo de análisis de 12 semanas (Van Halem et al., 2007). Además se cuenta con el estudio de 2010 realizado por Brown & Sobsey, en donde se analizó la reducción de *E.coli* CN13. Tras un volumen de filtración de 600 litros por parte de las piezas de cerámica, el valor de reducción obtenido fluctuó entre 2.2 a 2.3 log (Brown & Sobsey, 2010). Por último, se menciona el estudio de 2016 realizado por Pérez-Vidal et al, en el cual

el LRV obtenido fue de 4 log para la *E.coli* ATCC 95922, es importante señalar que los filtros fueron empleados a diario, por un espacio de 255 días (Pérez-Vidal et al., 2016). Ningún otro estudio ha mostrado un valor de reducción logarítmica para bacterias tan alto (6.84 log) como el que se presenta en este estudio comparativo.

En cuanto a la reducción viral, los filtros de agua de cerámica no pueden ser catalogados como un tratamiento protector. Al presentar un LRV máximo de 2.6 log, que no supera los 3 log de reducción microbiológica, necesarios para ser consideradas como tecnologías protectoras. Sin embargo, a pesar de no cumplir con los valores de protección establecidos por la OMS, el filtro de agua de cerámica negra supera el promedio de remoción viral descrito para esta tecnología, ubicado en 1 log de reducción microbiológica (WHO, 2011). Este valor de reducción (2.6 log) puede ser comparado con el obtenido en el estudio realizado en 2007, cuyo valor de reducción logarítmica fue de 1.24 log, con un tiempo de análisis de 12 semanas (Van Halem et al., 2007). Otro análisis a nombrar, es el realizado en 2010 por Brown & Sobsey en donde el valores de reducción viral se encontraron en el rango entre 1.3 -1.4 log, tras 600 litros de agua filtrada (Brown & Sobsey, 2010).

El valor de reducción (2.6 log), no se equipará al recogido en filtros de agua modificados con oxihidróxido de magnesio, que arrojaron un LRV de 4 log para los bacteriófagos MS2 y PhiX174 (Michen et al., 2013). Se debe mencionar a la par el estudio realizado con filtros de agua de cerámica negra, que tras haber filtrado un volumen de 1000 litros, obtuvieron valores de reducción entre 2.5 a 4 log para virus (HAdV y Bacteriófago MS2) (Guerrero-Latorre et al., 2015). Exceptuando los dos últimos estudios mostrados, ningún otro ha presentado un valor de reducción logarítmica viral tan alto (2.6 Log) como el que se presenta en este estudio comparativo. La tabla 14 que se muestra a continuación, presenta un resumen de las eficacias microbiológicas de los filtros de agua de cerámica:

Tabla 14

*Eficacias de la desinfección de microorganismos para los Filtros de agua de cerámica.*

Microorganismo	LRV	Matriz	Referencia
<i>Escherichia coli</i>	6.55	Agua de Canal	(Van Halem et al., 2007).
	2.2-2.3	Agua de Lluvia	(Brown & Sobsey, 2010).
	4	Agua Enriquecida	(Pérez-Vidal et al., 2016).
MS2	1.24	Agua de Canal	(Van Halem et al., 2007).
	1.3-1.4	Agua de Lluvia	(Brown & Sobsey, 2010).
	4	Agua Desionizada	(Michen et al., 2013).
	2.5	Agua Enriquecida	(Guerrero-Latorre et al., 2015).

La diferencia entre los valores de reducción logarítmica de los microorganismos reportados en este estudio de comparación y los diversos análisis mostrados con anterioridad, se deriva de las características de la cerámica negra y la cocción en un horno de atmosfera reductiva. Los virus presentan cierta adhesión a diversas partículas y superficies con cargas positivas, especialmente óxidos de metales y medios cargados positivamente en el medio ambiente, como lo son las arcillas ricas en óxidos de hierro (Guerrero-Latorre et al., 2015). El óxido férrico presente en la arcilla se transforma en óxido ferroso, como consecuencia del proceso de cocción. Este a la par, provoca un cambio del punto isoeléctrico en carga positiva a pH 7, lo que desemboca que este tipo de cerámica presente una mayor capacidad de absorción viral. Tomando en consideración que la mayoría de los virus entéricos tienen una carga superficial neta negativa (Michen, Fritsch, Aneziris, & Graule, 2013).

A esto se suma el cambio en el área superficial de los filtros de agua de cerámica negra, tras la cocción en atmosfera reductiva estos poseen mayores áreas

superficiales, con un valor promedio de  $6.65 \text{ m}^2/g$ , lo que se contrapone con los filtros que no fueron cocidos con este tipo de atmosfera, con una superficie media de  $2,41 \text{ m}^2/g$ . De esta manera, el agua para salir del interior de la pieza de cerámica, debe recorrer una distancia mayor durante el proceso de filtración (Guerrero-Latorre et al., 2015). Lo que influye en la cantidad de tiempo de contacto del agua con la plata coloidal (Ehdaie et al., 2017).

Se ha estimado que el agua llega a permanecer en los poros del filtro por un periodo de 50 minutos, en el cual y tomando en consideración el espesor de plata coloidal, brindaría el tiempo suficiente de contacto con el coloide con miras garantizar la eliminación microbiológica del filtro (Fahlin, 2003). Con respecto al estudio de Michen et al que presenta un LRV de 4 log, es importante remarcar que los filtros de agua de cerámica que se utilizaron en dicho analisis, presentaron una variación significativa en la eficacia de eliminación viral a lo largo del tiempo de estudio, mostrando valores de reducción menores a la unidad tras 300 litros de agua filtrada. Dicha variación, se especula que se encontró ligada a los cambios transformacionales que sufrió el oxihidróxido de magnesio en su contacto con el agua (Michen et al., 2013). Por otro lado, los valores de reducción logarítmica muestran una tendencia descendente, durante el transcurso de los ensayos microbiológicos. Con un valor mínimo de 2.89 log de reducción bacteriana y 0.85 log para la reducción viral, y valores promedio de 4.77 log de reducción bacteriana y 1.9 log para la reducción viral.

El descenso en la eficacia microbiológica que presenta el filtro de agua de cerámica negra puede ser atribuido a la formación de un biofilm en la superficie externa de la pieza de cerámica, ligada a la concentración de *E.coli* ATCC 25922 empleada en el enriquecimiento del agua a ser filtrada en los análisis microbiológicos. La concentración promedio en el agua dopada fue de  $2.21\text{E}+05$  ufc/ml, que excede en demasía a las concentraciones halladas en aguas sumamente contaminadas. Esta elevada presencia bacteriana pudiese ser la causante del taponamiento de los poros presentes en el dispositivo cerámico,



dificultando de esta manera la retención de microorganismos. Al tomar en cuenta la concentración de *E.coli* presente en el agua y su consideración sobre el riesgo para los sistemas de agua domésticos, el efluente proveniente del proceso de filtración, mostraría un muy alto riesgo en la presencia de esta bacteria , al mostrar una concentración mayor a las 100 ufc/ml (Gorchev & Ozolins, 2011).

Sumando a lo anterior, otro aspecto a señalar se enmarca en el hecho de que, si bien los filtros de agua de cerámica son considerados como tecnologías seguras y apropiadas, existe un consenso general sobre el flujo filtrante y su disminución debido a la obstrucción de la pieza de cerámica (van Halem, van der Laan, Soppe, & Heijman, 2017). El caudal medido en los filtros de cerámica negra, se ubicó en un rango comprendido entre 1.5 h/L a 2.5L/h, esta velocidad de flujo filtrante se encuentra dentro de los valores esperados que son 1 h/L a 2 h/L (PFP, 2011). La velocidad de flujo filtrante y el grado de obstrucción de los poros depende de la calidad de la fuente de agua empleada y de la cantidad de partículas suspendidas. Un estudio realizado en 2017 por Van Halem et al, mostro que la velocidad de flujo puede aumentar con un mayor contenido de materia orgánica, por lo que se manufacturaron filtros de agua de cerámica que presentaron una mayor tasa de flujo filtrante, en un rango comprendido entre 6 h/L a 19 L/h. Los análisis realizados mostraron que si bien los valores de reducción logarítmica para *E.coli* de este tipo de filtros eran levemente más bajos que para los filtros con una tasa de flujo regular (1 h/L a 2 h/L.), esta diferencia fue solo temporal, ya que un mayor flujo filtrante mostro un efecto positivo en los LRV de *E.coli*.

Sin embargo, ninguno de los filtros testeados en este análisis supero los estándares de calidad dictados por la OMS, al presentar valores de reducción de 2 logaritmos para la bacteria y de un rango entre 0.1 a 1.5 para el bacteriófago MS2, menores a los presentados en este estudio de comparación. Por lo que se especula que la eliminación física de contaminantes por exclusión de tamaño, es

el mecanismo principal para la eliminación de microorganismos en los filtros de agua de cerámica (van Halem et al., 2017).

#### 5.4 Efectividad microbiológica

Los ensayos de efectividad microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra en la comunidad de Santa Marianita, se realizaron por triplicado de manera bimensual para la *Escherichia coli* ATCC 25922 y el Bacteriófago MS2. Las piezas de cerámica testeadas, fueron distribuidas en la comunidad de Santa Marianita y empleadas por un periodo de 203 días. En la tabla 16 en la sección de Anexos, se aprecia las unidades seleccionadas de manera aleatoria, a los 2,4 y 6 meses de uso por parte de la comunidad. A la par se pueden visualizar: El número de ensayos realizados, la concentración en el agua dopada de los dos microorganismos, la concentración en el agua filtrada de los dos microorganismos y los valores de reducción logarítmica (LRV):

Las concentraciones en el agua dopada tanto para la *Escherichia coli* como el Bacteriófago MS2, fueron de  $2.29 \times 10^5$  ufc/ml y  $1.64 \times 10^5$  ufp/ml respectivamente. Los valores promedios de reducción fueron de 4.84 log con una desviación estándar de 0.71 para el primer microorganismo y de 2.02 log con una desviación estándar de 0.49 para el segundo microorganismo.

En la figura 18 que se muestra a continuación, se puede apreciar la tendencia que toman los valores de reducción logarítmica a lo largo de las 29 semanas de uso de las piezas de cerámica. Se aprecia una caída en el tiempo de los LRV, a medida que aumenta el tiempo de empleo.

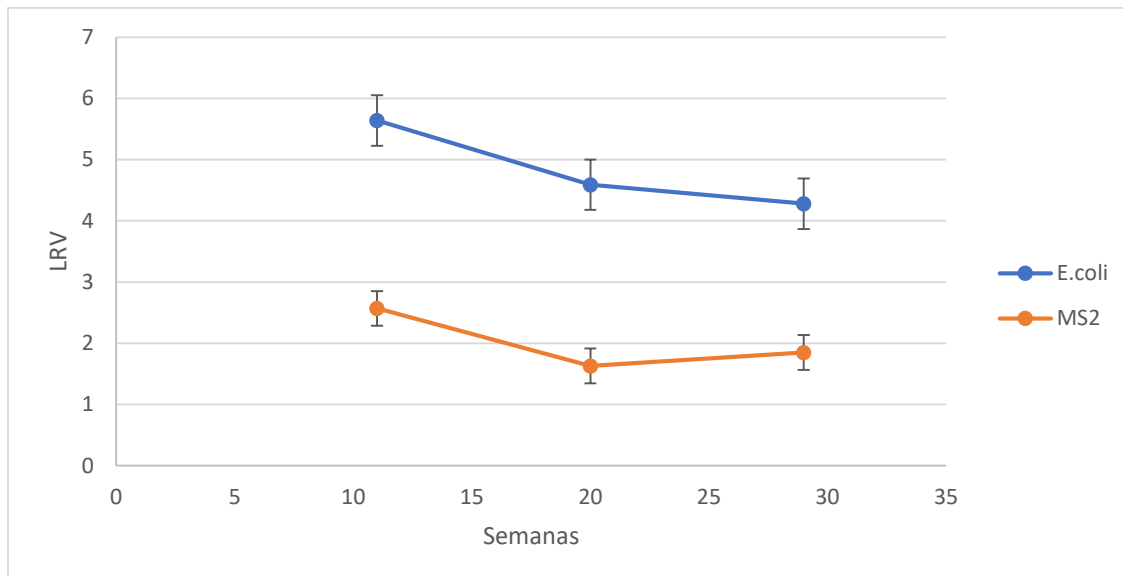


Figura 18. Valor de reducción logarítmica para *Escherichia coli* y el bacteriófago MS2, en los ensayos de efectividad microbiológica.

Tomando en cuenta los lineamientos establecidos por la OMS, los filtros de agua de cerámica negra son altamente protectores al presentar un LRV promedio para bacterias de 4.84 log. El parámetro para otorgar esta denominación se basa en la superación de los 4 log de reducción microbiológica. En cuanto a la reducción viral, los filtros de agua de cerámica no pueden ser catalogados como un tratamiento protector. Al presentar un LRV promedio de 2.02 log, que no supera los 3 log de reducción microbiológica, necesarios para ser consideradas como tecnologías protectoras. Sin embargo, a pesar de no cumplir con los valores de protección establecidos por la OMS, el filtro de agua de cerámica negra supera el promedio de remoción viral descrito para esta tecnología, ubicado en 1 log de reducción microbiológica (WHO, 2011).

#### 5.4.1 Uso continuado de los filtros en la comunidad

En los ensayos de efectividad microbiológica realizados en la comunidad de Santa Marianita. Fue valorado el uso continuado de las piezas de cerámica, con miras a observar el manejo dado hacia los filtros, por parte de la comunidad. En la tabla 17 que se muestra en el anexo 3 se observa: El uso brindado hacia los filtros por parte de los pobladores de Santa Marinita, la frecuencia y la calidad de uso, el manteniendo de las piezas de cerámica, la concentración de *E.coli*, presente antes y después de ser aplicada la filtración y los valores de efectividad microbiológica. En la tabla 18 ubicada en el anexo 4, se puede visualizar de forma global, las unidades de filtración analizadas, el uso de las piezas de cerámica, el lavado y la preferencia o no de la filtración como medio para tratar el agua. Por otra parte, en el apartado Anexo 2 se puede apreciar la encuesta formulada a las familias de la comunidad de Santa Marianita, a quienes se les cambio la pieza de cerámica.

En función del mantenimiento y utilización dado a los filtros de agua de cerámica en la comunidad, tras los dos primeros meses de empleo se puede observar que, dos piezas de cerámica recogidas muestran un uso adecuado y continuado, en contraposición a la pieza restante que muestra un uso intermitente e intermedio. A su vez, en las tres muestras de agua sin filtrar provenientes de los filtros antes mencionados, se visualiza un nivel de riesgo alto por la presencia de *E.coli*. Que disminuye en una ocasión a un nivel de riesgo bajo en la muestra filtrada y en las restantes decrece a un nivel de riesgo intermedio. Tras cuatro meses de empleo se puede observar que, dos piezas de cerámica recogidas muestran un uso adecuado y continuado, en contraposición a la pieza restante que muestra un uso intermitente e intermedio. A su vez, en las tres muestras de agua sin filtrar provenientes de las piezas antes mencionadas, se visualiza un nivel de riesgo alto por la presencia de *E.coli*. Este nivel disminuye en una ocasión a un riesgo bajo, en otra decrece a un nivel de riesgo intermedio y en la restante no llega a reducirse. Tras seis meses de empleo se puede observar que, las tres piezas de cerámica recogidas muestran un uso adecuado y continuado. A su vez, en las

tres muestras de agua sin filtrar provenientes de los filtros antes mencionados, se visualiza un nivel de riesgo alto por la presencia de *E.coli*. Que disminuye a un nivel de riesgo intermedio en las tres muestras filtradas. De esta manera 7 de las 9 piezas de cerámica recogidas para los ensayos de efectividad, mostraron un uso continuado y adecuado, 1 mostro un uso intermitente e intermedio y la restante un uso discontinuado e inadecuado. A su vez, en las 9 muestras de agua sin filtrar provenientes de los dispositivos cerámicos antes mencionados, se visualiza un nivel de riesgo alto por la presencia de *E.coli*. Que disminuye en siete ocasiones a un nivel de riesgo intermedio en la muestra filtrada, decrece en una ocasión a un nivel de riesgo bajo y en la restante no disminuye en lo absoluto. Por lo anterior se infiere que el uso adecuado o no de las piezas de cerámica, no muestra injerencia en el nivel de riesgo microbiológico presente en el agua que se consume en la comunidad.

Con respecto a la única muestra de agua filtrada que denota un nivel de riesgo alto por la presencia de *E.coli*, las encuestas de uso y mantenimiento de los filtros en la comunidad señalan que la pieza de cerámica de la cual proviene la muestra filtrada dejó de ser empleada en la última semana de seguimiento de su uso, previo a la recolección del filtro para su análisis microbiológico. Lo que pudo permitir la proliferación de unidades formadoras de colonias de *E.coli*, situadas en el grifo de paso de la cual fueron recolectadas las muestras de agua filtrada. Por lo que se especula que la diferencia en el nivel de riesgo por la presencia de *E.coli* encontrada, proviene del desuso y del precario mantenimiento brindado hacia la pieza de cerámica.

### **5.5 Comparación de Eficacia y Efectividad microbiológica**

Para desarrollar la comparación entre los valores de reducción logarítmica obtenidos en los ensayos de eficacia y efectividad microbiológicas, fue realizada una estimación acerca del volumen de litros filtrados por las piezas de cerámica en la comunidad de Santa Marianita. Para esto se consideró la capacidad de almacenamiento del filtro, que fue asociada con el consumo de agua promedio

diario de una familia (10 litros) y el tiempo de duración del ensayo de intervención. De esta manera, fueron tomados los LRV de eficacia microbiológica correspondientes al volumen estimado de uso en la comunidad. Los meses de los cuales se extrae la información, corresponden al segundo, cuarto y sexto mes de uso de las piezas de cerámica, dispuestas en el sistema de filtración continuo. En la tabla 15 que se muestra a continuación, se observan los valores de reducción microbiológica antes mencionados y el valor de p proveniente de la aplicación de la prueba estadística t-student:

Tabla 15

*Análisis estadístico de comparación de eficacia y efectividad microbiológica.*

Tiempo (Meses)	Eficacia Microbiológica		Efectividad Microbiológica		Prueba t-student Valor p	
	<i>E.coli</i>	MS2	<i>E.coli</i>	MS2	<i>E.coli</i>	MS2
2	6.8	1.53	6.35	3.1	0.06	0.03
	6.62	1.09	4.79	1.96		
	7.1	1.38	5.77	2.65		
4	4.55	1.87	4.31	1.23	0.8	0.6
	4.07	1.68	4.29	1.22		
	5.59	2.05	5.18	2.44		
6	3.72	0.96	3.94	1.04	0.13	0.25
	4.12	0.85	4.49	1.56		
	3.81	0.98	4.42	2.96		

Los valores de p provenientes de la prueba t-student, muestran que no existe diferencias estadísticamente significativas con un 95% de confianza, entre los valores de reducción logarítmica obtenidos de los ensayos de eficacia y efectividad microbiológica. Con excepción de los valores que se muestran para la reducción del bacteriófago MS2, correspondientes al segundo mes de empleo de las piezas de cerámica.

Esta diferencia pudiese derivarse de una sobrestimación del uso brindado hacia las piezas de cerámica en la comunidad, es necesario mencionar que la

estimación llevada a cabo considero un consumo de un volumen de 10 litros de agua diarios por día. Las encuestas de uso y mantenimiento de los filtros en la comunidad, señalan que el tiempo de añadido de agua en el interior de dos de las piezas de cerámica recolectadas, se situaban en un rango comprendido entre las 12 y las 24 horas, el filtro restante presentaba un uso discontinuado. Esto permite inferir que las piezas de cerámica no se encontraban siendo empleadas, durante este periodo de tiempo. Siendo esta la causa de la sobreestimación del uso de los filtros.

## **6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 Conclusiones**

De acuerdo con los parámetros establecidos por la OMS, los filtros de cerámica negra alcanzan la denominación de tratamientos altamente protectores para bacterias, Sin embargo, estos no alcanzan la denominación de ser tratamientos protectores. a pesar de no cumplir con los valores de protección estimados, el filtro supera el promedio de remoción viral descrito para esta tecnología, ubicado en 1 log.

Los valores de reducción logarítmica que se han obtenido, indican que no existen diferencias estadísticamente significativas con un 95% de confianza, en los ensayos de eficacia y efectividad microbiológicas. Con excepción de los valores de reducción de MS2 en el segundo mes de empleo de los filtros. Diferencia asociada a la sobreestimación durante este periodo de tiempo, el uso brindado por la comunidad a las piezas de cerámica distribuidas.

El prototipo de filtro cerámico aquí presentado, es el primero que muestra valores de reducción viral sostenidos en el tiempo. Mayores a los promedios de reducción reportados en estudio previos, destinados a la valoración de eficiencia microbiológica.

### **6.2 Recomendaciones**

Asumiendo un promedio de consumo de 10 litros al día, los filtros de agua de cerámica negra deben ser empleados por un espacio de tiempo de 276 días. Al presentar durante este periodo valores protectores de eficacia microbiológica, se incluye 138 días en los cuales el filtro presenta una eficacia altamente protectora.



Con miras a evitar el crecimiento del biofilm sobre la superficie exterior de la pieza de cerámica, se propone estudiar el incremento de la concentración de plata coloidal empleada en el pretratamiento de los filtros, o su inclusión como parte de los materiales usados en el proceso de elaboración. Para lo cual se han de realizar análisis con diferentes concentraciones de este coloide.

Se debería continuar con el estudio de los mecanismos de efectividad del dispositivo cerámico, para lo cual se considera una ampliación del tiempo de carbonización de las piezas de cerámica en el horno de cocción y mayores estudios acerca del potencial z y superficie interna.

Para evitar la contaminación del recipiente receptor y el grifo de paso de agua en la unidad de filtración, se debería realizar una limpieza y mantenimiento asiduos del dispositivo cerámico, que permitan la sostenibilidad del tratamiento de filtración.

## REFERENCIAS

- Abebe, L. S., Su, Y. H., Guerrant, R. L., Swami, N. S., & Smith, J. A. (2015). *Point-of-Use Removal of Cryptosporidium parvum from Water: Independent Effects of Disinfection by Silver Nanoparticles and Silver Ions and by Physical Filtration in Ceramic Porous Media. Environmental Science and Technology, 49(21), 12958–12967.* Recuperado el 01 de Abril del 2018 de <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02183>
- Aboubaker, S. (2013). *The Integrated Global Action Plan for the Prevention and Control of Pneumonia and Diarrhoea Outline of Presentation Introduction. Ending Preventable Child Deaths from Pneumonia and Diarrhoea by 2025, (April).* Recuperado el 23 de Abril del 2018 de [http://www.who.int/maternal\\_child\\_adolescent/documents/global\\_action\\_plan\\_pneumonia\\_diarrhoea/en/](http://www.who.int/maternal_child_adolescent/documents/global_action_plan_pneumonia_diarrhoea/en/)
- Agrawal, V. K., & Bhalwar, R. (2009). *Household water purification: Low-cost interventions. Medical Journal Armed Forces India, 65(3), 260–263.* Recuperado el 30 de Mayo del 2018 de [https://doi.org/10.1016/S0377-1237\(09\)80019-1](https://doi.org/10.1016/S0377-1237(09)80019-1)
- Albert, J., Luoto, J., & Levine, D. (2010). *End-user preferences for and performance of competing POU water treatment technologies among the rural poor of Kenya* Albert, J., Luoto, J., & Levine, D. (2010). *End-user preferences for and performance of competing POU water treatment technologies among the. Environmental Science and Technology, 44(12), 4426–4432.* Recuperado el 27 de Febrero del 2018 de <https://doi.org/10.1021/es1000566>
- Algal, A. (2015). *Waterborne diseases. International Encyclopedia of Public Health, 1–9.* Recuperado el 6 de Mayo del 2018 de <https://www.abctlc.com/downloads/courses/WaterborneDiseases.pdf>

- BID, I. (2016). *Expandiendo Acceso a Agua Potable y Saneamiento en Pequeñas Comunidades Rurales de Bolivia* Expandiendo Acceso a Agua Potable y Saneamiento en Pequeñas Comunidades Rurales de Bolivia. Recuperado el 06 de Junio de 2018 de <https://publications.iadb.org/handle/11319/7941>
- Bloem, S.C., van Halem, D., Sampson, M.L., Huoy, L.S. and Heijman, B. (2009) *Silver Impregnated Ceramic Pot Filter: Flow Rate versus the Removal Efficiency of Pathogens. International Ceramic Pot Filter Workshop. Atlanta, GA, USA.* Recuperado el 01 de Mayo del 2018 de <https://www.practica.org/wp-content/uploads/2014/10/Bloem-Sophie-onderzoeksrapport.pdf>
- Boyle, M., Sichel, C., & Ferna, P. (2008). *Bactericidal Effect of Solar Water Disinfection under Real Sunlight Conditions* , 74(10), 2997–3001. Recuperado el 04 de Mayo del 2018 <https://doi.org/10.1128/AEM.02415-07>
- 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 06 de Abril del 2018 de <https://doi.org/10.2166/wh.2009.007>
- Clasen, T. F., Do, H. T., Boisson, S., & Shipin, O. (2008). *Microbiological effectiveness and cost of boiling to disinfect drinking water in rural Vietnam.* *Environmental Science and Technology*, 42(12), 4255–4260. Recuperado el 04 de Mayo del 2018 de <https://doi.org/10.1021/es7024802> <https://doi.org/10.1021/es7024802>
- Cliver, D. O., & Fayer, R. (2004). *Categories of waterborne disease organisms.* Recuperado el 06 de Mayo del 2018 de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/diseases/zoonosessect5.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/zoonosessect5.pdf)

- Curtis, V., Cairncross, S., Yonli, R., Sivanappan, R. K., Daoud, A. K., Swaileh, K. M., ... Dunstan, R. H. (2012). *経済分析のための Stata 入門*. *Tropical Medicine and International Health*, 106(1), 155–162. Recuperado el 27 de Febrero del 2018 de <https://doi.org/10.3329/jhpn.v28i1.4521>
- Denis, M., Jeanneau, L., Pierson-Wickman, A. C., Humbert, G., Petitjean, P., Jaffrézic, A., & Gruau, G. (2017). *A comparative study on the pore-size and filter type effect on the molecular composition of soil and stream dissolved organic matter*. *Organic Geochemistry*, 110, 36–44. Recuperado el 27 de Abril del 2018 de <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2017.05.002>
- Desmyter, D., Adagwine, A.P., Ibrahim, S., Jaackson, M.K. and Murcott, S.E. (2009) *Monitoring and Evaluation of 1,000 Households receiving Ceramic Pot (Kosim) Filters after an Emergency Flood Mass Distribution in Northern Ghana*. *WEF09. Atlanta*. Recuperado el 29 de Marzo del 2018 de <https://es.scribd.com/document/28410143/WEF09-Talk-Desmyter-at-AI-Monitoring-and-Evaluation-of-1-000-Households-Receiving-Ceramic-Pot-Kosim-Filters>
- Ehdaie, B., Rento, C. T., Son, V., Turner, S. S., Samie, A., Dillingham, R. A., & Smith, J. A. (2017). *Evaluation of a Silver-Embedded Ceramic Tablet as a Primary and Secondary Point-of-Use Water Purification Technology in Limpopo Province, S. Africa*. *PLoS ONE*, 12(1), e0169502. Recuperado el 01 de Abril del 2018 de <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0169502>
- Fahlin, C. J. (2003). *Hydraulic Properties Investigation of the Potters For Peace Colloidal Silver Impregnated , Ceramic Filter*. *Test*. Recuperado el 29 de Abril del 2018 de <http://potterswithoutborders.com/wp-content/uploads/2011/06/univ-of-col-hydraulic-properties-study.pdf>
- FAO. (2013). *CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA-*

Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. Recuperado el 02 de Junio del 2018 de <https://doi.org/10.1111/jce.13019>

Farias, E. L. H. P. D. L. J. (2010). Manual De Capacitacion a Familias “Cuidado, Uso Y Mantenimiento De Nuestras Letrinas O Baños,” 131–136. Recuperado el 14 de Mayo del 2018 de <http://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/24.pdf>

Forstinus, N., Ikechukwu, N., Emenike, M., & Christiana, A. (2016). *Water and Waterborne Diseases: A Review. International Journal of TROPICAL DISEASE & Health*, 12(4), 1–14. Recuperado el 06 de Mayo del 2018 de <https://doi.org/10.9734/IJTDH/2016/21895>

Fraile, J., Garrido, T., Rusi, M., & Girones, R. (2015). *Specific Viruses Present in Polluted Groundwater Are Indicative of the Source of Nitrates and Faecal Contamination in Agricultural Areas, (Part II)*, 204–208. Recuperado el 01 de Abril del 2018 de <https://doi.org/10.1007/698>

GADPP. (2011). Gobierno Autónomo descentralizado Parroquial de Rumipamba. Parroquia Rumipamba, 0–101. Recuperado el 19 de Abril del 2018 de [http://www.pumallacta.gob.ec/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=1&Itemid=98](http://www.pumallacta.gob.ec/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1&Itemid=98)

Gorchev, H. G., & Ozolins, G. (2011). *WHO guidelines for drinking-water quality. WHO Chronicle*, 38(3), 104–108. Recuperado el 27 de Febrero del 2018 de [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(00\)00006-6](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(00)00006-6)

Guerrero-Latorre, L., Rusinol, 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), 28–38. Recuperado el 3 de Enero del 2018 de

<https://doi.org/10.2166/washdev.2014.121>

Guerrero Latorre, L. (2016). *Estudis sobre la contaminació i desinfecció de virus entèrics en contexts d'ajuda humanitària (Ph.D. Thesis)*. Universitat de Barcelona. Recuperado el 3 de Enero del 2018 de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=116845>

Guerrero-latorre, L, Balseca-enriquez, P., Moyota-tello, C, (2017). *Journal of Environmental Health Science and Engineering Performance of black ceramic water filters and its implementation in rural Ecuador*. Recuperado el 3 de Enero del 2018 de <https://doi.org/10.1111/jce.13019>

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 Micro Molar Ag Biochemistry*, 44(39), 13214–13223. Recuperado el 08 de Abril del 2018 de <https://doi.org/10.1021/bi0508542>

Hunter, P. R. (2009). *Household Water Treatment in Developing Countries: Comparing Different Intervention Types Using Meta-Regression*, 43(23), 8991–8997. Recuperado el 15 de Abril del 2018 de <https://doi.org/10.1021/es9028217>

INEC. (2017). Nota metodológica de los indicadores ODS de Agua, Saneamiento e Higiene. Indicadores ODS de Agua, Saneamiento E Higiene En Ecuador. ENEMDU 2016, 12–70. Recuperado el 14 de Abril del 2018 de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/indicadores-ods-agua-saneamiento-e-higiene/>

Instituto Nacional de Estadística y Censos - INEC. (2017). Medición de los indicadores ODS de Agua, Saneamiento e Higiene (ASH) en el Ecuador, 27. Recuperado el 14 de Abril del 2018 de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/EMPLEO/2>

017/Indicadores ODS Agua, Saneamiento e Higiene/Presentacion\_Agua\_2017\_05.pdf

- Jang, H. S. (2017). *The diverse range of possible cell membrane interactions with substrates: Drug delivery, interfaces and mobility*. *Molecules*, 22(12), 26–28. Recuperado el 23 de Mayo del 2018 de <https://doi.org/10.3390/molecules22122197>
- Johnson, S. M., Peletz, R. L., & Murcott, S. (2008). *Results from household ceramic filter evaluation in northern Ghana*. *Proceedings of the 33rd WEDC International Conference - Access to Sanitation and Safe Water: Global Partnerships and Local Actions, Accra, Ghana, 2008.*, (January 2007), 463–466. Recuperado el 18 de Abril del 2018 de [https://dspace.lboro.ac.uk/dspacejspui/bitstream/2134/30034/2/Johnson\\_SMJ.pdf](https://dspace.lboro.ac.uk/dspacejspui/bitstream/2134/30034/2/Johnson_SMJ.pdf)
- Kirby, B. J., & Hasselbrink, E. F. (2004). *Zeta potential of microfluidic substrates: 1. Theory, experimental techniques, and effects on separations*. *Electrophoresis*, 25(2), 187–202. Recuperado el 06 de Mayo del 2018 de <https://doi.org/10.1002/elps.200305754>
- Kotloff, K. L., Nataro, J. P., Blackwelder, W. C., Nasrin, D., Farag, T. H., Panchalingam, S., ... Levine, M. M. (2013). *Burden and aetiology of diarrhoeal disease in infants and young children in developing countries (the Global Enteric Multicenter Study, GEMS): A prospective, case-control study*. *The Lancet*, 382(9888), 209–222. Recuperado el 03 de Abril del 2018 de [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)60844-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60844-2)
- Lantagne, D., Klarman, M., Mayer, A., Preston, K., Napotnik, J., & Jellison, K. (2010). *Effect of production variables on microbiological removal in locally-produced ceramic filters for household water treatment*. *International Journal of Environmental Health Research*, 20(3), 171–187. Recuperado el 07 de Mayo del 2018 de

<https://doi.org/10.1080/09603120903440665>

Lantagne, D., Quick, R., & Mintz, E. (2006). *Household water treatment and safe storage options in developing countries: a review of current implementation practices*. *Woodrow Wilson Quarterly*, 17–38. Recuperado el 07 de Mayo del 2018 de <https://doi.org/10.1021/es301842u>

Lantagne, D. S. (2001). *Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver-Impregnated Ceramic Filter: Intrinsic Effectiveness and Field Performance in Rural Nicaragua*. *Filtration*, 1–79. Recuperado el 28 de Marzo del 2018 de <http://web.mit.edu/watsan/Docs/Other Documents/ceramicpot/PFP-Report1-Daniele Lantagne, 12-01.pdf>

Lantagne, D. S., & Environmental, A. (2001). *Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver Impregnated Ceramic Filter Report 2: Field Investigations. Methods*, 1–121. Recuperado el 30 de Marzo del 2018 de <http://web.mit.edu/watsan/Docs/Other%20Documents/ceramicpot/PFP-Report2-DanieleLantagne,%2012-01.pdf>

Lugmaña, G. (2015). Anuario de Estadísticas Hospitalarias: Egresos y Camas 2015. Inec, 417. Recuperado el 09 de Abril del 2018 de <https://doi.org/10.1128/AAC.03728-14>

Maldonado, H. (2009). DeSalud. Recuperado el 30 de Julio del 2018 de <https://desalud.wordpress.com/2009/05/24/%C2%BFque-diferencias-existen-entre-efectividad-eficiencia-y-eficacia/>

Marks, J. (2018). *MedicineNet*. Recuperado el 27 de Febrero del 2018 de [https://www.medicinenet.com/diarrhea/article.htm#how\\_can\\_dehydration\\_from\\_diarrhea\\_be\\_prevented\\_and\\_treated](https://www.medicinenet.com/diarrhea/article.htm#how_can_dehydration_from_diarrhea_be_prevented_and_treated)

Michen, B., Fritsch, J., Aneziris, C., & Graule, T. (2013). *Improved virus removal in ceramic depth filters modified with MgO*. *Environmental Science and*



*Technology*, 47(3), 1526–1533. Recuperado el 03 de Mayo del 2018 de <https://doi.org/10.1021/es303685a>

Mora, F. (2012). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Parroquia Guachanamá, 65 p. Recuperado el 19 de Abril del 2018 de <http://sni.gob.ec/planes-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial>

Murphy, H. M., McBean, E. A., & Farahbakhsh, K. (2010). *A critical evaluation of two point-of-use water treatment technologies: Can they provide water that meets WHO drinking water guidelines?* *Journal of Water and Health*, 8(4), 611–630. Recuperado el 14 de Marzo del 2018 de <https://doi.org/10.2166/wh.2010.156>

Naman, J., Montgomery, M. (2012). *Status of National Household Water Treatment and Safe Storage Policies in Selected Countries*, 23. Recuperado el 22 de Mayo del 2018 de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/national-hwts-policies-in-selected-countries/en/](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/national-hwts-policies-in-selected-countries/en/)

Nations, U. (2015). *Water for a sustainable world Water for a sustainable*. Recuperado el 29 de Mayo del 2018 de <http://www.unesco.org/new/es/naturalsciences/environment/water/wap/wcdr/2015-water-for-a-sustainable-world/>

Odonkor, S. T., & Ampofo, J. K. (2013). *Escherichia coli as an indicator of bacteriological quality of water: an overview*. *Microbiology Research*, 4(1), 2. Recuperado el 08 de Agosto del 2018 de <https://doi.org/10.4081/mr.2013.e2>

Oyanedel-Craver, V. A., & Smith, J. A. (2008). *Sustainable colloidal-silver-impregnated ceramic filter for point-of-use water treatment*. *Environmental Science and Technology*, 42(3), 927–933. Recuperado el 28 de Marzo del 2018 de <https://doi.org/10.1021/es071268u>

- Pérez-Vidal, A., Díaz-Gómez, J., Castellanos-Rozo, J., & Usaquen-Perilla, O. L. (2016). *Long-term evaluation of the performance of four point-of-use water filters*. *Water Research*, 98, 176–182. Recuperado el 29 de Mayo del 2018 de <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.04.016>
- 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. Recuperado el 14 de Enero del 2018 de <https://s3.amazonaws.com/PfP/Best+Practice+Recommendations+for+Manufacturing+Ceramic+Pot+Filters+June2011.pdf>
- Prüss-Ustün, A., Bartram, J., Clasen, T., Colford, J. M., Cumming, O., Curtis, V., ... Cairncross, S. (2014). *Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene in low- and middle-income settings: A retrospective analysis of data from 145 countries*. *Tropical Medicine and International Health*, 19(8), 894–905. Recuperado el 21 de Febrero del 2018 de <https://doi.org/10.1111/tmi.12329>
- Roberts, M. (2003). *Field test of a silver-impregnated ceramic water filter*. *Vientiane, Lao PDR: 30th WEDC International Conference.*, 1–6. Recuperado el 01 de Mayo del 2018 de <https://wedc-knowledge.lboro.ac.uk/resources/conference/30/Roberts.pdf>
- Salsali, H., McBean, E., & Brunsting, J. (2011). *Virus removal efficiency of Cambodian ceramic pot water purifiers*. *Journal of Water and Health*, 9(2), 306–311. Recuperado el 15 de Abril del 2018 de <https://doi.org/10.2166/wh.2011.087>
- Senplades. (2014). *Agua potable y alcantarillado para erradicar la pobreza en el Ecuador*, 120. Recuperado el 01 de Abril del 2018 de <http://www.planificacion.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2014/09/FOLLETO-Agua-SENPLADES.pdf>

- Sobsey, M. D. (2004). *Managing Water in the Home: Accelerated Health Gains from Improved Water Supply*. *World Health*, 8(11), 1–83. Recuperado el 15 de Mayo del 2018 de <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00820.x>
- Solíz Torre, M. F. (2015). Ecología política y geografía crítica de la basura en el Ecuador. *Letras Verdes. Revista Latinoamericana de Estudios Socioambientales*, 17, 4–28. Recuperado el 15 de Mayo del 2018 de <https://doi.org/10.17141/letrasverdes.17.2015.1259>
- Speich, B., Croll, D., Fürst, T., Utzinger, J., & Keiser, J. (2016). *Effect of sanitation and water treatment on intestinal protozoa infection: a systematic review and meta-analysis*. *The Lancet Infectious Diseases*, 16(1), 87–99. Recuperado el 14 de Abril del 2018 de [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(15\)00349-7](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(15)00349-7)
- UNDESA. (2015). *UNWATER. Decade for Action "Water for life" 20005-2015*. Recuperado el 01 de Junio del 2018 de [http://www.un.org/waterforlifedecade/water\\_and\\_sustainable\\_development.shtml](http://www.un.org/waterforlifedecade/water_and_sustainable_development.shtml)
- UNICEF, & WHO. (2017). *Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene*. Recuperado el 14 de Febrero del 2018 de <https://doi.org/10.1111/tmi.12329>
- Van Halem, D., Heijman, S. G. J., Soppe, A. I. A., Van Dijk, J. C., & Amy, G. L. (2007). *Ceramic silver-impregnated pot filters for household drinking water treatment in developing countries: Material characterization and performance study*. *Water Science and Technology: Water Supply*, 7(5–6), 9–17. Recuperado el 09 de Agosto del 2018 de <https://doi.org/10.2166/ws.2007.142>

- van Halem, D., van der Laan, H., Soppe, A. I. A., & Heijman, S. G. J. (2017). *High flow ceramic pot filters*. *Water Research*, 124, 398–406. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.07.045>
- Wang, S., Javadpour, F., & Feng, Q. (2016). *Confinement Correction to Mercury Intrusion Capillary Pressure of Shale Nanopores*. *Scientific Reports*, 6, 20160. Recuperado el 15 de Mayo del 2018 de <http://doi.org/10.1038/srep20160>
- White, S. (2015). *Water Contamination : Sources Solutions, (September), 20–22*. Recuperado el 20 de Abril del 2018 de <https://www.wqpmag.com/water-contamination-sources-solutions>
- WHO. (2007). *Household Water Treatment and Safe Storage Technologies*, 1–13. Recuperado el 15 de Mayo del 2018 de [http://iris.wpro.who.int/bitstream/handle/10665.1/5287/9789290616160\\_eng.pdf;jsessionid=ED0A185766A991EC482BD969A5A71048?sequence=3](http://iris.wpro.who.int/bitstream/handle/10665.1/5287/9789290616160_eng.pdf;jsessionid=ED0A185766A991EC482BD969A5A71048?sequence=3)
- WHO. (2011). *Evaluating Household Water Treatment Options*, 68. Recuperado el 20 de Abril del 2018 de [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/publications/2011/evaluating\\_water\\_treatment.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/evaluating_water_treatment.pdf)
- WHO. (2014). *Preventing diarrhoea through better water, sanitation and hygiene. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data*, 1–48. Recuperado el 20 de Abril del 2018 de <https://doi.org/ISBN 978 92 4 156482 3>
- WHO. (2017). *World Health Organization*. Recuperado el 30 de Mayo del 2018 de <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease>

# **ANEXOS**

## Anexo 1: Preparación de Medios de Cultivo

### Medio de crecimiento: Triptona – Extracto de levadura –Glucosa (TYGB)

Mix Medio Basal:

El mix llega a formularse con proporciones predeterminadas, para obtener una concentración final de 19 gramos por litro.

Componentes:

• NaCl	60 g
• Triptona	75 g
• Extracto de Levadura	7.5 g

La mix se disuelve a razón de 19 gramos de la mezcla de los componentes, por cada litro de agua.

Los medios de cultivo que se formulen, serán autoclavados a  $(121 \pm 1) ^\circ\text{C}$ , por espacio de 15 minutos y requieren ser almacenados a  $(5 \pm 3) ^\circ\text{C}$  en la oscuridad por un espacio de tiempo que no sobrepase los 6 meses.

**Nota:** (Autoclavar los medios sin la adición de glucosa).

### Solución Calcium- glucosa

• $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	3g
• Glucosa	10 g
• Agua destilada	100 ml

Se debe disolver los componentes en agua y se requiere trabajar bajo condiciones de llama. Para alicuotar la solución de calcium-glucosa y asegurando su esterilidad. Se debe utilizar una jeringuilla que se encuentre estéril junto con una membrana de filtración de 0.22  $\mu\text{m}$ . Almacenar la solución en la oscuridad a  $(5 \pm 3) ^\circ\text{C}$  en la oscuridad por un espacio de tiempo que no sobrepase los 6 meses.

Medio completo (TYGB-Glu)

- |                               |        |
|-------------------------------|--------|
| • Medio Basal                 | 200 ml |
| • Solución de Calcium-glucosa | 2 ml   |

Colocar bajo condiciones estériles, la solución de glucosa en el medio basal, homogenizar la solución. Si no se la emplea en la inmediatez, almacenarla a  $(5 \pm 3)$  °C en la oscuridad por un espacio de tiempo que no sobrepase los 6 meses.

Medio de crecimiento: Triptona – Extracto de levadura –Glucosa Agar (TYGA)

- |                   |         |
|-------------------|---------|
| • Mix Medio basal | 19 g    |
| • Agar            | 16 g    |
| • Agua destilada  | 1000 ml |

Disolver el medio basal y el agar, antes de ser autoclavado a  $(121 \pm 1)$  °C, por espacio de 15 minutos y requieren ser almacenados a  $(5 \pm 3)$  °C en la oscuridad por un espacio de tiempo que no sobrepase los 6 meses.

**Nota:** (Autoclavar los medios sin la adición de glucosa).

Medio completo (TYGA-Glu)

- |                               |        |
|-------------------------------|--------|
| • Medio Basal                 | 200 ml |
| • Solución de Calcium-glucosa | 2 ml   |

Colocar bajo condiciones estériles, la solución de glucosa en el medio basal, al encontrarse a una temperatura entre los 45 a 50 °C, homogenizar la solución y plaquearla en cajas de Petri. Si no se la emplea en la inmediatez, almacenarla a  $(5 \pm 3)$  °C en la oscuridad por un espacio de tiempo que no sobrepase los 6 meses.

Medio de crecimiento: Triptona – Extracto de levadura –Glucosa Semi-Solido (ssTYGA)

• Mix Medio basal	19 g
• Agar	8 g
• Agua destilada	1000 ml
• Solución Calcium.glucosa	10 ml
• Ácido Nalidíxico	4 ml

El medio consiste tiene como particularidad, contar con la mitad de agar que se coloca normalmente, además de estar suplementado con una fuente de carbono y un antibiótico, con miras a evitar la proliferación de bacterias diferentes a la *Salmonella typhimurium* WG49.

**Nota:** (Autoclavar los medios sin la adición de glucosa, ni tampoco Ácido nalidíxico. Al momento de dispensar el medio semisólido, se debe asegurar que el mismo se encuentra caliente con miras a evitar una errónea distribución de sus componentes, así como también una solidificación antes de tiempo, lo que dañe el cocultivo de Bacteriófago MS2 y *Salmonella typhimurium* WG49).

Solución de Ácido Nalidíxico

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

Disolver el ácido nalidíxico en la solución de NaOH, homogenizar evitando que el ácido se llegue a precipitar para continuar con el añadido del agua



destilada. Se debe trabajar bajo condiciones de llama. Para alicuotar la solución del ácido nalidíxico y asegurando su esterilidad. Se debe utilizar una jeringuilla que se encuentre estéril junto con una membrana de filtración de 0.22 um. Almacenar la solución en la oscuridad a  $(5 \pm 3)$  °C en la oscuridad por un espacio de tiempo que no sobrepase los 6 meses.

**Nota:** (Colocar la solución en el ssTYGA 0.2 ml de la solución del ácido nalidíxico por cada 50 ml de medio de cultivo).

Medio Chromocult Coliform Agar-Agar Cromogénico

- |                    |         |
|--------------------|---------|
| • Agua destilada   | 1000 ml |
| • Agar Cromogenico | 26.5 g  |

Disolver el agar en agua destilada. Calentar la solución hasta su ebullición, misma que se debe mantener por 2 minutos.

**Nota:** (El medio no requiere ser autoclavado ni tampoco ser suplementado con la solución Calcium.glucosa. Para asegurarse una correcta formulación del medio, el mismo debe presentar un color amarillo intenso, ni tampoco debe observarse partículas aun no disueltas presentes en el medio).

Anexo 2: Cuestionario de Seguimiento de los filtros de agua de cerámica negra en la comunidad de Santa Marianita

**Cuestionario Seguimiento Hogares Grupo Experimental**

Buenos días, mi nombre es (\_\_\_\_\_). Soy estudiante de la carrera de Biotecnología de la Universidad de las Américas y formo parte del equipo de investigación que está evaluando el manejo del agua de consumo en su comunidad. Ustedes firmaron un consentimiento para formar parte de un estudio sobre los tratamientos de agua usados en la comunidad. Esta es una entrevista de seguimiento que durara aproximadamente 20 minutos.

**Numero de familia/hogar:**

Persona que firmó el consentimiento:

Persona que responde al cuestionario: Nombre:

Edad:

**A Entrevistador:**

**B Fecha:**

**C Hora:**

1. PREGUNTAR **¿Está usando el Filtro de Agua de Cerámica Negra?**

Si (tomar muestra con vaso estéril) <b>Código: N° hogar_1</b>	1	No (ir a preg. 2)	0
--	---	-------------------	---

1.1. OBSERVAR: **¿Fue el agua tomada correctamente (sin tocar con las manos el interior del vaso)?**

Si	1	No	0
----	---	----	---

1.2. OBSERVAR: **¿Está el filtro con agua por encima la llave?**

Si	1	No	0
----	---	----	---

1.3. OBSERVAR: **¿Está el filtro mojado?**

1.4. OBSERVAR: **¿Está el filtro limpio?**

1.5. PREGUNTAR **¿Puede por favor describirme como usa el filtro?**

Añado agua al filtro	1	
Dejo agua almacenada	2	
Lavo el filtro cuando está sucio	3	¿Cuántas veces al mes? _____

1.6. PREGUNTAR **¿Hace cuantas horas que añadió agua al filtro?**

	Horas
--	-------

1.7. PREGUNTAR **¿Puede darme agua sin filtrar de esa misma fuente?**

Si (tomar muestra con vaso estéril) <b>Código: Nº hogar_2</b>	1	No	0	No tengo	99
--	---	----	---	----------	----

2. (Solo para la respuesta NO de pregunta 1) PREGUNTAR **¿Porque NO usa el FILTRO?**

Mal sabor	1	Mal olor	2	No sé cómo hacerlo	3
Requiere mucho tiempo	4	Otra:			

2.1. PREGUNTAR **¿Qué agua está tomando si NO usa el filtro?**

Agua de la llave	1	Agua de botellón	2	Agua hervida	3
Agua clorada	4	Otra:			

2.2. Preguntar **¿Podría darme un vaso de esa agua?**

Si (tomar muestra con vaso estéril) <b>Código: Nº hogar_1</b>	1	No (ir a preg. 2)	0
--	---	-------------------	---

-----  
 -----  
 -----

**Incidencias reportadas/observadas** (fractura del filtro, desaparición del filtro...).

---

Anexo 3: Resultados de efectividad microbiológica

Tabla 16

Valores de Reducción Logarítmica, para MS2 y *Escherichia coli*, en los ensayos de efectividad microbiológica

Semanas	Litros	Filtro	Microorganismo							
			<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922				Bacteriófago MS2			
			Input (ufc/ml)	Output (ufc/ml)	LRV	LRV promedio (Desvest)	Input (ufp/ml)	Output (ufp/ml)	LRV	LRV promedio (Desvest)
11	616	14	2.26E+05	0.1	6.35	5.64	3.03E+05	2.40E+02	3.1	2.57
		20		3.7	4.79	(0.79)		3.30E+03	1.96	(0.57)
		22		0.38	5.77			6.80E+02	2.65	
20	1176	4	1.99E+05	9.8	4.31	4.59	2.50E+04	1.49E+03	1.23	1.63
		8		10.1	4.29	(0.51)		1.50E+03	1.22	(0.70)
		25		1.3	5.18			9.00E+01	2.44	
29	1624	12	2.63E+05	30	3.94	4.28	1.63E+05	1.49E+04	1.04	1.85
		16		8.5	4.49	(0.30)		4.50E+03	1.56	(0.99)
		17		10	4.42			1.80E+02	2.96	
			2.29E+05		Promedio	4.84	1.64E+05		Promedio	2.02
					DesVest	0.71			DesVest	0.49

Anexo 4: Uso continuado de los filtros en la comunidad de Santa Marianita

Tabla 17

Uso sostenido y efectividad microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra, en la comunidad de Santa Marianita.

Semanas en uso	N° filtro	N° de seguimientos	Frecuencia de uso	Calidad <sup>1</sup> de uso	N° de lavados de filtro	Tiempo de añadido de agua	Incidencias	Muestra sin filtrar (Rango) Promedio ( <i>E. coli</i> ufc/ml)	Muestra filtrada (Rango) Promedio ( <i>E. coli</i> ufc/ml)	Efectividad Microbiológica			
										<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922		Bacteriófago MS2	
										LRV	LRV promedio (Desvest)	LRV	LRV promedio (Desvest)
11	14	4	5/5/4/5 Continuo	Adecuado	26	12h-24h	NR	(38-48)43	(0)0	6.35	5.64 (0.79)	3.1	2.57 (0.57)
	20	4	5/5/5/4 Continuo	Adecuado	30	12h-24h	NR	(21-116)64	(0-9)3	4.79		1.96	
	22	4	5/0/0/5 Descontinuo	Inadecuado	N <sup>3</sup> A	NA	Mal Sabor (Ebullición)	(10-50)30	(2-3)3	5.77		2.65	
20	4	7	5/5/3/4/5/5/5 Continuo	Adecuado	36	36h-48h	Mal Sabor	(15-460)99	(0-1)1	4.31	4.59 (0.51)	1.23	1.63 (0.70)
	8	7	5/5/5/5/5/5/5 Continuo	Adecuado	24	12h-24h	<sup>4</sup> NR	(14-62)27	(0-31)6	4.29		1.22	
	25	7	5/0/5/5/5/4/0 Intermitente	Intermedio	35	24h-36h	Mal Sabor (Ebullición)	(12-59)34	(0-54)18	5.18		2.44	
29	12	9	5/4/5/4/5/5/4/1/5 Continuo	Adecuado	54	12h-24h	Mal Sabor	(21-209)52	(0-18)4	3.94	4.28 (0.30)	1.04	1.85 (0.99)
	16	9	5/5/5/5/5/5/5/5/5 Continuo	Adecuado	47	24h-36h	NR	(40-348)110	(0-35)5	4.49		1.56	
	17	8	4/4/5/5/5/5/5/4 Continuo	Adecuado	71	24h-36h	NR	(45-180)63	(0-23)7	4.42		2.96	

<sup>1</sup> **Calidad de Uso:** (Rojo-Inadecuado) (Amarillo-Intermedio) (Verde-Adecuado).

<sup>2</sup> **Nivel de Riesgo:** (Rojo-Alto) (Amarillo-Intermedio) (Verde-Bajo).

<sup>3</sup> **NA:** No Aplica.

<sup>4</sup> **NR:** No Responde.

Anexo 5: Tabla resumen de los cuestionarios de seguimiento

Tabla 18

*Seguimiento de uso de los filtros de agua de cerámica negra, distribuidos en la comunidad de Santa Marianita.*

Filtro	Fecha de realización de encuesta	Preguntas											Muestra sin filtrar		Muestra filtrada		% Reducción microbiológica ( <i>E.coli</i> )	Promedio	
		1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	2	2.1	2.2	Incidencias	Coliformes Totales	<i>E.coli</i>	Coliformes Totales			<i>E.coli</i>
14	101117	1	1	1	1	1	1/2/3 (NR)	24 h	1	NA	NA	NA	NR	548	48	4	0	100	100
	241117	1	1	0	1	1	1/2/3 (10)	7 h	1	NA	NA	NA	NR	486	38	1	0	100	
	11217	1	1	1	1	1	1/2/3 (12)	1 h	1	NA	NA	NA	NR	1100	648	0	0	100	
	130118	1	1	1	1	1	1/2/3(4)	24 h	1	NA	NA	NA	NR	MP	MP	66	3	NA	
20	161117	1	1	1	1	1	1/2/3 (10)	24 h	1	NA	NA	NA	NR	388	116	2	0	100	94.34
	301117	1	1	1	1	1	1/2/3 (8)	24 h	1	NA	NA	NA	NR	MP	MP	MP	MP	NA	
	141217	1	1	1	1	1	1/2/3 (12)	12 h	1	NA	NA	NA	NR	211	21	4	0	100	
	120118	1	1	0	1	1	1/2/3 (NR)	NR	1	NA	NA	NA	NR	279	53	89	9	83.02	
22	171117	1	1	1	1	1	1/2/3 (15)	1 h	1	NA	NA	NA	Mal Sabor (Lavado de frutas)	16	10	21	3	70	83.00
	241117	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1	3	1	NR	505	5	NA	NA	NA	
	11217	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1	3	1	Mal Sabor (Lavado de frutas)	578	78	NA	NA	NA	
	120118	1	NR	0	1	1	1/2/3 (2)	60 h	1	NA	NA	NA	NR	300	50	163	2	96	
4	101117	1	1	1	1	1	1/2/3 (4)	18 h	1	NA	NA	NA	NR	215	15	0	0	100	97.87
	171117	1	1	1	1	1	1/2/3 (12)	24 h	1	NA	NA	NA	NR	85	17	0	0	100	
	11217	1	1	1	0	0	1/2/3 (4)	48 h	1	NA	NA	NA	Mal Sabor	624	460	0	0	100	
	130118	1	1	0	1	1	1/2/3 (4)	72 h	1	NA	NA	NA	NR	276	64	2	1	98.44	

	260118	1	1	1	1	1	1/2/3 (4)	48 h	99	NA	NA	NA	Suciedad en filtro	84	28	NA	NA	NA	
	150218	1	1	1	1	1	1/2/3 (4)	72 h	1	NA	NA	NA	NR	515	15	2	1	93.33	
	230318	1	NR	1	1	1	1/2/3 (4)	14 h	1	NA	NA	NA	NR	204	22	7	1	95.45	
<b>8</b>	101117	1	1	1	1	1	1/2/3 (4)	21 h	1	NA	NA	NA	NR	112	21	0	0	100	82.95
	301117	1	1	1	1	1	1/2/3 (4)	72 h	1	NA	NA	NA	NR	MP	MP	MP	MP	NA	
	151217	1	1	1	1	1	1/2/3 (2)	12 h	1	NA	NA	NA	NR	96	18	3	2	88.89	
	130118	1	1	1	1	1	1/2/3(2)	12 h	1	NA	NA	NA	NR	202	62	35	0	100	
	270118	1	1	1	1	1	1/2/3 (4)	12 h	1	NA	NA	NA	NR	500	14	11	0	100	
	180218	1	1	1	1	1	1/2/3 (4)	12 h	1	NA	NA	NA	NR	514	14	11	0	100	
	220318	1	1	1	1	1	1/2/3 (4)	12 h	1	NA	NA	NA	NR	608	34	135	31	8.82	
<b>25</b>	241117	1	1	1	1	1	1/2/3 (2)	24 h	1	NA	NA	NA	NR	512	12	0	0	100	69.49
	11217	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1	3	1	Mal Sabor	135	30	NA	NA	NA	
	151217	1	1	1	1	1	1/2/3 (15)	72 h	1	NA	NA	NA	Mal Sabor	512	12	MP	MP	NA	
	120118	1	1	1	1	1	1/2/3 (8)	2 h	1	NA	NA	NA	NR	559	59	132	54	8.47	
	270118	1	1	1	1	1	1/2/3 (8)	24 h	1	NA	NA	NA	NR	269	29	0	0	100	
	160218	1	1	0	1	1	1/2/3 (2)	10min	1	NA	NA	NA	Mal Sabor	MP	MP	MP	MP	NA	
	230318	0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	1	2	1	NR	2	0	NA	NA	NA	
<b>12</b>	101117	1	1	1	1	1	1/2/3 (8)	9 h	1	NA	NA	NA	NR	235	22	2	0	100	91.21
	11217	1	1	1	0	1	1/2/3 (8)	24 h	1	NA	NA	NA	NR	43	32	0	0	100	
	151217	1	NR	1	1	1	1/2/3 (NR)	24 h	1	NA	NA	NA	NR	217	21	0	0	100	
	120118	1	NR	1	0	1	1/2/3(8)	4 h	1	NA	NA	NA	NR	205	62	302	18	70.97	
	260118	1	1	1	1	1	1/2/3 (8)	2 h	1	NA	NA	NA	Válvula Sucia, Agua Amarilla	185	29	223	11	62.07	

	160218	1	1	1	1	1	1/2/3 (8)	72 h	1	NA	NA	NA	Llave no cierra	335	25	18	2	92	
	230318	1	0	1	1	0	1/2/3 (NR)	12 h	1	NA	NA	NA	Mal Sabor	304	24	5	1	95.83	
	604018	1	1	0	0	0	NR	NR	1	NA	NA	NA	NR	709	209	14	0	100	
	200418	1	1	1	1	1	1/2/3 (diario)	24 h	1	N <sup>5</sup> A	NA	NA	N <sup>6</sup> R	432	41	313	0	100	
<b>16</b>	241117	1	1	1	1	1	1/2/3 (3)	24 h	1	NA	NA	NA	NR	572	72	0	0	100	90.06
	301117	1	1	1	1	1	1/2/3 (10)	72 h	1	NA	NA	NA	NR	289	120	0	0	100	
	141217	1	1	1	1	1	1/2/3 (8)	12 h	1	NA	NA	NA	NR	579	79	1	0	100	
	110118	1	1	1	1	1	1/2/3 (8)	48 h	1	NA	NA	NA	NR	653	153	0	0	100	
	250118	1	1	1	1	1	1/2/3 (2)	24 h	1	NA	NA	NA	NR	431	40	0	0	100	
	160218	1	1	1	1	1	1/2/3 (4)	12 h	1	NA	NA	NA	NR	92	49	5	1	97.96	
	220318	1	1	1	1	1	1/2/3 (4)	12 h	1	NA	NA	NA	NR	701	41	660	35	14.63	
	60418	1	1	1	1	1	1/2/3 (4)	12 h	1	NA	NA	NA	NR	M <sup>7</sup> P	90	MP	0	100	
	190418	1	1	1	1	1	1/2/3 (4)	12 h	1	NA	NA	NA	NR	848	348	154	7	97.99	
<b>17</b>	241117	1	1	1	0	1	1/2/3 (2)	NR	1	NA	NA	NA	NR	546	46	0	0	100	91.81
	11217	1	0	0	1	1	1/2/3 (2)	6 h	99	NA	NA	NA	NR	NA	NA	0	0	NA	
	130118	1	1	1	1	1	1/2/3 (15)	18 h	1	NA	NA	NA	NR	285	60	0	0	100	
	270118	1	1	1	1	1	1/2/3 (10)	48 h	1	NA	NA	NA	NR	500	24	223	9	62.50	
	160218	1	1	1	1	1	1/2/3 (15)	24 h	1	NA	NA	NA	NR	248	180	45	23	87.22	
	230318	1	1	1	1	1	1/2/3 (8)	26 h	1	NA	NA	NA	NR	249	45	16	2	95.56	



---

70418	1	1	1	1	1	1/2/3 (15)	12 h	1	NA	NA	NA	NR	577	77	5	2	97.40
210418	1	0	1	1	1	1/2/3 (4)	72 h	1	NA	NA	NA	NR	48	8	9	0	100

---

