



FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA DE LOS FILTROS DE AGUA DE
CERÁMICA NEGRA EN UNA COMUNIDAD DEL NOROCCIDENTE
DE PICHINCHA

Autores

Ronald Fabricio Bravo Camino
Stephanie Paola Dávila Chávez

Año
2018



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y CIENCIAS APLICADAS

EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA DE LOS FILTROS DE AGUA DE
CERÁMICA NEGRA EN UNA COMUNIDAD DEL NOROCCIDENTE DE
PICHINCHA

Trabajo de Titulación presentado en conformidad con los requisitos
establecidos para optar por el título de Ingenieros en Biotecnología.

Profesor Guía

PhD. Laura Guerrero Latorre

Autores

Ronald Fabricio Bravo Camino
Stephanie Paola Dávila Chávez

Año

2018

DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido el trabajo, Evaluación microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra en una comunidad del noroccidente de pichincha, a través de reuniones periódicas con los estudiantes, Ronald Fabricio Bravo Camino y Stephanie Paola Dávila Chávez, 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, Evaluación microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra en una comunidad del noroccidente de pichincha, de Ronald Fabricio Bravo Camino y Stephanie Paola Dávila Chávez, 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: 1003324704

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaramos que este trabajo es original, de nuestra 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”.

Ronald Fabricio Bravo Camino
CI: 1751739861

Stephanie Paola Dávila Chávez
CI: 1723907752

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la PhD. Laura Guerrero y a la MSc. Fernanda Chico por habernos dado la oportunidad y confianza de llevar cabo este proyecto que ha enriquecido nuestras vidas tanto humana como profesionalmente.

Gracias por ser nuestra guía y apoyo incondicional durante este proceso.

DEDICATORIA

Para mi madre Yolanda C. por ser mi motivación, fuerza y esmero día tras día para alcanzar mis objetivos, a mis abuelitos Ximena C. y Ángel C. por ser esa luz que encamina mi andar y a mi tío Jorge C. por ser la fuente para que mis sueños se cumplan. Finalmente, a mis profesores, pasantes y amigos quienes fueron un pilar fundamental y creyeron firmemente en mí para alcanzar esta meta.

Con todo el amor y cariño por ustedes y para ustedes.

Ronald Bravo Camino

DEDICATORIA

A Dios por bendecir siempre mi camino.

A mi padre Ramiro por ser el pilar fundamental en todo lo que soy y mi ejemplo a seguir.

A mi hermana Ali por todo tu cariño y apoyo incondicional que me han impulsado a seguir adelante y alcanzar mis objetivos.

A mi hermano Andy por enseñarme a no rendirme nunca.

A mi novio Juan por ser mi fortaleza y motivación.

A mis Profesores y amigos por todas sus enseñanzas y gratos momentos.

Stephanie Dávila

RESUMEN

Alrededor de 51 millones de personas que residen en zonas rurales de América Latina, no tiene acceso a servicios de agua potable. Particularmente en Ecuador el 37% de la población rural presenta una deficiencia en la cobertura de agua potable y saneamiento correspondiente al 39% y 30% respectivamente. En consecuencia, las personas recurren a fuentes de agua alternativas que no son microbiológicamente seguras y que conllevan a la producción de enfermedades transmitidas por agua y alimentos, como la diarrea. Una solución viable para las zonas sin acceso seguro al agua es el filtro de cerámica negra (FCN), el cual es uno de los tratamientos de agua domiciliario con una eficacia mejorada de remoción microbiológica. Permite la eliminación viral del agua de consumo debido al área superficial obtenida tras su cocción en una atmósfera reductora. El presente estudio consistió en evaluar el impacto del uso de los FCN en la calidad del agua de consumo y la aceptación entre los hogares de una comunidad del noroccidente de Pichincha.

La metodología usada se dividió en dos fases, la primera consistió en la elaboración de una línea de base para recolectar información que permitió determinar la presencia de contaminación fecal, e identificar la comunidad en donde se implementaría el FCN y la segunda fase consistió en la evaluación del manejo, eficacia y aceptabilidad de este método en un estudio de casos y controles a lo largo de seis meses. La comunidad seleccionada fue Santa Marianita debido a la concentración de coliformes fecales (37 ufc *E. coli* / 100 mL) y presencia de adenovirus (8,5E+02 CG/L) en su agua de consumo. Durante el estudio experimental el grupo control no presentó una reducción significativa de enterobacterias ($P: 0,077 > \alpha: 0,05$), mientras que el grupo experimental tenía una concentración inicial en el agua entubada de 91 ufc *E. coli* / 100 mL y disminuyó a 7 ufc *E. coli* / 100 mL en el agua filtrada, representando una diferencia significativa ($P: 0,035 < \alpha: 0,05$). En conclusión, se demostró la efectividad de los FCN como una alternativa viable y apta para contextos rurales.

ABSTRACT

About 51 million people residing in rural areas of Latin America do not have access to potable water services. Particularly in Ecuador, 37% of the rural population has a deficiency in the coverage of drinking water and sanitation corresponding to 39% and 30% respectively. As a result, people turn to alternative sources of water that are not microbiologically safe and that lead to the production of water and foodborne diseases, such as diarrhea. A viable solution for areas without safe access to water is the black ceramic filter (BCF), which is one of the water treatments at home level with an improved microbiological removal efficiency. Allowing the viral elimination of the water for consumption due to the surface area obtained after cooking the BCF in a reducing atmosphere. The present study consisted of evaluating the impact of the use of BCF on the quality of water and the acceptance among the households of a community from the northwest of Pichincha.

The methodology used was divided into two phases; the first consisted of the preparation of a baseline to collect information that allowed determining the presence of fecal contamination, and identifying the community where the BCF would be implemented. The second phase consisted in the evaluation of the management, efficacy and acceptability of the BCF in a case-control study over a period of six months. The selected community was Santa Marianita due to the concentration of fecal coliforms (37 cfu *E. coli* / 100 mL) and presence of adenovirus (8.5E + 02 CG / L) in its drinking water. During the experimental study, the control group did not show a significant reduction of enterobacteria (P: 0.077 > α : 0.05), while the experimental group had an initial concentration in the piped water of 91 cfu *E. coli* / 100 mL and decreased to 7 cfu *E. coli* / 100 mL in the filtered water, representing a significant difference (P: 0.035 < α : 0.05). In conclusion, the effectiveness of this method was demonstrated, with high acceptance among users, consolidating a viable alternative and suitable for rural contexts.

ÍNDICE

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del Problema.....	2
1.3 Objetivo General.....	3
1.4 Objetivo Específico.....	3
1.5 Justificación del Trabajo.....	4
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Acceso al agua potable.....	5
2.1.2 Ecuador.....	8
2.1.3 Noroccidente de Pichincha.....	8
2.2 Contaminación microbiológica del agua.....	10
2.2.1 Fuentes de contaminación.....	10
2.2.2 Indicadores bacterianos.....	11
2.2.2.1 Características de un buen indicador.....	11
2.2.2.2 Tipos de Indicadores bacterianos.....	12
2.2.3 Trazadores Virales.....	13
2.2.3.1 Adenovirus Humano.....	14
2.3 Enfermedades relacionadas con el consumo de agua y alimentos contaminados.....	14
2.3.1 Principales agentes etiológicos transmitidos por el agua.....	17
2.3.3 Incidencia en el Ecuador.....	18
2.3.4 Incidencias en el Noroccidente de Pichincha.....	19
2.4 Tratamientos de agua a nivel domiciliario y su almacenamiento seguro (TANDAS).....	20
2.4.1 Tipos de Tratamientos.....	20
2.4.2 Filtros de Cerámica negra: historia y producción.....	24
2.4.3 Efectividad microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra.....	25

3. CAPÍTULO III. DISEÑO DEL PLAN EXPERIMENTAL...	28
4. CAPÍTULO IV. PROCEDIMIENTOS.....	29
4.1 Diseño de la Línea de base.....	29
4.1.1 Selección de comunidades sin acceso a agua potable.....	29
4.1.2 Análisis de los barrios.....	30
4.1.3 Análisis Estadístico de la línea de base.....	31
4.2 Diseño estudio experimental.....	32
4.2.1 Aleatorización de familias control y familias experimentales.....	32
4.2.3 Entrevista Inicial y Seguimiento.....	33
4.3 Análisis de calidad del agua.....	33
4.3.1 Análisis de indicadores bacterianos: Método de filtración.....	34
4.3.2 Análisis de trazadores virales.....	35
4.3.2.1 Concentración y floculación orgánica de la muestra.....	35
4.3.2.2 Extracción ácidos nucleicos y qPCR Taqman.....	36
4.4 Evaluación de Conocimientos, Aptitudes y Prácticas sobre agua e higiene.....	37
4.4.1 Aplicación de encuestas.....	37
4.4.2 Análisis estadístico del Estudio experimental.....	38
5. Capítulo V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
5.1 Comunidades de Estudio.....	38
5.1.2 Análisis de los barrios.....	40
5.1.2.1 Perfil Demográfico.....	40
5.1.2.2 Conocimiento y Manejo de Enfermedades.....	42
5.1.2.3 Acceso al agua.....	44
5.1.2.4 Conocimientos sobre la calidad del agua, su almacenamiento y tratamiento seguro.....	47
5.1.2.5 Prácticas de Higiene.....	49
5.1.2.6 Calidad microbiológica del agua mediante indicadores bacterianos.....	51
5.1.2.5 Análisis de trazadores virales en agua de consumo.....	53

5.2.1.1	Análisis inicial de la calidad de agua de consumo de Santa Marianita.....	55
5.2.1.2	Análisis de los grupos a lo largo del estudio.....	57
5.2.1.2.1	Grupo Control.....	57
5.2.1.2.2	Grupo Experimental.....	61
5.2.1.3	Análisis entre grupos.....	65
5.2.1.3.1	Análisis del agua entubada.....	66
5.2.1.3.2	Diferencias microbiológicas del agua de consumo.....	67
5.2.1.4	Diferencias entre tratamientos.....	69
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
6.1	Conclusiones.....	73
6.2	Recomendaciones.....	74
	REFERENCIAS.....	75
	ANEXOS.....	86

Índice de Figuras

Figura 1. Cobertura de agua potable a nivel mundial.....	6
Figura 2. Acceso a agua libre de contaminación para el 2015 a nivel global.....	7
Figura 3. Fuentes de contaminación fecal para cuerpos de agua.....	10
Figura 4. Indicadores de contaminación fecal, grupo coliforme.....	11
Figura 5. Principales tratamientos de agua domiciliar.....	21
Figura 6. Eficacia de reducción microbiológica de los distintos prototipos de Filtros cerámicos desarrollados en diversas condiciones.....	27
Figura 7. Etapas del estudio de la eficacia y aceptabilidad de filtros de agua de cerámica negra en una comunidad del noroccidente de Pichincha.....	29
Figura 8. Metodología del muestreo aleatorio.....	30
Figura 9. Procedimiento utilizado para muestreo de agua domiciliar y de captaciones.....	31
Figura 10. Procedimiento utilizado para el análisis de indicadores bacterianos.....	34
Figura 11. Mapa de las Parroquias de Nanegal y Gualea con las comunidades estudiadas.....	39
Figura 12. Nivel de contaminación fecal presente en los 52 domicilios muestreados de los cinco barrios estudiados.....	53
Figura 13. Concentración de indicadores bacterianos de los subgrupos de los casos control.....	59
Figura 14. Análisis de la concentración promedio de <i>E. Coli</i> en el agua Entubada y tratada del subgrupo control que aplicaba algún tipo de TANDAS.....	60
Figura 15. Concentración de indicadores bacterianos de los subgrupos de los casos experimentales.....	63
Figura 16. Análisis de la concentración promedio de <i>E. coli</i> en el agua	

entubada y la filtrada del grupo experimental.....	64
Figura 17. Concentración promedio de <i>E. coli</i> en el agua entubada de los Grupos de estudio.....	66
Figura 18. Análisis de la concentración promedio de <i>E. coli</i> en el agua de consumos de los 4 grupos de estudio.....	68
Figura 19. Análisis de la concentración promedio de <i>E. coli</i> en el agua tratada del grupo control y experimental.....	70

Índice de Tablas

Tabla 1. Abastecimiento de agua en la parroquia de Nanegal y Gualea.....	9
Tabla 2. Principales Enfermedades Infecciosas con datos sobre la mortalidad y morbilidad anual relacionada con agua deficiente.....	16
Tabla 3. Principales causas de morbilidad en las parroquias de Nanegal y Gualea.....	19
Tabla 4. Secuencia y concentración de cebadores y sondas utilizadas para la cuantificación de adenovirus humano.....	37
Tabla 5. Número de habitantes en cada barrio muestreado y la fuente de agua de consumo.....	39
Tabla 6. Información sociodemográfica de los 5 barrios.....	41
Tabla 7. Información epidemiológica de los cinco barrios.....	43
Tabla 8. Información sobre fuentes de agua de consumo.....	45
Tabla 9. Tratamientos realizados al agua de consumo.....	47
Tabla 10. Información sobre almacenamiento de agua de consumo.....	48
Tabla 11. Lavado de manos e instalaciones sanitarias.....	50
Tabla 12. Media de la carga bacteriana y pH del agua de consumo de los Cinco barrios analizados.....	52
Tabla 13. Presencia de Adenovirus en los cinco barrios muestreados.....	54
Tabla 14. Clasificación de las familias del estudio en aquellas que tratan o no el agua de consumo.....	56
Tabla 15. Concentración de indicadores bacterianos para las familias control que tratan el agua de consumo y las que no la tratan.....	58
Tabla 16. Prueba de muestras independientes para el agua entubada y tratada del grupo control.....	61
Tabla 17. Concentración de indicadores bacterianos para familias que utilizan el filtro de agua de cerámica negra y las que no lo hacen.....	62
Tabla 18. Prueba de muestras independientes para el agua entubada y la filtrada del grupo experimental.....	65

Tabla 19. Valor promedio de <i>E.Coli</i> en el agua entubada de ambos grupos....	66
Tabla 20. Prueba de muestras independientes para el agua entubada de ambos grupos.....	67
Tabla 21. Análisis de las diferencias entre los grupos que tratan el agua de consumo.....	71

1. CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La superficie terrestre está cubierta por agua en un 71 %, del cual únicamente el 3% es agua dulce, siendo las principales fuentes de este recurso las continentales por ejemplo: lagos y ríos. El agua proveniente de estas fuentes superficiales no son microbiológicamente seguras, por lo que requiere ser potabilizada (Baque *et al.*, 2016). América Latina, particularmente, es una región muy rica en cuanto a estos recursos no obstante algunas poblaciones de esta región no poseen acceso a servicios de agua potable y saneamiento (Portillo, 2015). Esto representa un problema de salud ya que las personas de estos sitios utilizan agua derivada de estas fuentes para consumo directo y por lo general son puntos de infección de bacterias, parásitos y virus que en su mayoría causan enfermedades entéricas (Ugwu, Edeani, Ejikeugwu, Okezie, Ejiofor, 2017), las cuales provocan alrededor del mundo que aproximadamente 1,5 millones de personas mueran anualmente (Cohen y Colford, 2017, pp 1362-1377).

La calidad del agua es un término utilizado para describir las características físicas, químicas y biológicas. Cuando es idónea para su consumo tiene la capacidad de ser utilizada en las distintas actividades humanas. Pero, existen factores que pueden cambiar el estado óptimo del agua ya sea por eventos naturales o por causas externas deteriorando su calidad, esto se conoce como contaminación (Ríos, Agudelo y Gutiérrez, 2017, pp. 236-247). La contaminación del agua se puede producir principalmente por la desembocadura de las aguas residuales en cuerpos de agua, al igual que por desechos químicos e industriales, la utilización de fertilizantes en la agricultura, actividades ganaderas, mal manejo de los desechos de los animales y por la explotación minera y petrolera (Gómez, 2018) y (Solís y López, 2003).

Los indicadores de contaminación fecal se utilizan como métodos para detectar la calidad microbiológica del agua mediante la ausencia o presencia de la bacteria *E. coli* (Calvo, 2010, pp. 196–217) La importancia de los indicadores de contaminación fecal es que poseen un comportamiento parecido al de los microorganismos patógenos. Entre los bioindicadores de mayor importancia se pueden citar a las enterobacterias cuya detección es dependiente de un cultivo (Ríos, Agudelo y Gutiérrez, 2017) y (Molina y Lowe, 2014, pp. 136-144).

Una alternativa eficiente y de fácil acceso para incrementar la seguridad del agua en las poblaciones vulnerables (zonas rurales) que se encuentran en países de bajos ingresos, es la aplicación de tratamientos de agua a nivel domiciliario y su almacenamiento seguro “TANDAS” (Hunter, 2009, pp. 8991–8997). Los métodos se pueden clasificar en físicos, químicos y de calor como por ejemplo, la ebullición, la precipitación y la filtración (Pérez, Díaz, Salamanca y Rojas, 2016).

1.2 Planteamiento del Problema

En América Latina alrededor del 15% de la población (77 millones de personas) no tiene acceso a servicios de agua potable en efecto, se considera que de este porcentaje 26 millones de personas (33,77%) corresponden a zonas urbanas, mientras que 51 millones de personas (66.23%) corresponden a zonas rurales. Esto demuestra que aún existen brechas en la cobertura del servicio de agua potable entre áreas rurales y urbanas (Jouravlev, 2004). Por lo que estas personas recurren a fuentes de agua alternativas como quebradas, ríos, pozos y otros cuerpos de agua que no poseen un pretratamiento y que se encuentran contaminadas por agentes biológicos (SENAGUA, 2016).

Existen varios factores que influyen en la disponibilidad de agua apta para el consumo humano, principalmente por la falta de protección de las fuentes de agua para evitar la contaminación por actividades humanas y ganaderas (Mejía, Castillo y Vera, 2016). De esto se deriva que si no existe un adecuado

manejo o tratamiento de los cuerpos de agua, se encontrarán contaminados a nivel microbiológico. Lo que repercutirá en un riesgo alto en la salud de las personas que utilicen esta agua tanto para los alimentos como para el consumo.

Según datos del año 2015 que han sido reportados por la gaceta epidemiológica en el Ecuador existieron 23,238 casos de infecciones entéricas ocasionados por diversos agentes etiológicos (Parra, Castro, León, Pérez y Bone, 2017). Específicamente en una de las zonas rurales donde se desarrolló el estudio correspondiente a la Parroquia de Nanegal, se encontró que el 27% de los casos atendidos en el subcentro de salud se deben a diarrea y enfermedades parasitarias (Plan De Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia Nanegal, 2015). Es por esto que, en estas poblaciones donde no se cuenta con acceso agua potable, es necesario garantizar una alternativa segura de tratamiento del agua de consumo.

1.3 Objetivo General

Evaluar el impacto del uso de los Filtros de Agua de Cerámica Negra en la calidad del agua de consumo y la aceptación entre los hogares de una comunidad del noroccidente de Pichincha.

1.4 Objetivo Específico

- Elaborar una línea de base enfocada en el análisis microbiológico y viral del agua de consumo en las parroquias de Nanegal y Gualea.
- Realizar un seguimiento en una comunidad, a determinar por la línea de base, sobre la calidad del agua de consumo entre los usuarios de la tecnología de Filtros de Agua de Cerámica Negra y usuarios control.

1.5 Justificación del Trabajo

El consumo de agua no potable genera una alta mortalidad alrededor del mundo, ya que aproximadamente 502,000 personas mueren al año a causa de diarrea aguda. Especialmente los niños menores a cinco años de edad que representan un grupo vulnerable. En general las enfermedades infecciosas entéricas como la diarrea contribuyen al desarrollo de otras patologías relacionadas con la desnutrición y deterioro del desarrollo cognitivo y crecimiento físico, debido a una reducción en la absorción de nutrientes por parte del cuerpo (Clasen, 2015, pp 69-74). Cabe recalcar que esta problemática se presenta en mayor medida en países con bajos ingresos por lo cual, una de las soluciones en las cuales incurren políticas internacionales referentes al medio ambiente se centran en el desarrollo de TANDAS eficaces que permitan potabilizar el agua, haciendo hincapié en un adecuado almacenamiento (OMS, 2015).

Es así que los habitantes de estos países, en particular aquellos que viven en zonas rurales recurren a los distintos tipos de métodos que existen para llevar a cabo tratamientos domiciliarios del agua de consumo, con el fin de obtener una calidad microbiológica óptima. Entre los TANDAS más utilizados se destacan la cloración, ebullición y desinfección solar (Hunter, 2009, pp. 8991–8997). No obstante, cada uno de estos métodos presenta limitaciones en cuanto a la eliminación de patógenos distintos a bacterias como son protozoarios y virus, siendo este último uno de los agentes etiológicos que provoca enfermedades entéricas en mayor proporción que cualquier otro.

Otro método que permite la eliminación de los dos últimos agentes etiológicos descritos, se conoce como filtración a través de cerámica negra. Este prototipo desarrollado por la Dra. Laura Guerrero y colaboradores que ya ha sido probado en laboratorio, se caracteriza por ser una tecnología económica, de fácil manejo y con una alta eficacia en la remoción del 99% de protozoarios y

enterobacterias, y del 99,9% de virus entéricos del agua de consumo (Guerrero-Latorre *et al.*, 2015, pp. 30-35). Por lo cual su aplicación en un contexto real resultaría en una alternativa eficaz para la reducción en las incidencias de infecciones entéricas. Por otro lado, los barrios de las parroquias de Nanegal y Gualea son una población ideal y significativa para dicha aplicación, ya que del total de pobladores de estas parroquias 964 y 504 habitantes son niños y jóvenes cuya edad se encuentra comprendida entre los 0 a 15 años, los cuales son más propensos a padecer infecciones gastrointestinales como se mencionó anteriormente (Sistema Nacional de Información, 2017).

2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Acceso al agua potable

Según la declaración del año 2015 de las Naciones Unidas, el agua es un elemento esencial para la vida y debe estar disponible para todas las personas. Siendo este un recurso que debe ser accesible, suficiente e inocuo. Los Estados miembros están obligados a tomar medidas para garantizar el derecho al agua sin discriminación alguna, ya que un suministro adecuado del agua es necesario para disminuir el riesgo de enfermedades relacionadas con el agua, prevenir decesos por deshidratación y cumplir con las necesidades de consumo, uso personal y doméstico (Organización de las Naciones Unidas, 2015). Es por esto que el abastecimiento seguro de agua potable representa un derecho que se encuentra reconocido en la constitución de algunos países como la de Ecuador, Bolivia, República Democrática del Congo, Sudáfrica, Uganda y Uruguay. Así como también el acceso al agua potable y saneamiento se encuentra implícito en los tratados internacionales de los derechos humanos como por ejemplo en los Convenios de Ginebra (1949) y sus protocolos adicionales (1977), así como también en el pacto de los derechos de la Naciones Unidas (2010). A pesar de esto, se ha visto que la falta de cobertura de agua potable se presenta principalmente en países del África subsahariana

con 510 millones de personas y en Asia con 260 millones de personas (Organización Mundial de la Salud, 2015). Tal y como se muestra en la Figura 1.

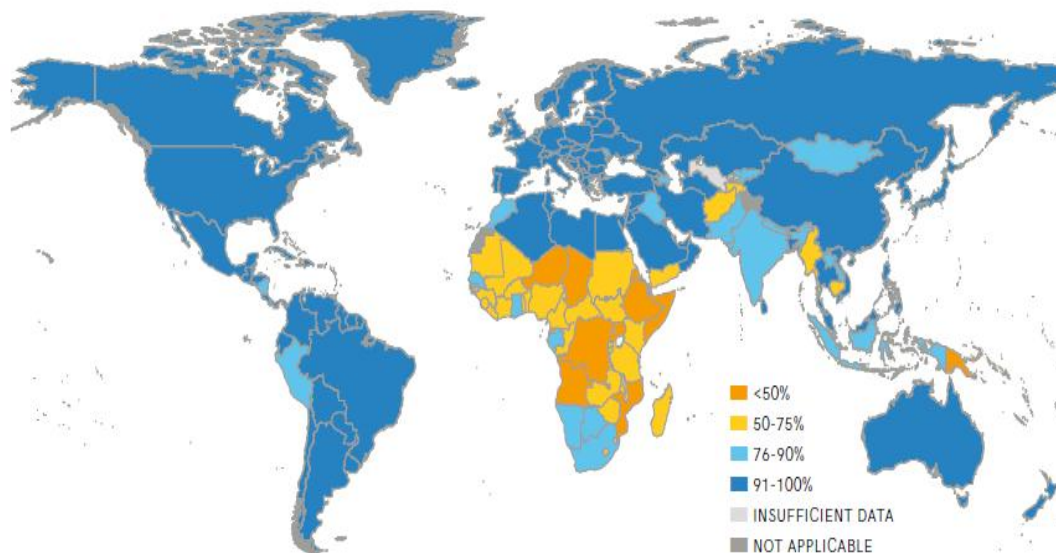


Figura 1. Cobertura de agua potable a nivel mundial.
Tomado de: UNICEF y WHO, 2017

2.1.1 América Latina

América Latina posee abundantes recursos hídricos como aguas oceánicas, lagos, ríos y agua subterránea. Sin embargo, este recurso natural se distribuye desigualmente en el espacio y en el tiempo, y en muchos casos no coincide con la demanda de la población existente. Por ejemplo, en el caso del Perú, más del 50% de la población se localiza en la vertiente pacífica, que solo cuenta con el 1,8% de la disponibilidad hídrica del país (Ballesteros *et al.*, 2015). En el caso del Ecuador para el año 2014 el acceso al agua existente en la zona urbana y rural de la región Sierra fue del 99,20% y 92,16%, a diferencia de la región Costa donde el acceso en estas dos zonas fue del 91,19% y 57,99% respectivamente (SENAGUA, 2016).

Para el año 2015 aproximadamente 5,200 millones de personas (71%) a nivel global tuvieron acceso a agua potable, de los cuales América Latina presentó un acceso de apenas un 65% del total de su población la cual se encuentra

representada en su mayoría por zonas urbanas como se observa en la Figura 2. En el caso de las áreas rurales de esta parte del continente, la cobertura es aún una meta planteada en los ODM (Objetivos de Desarrollo del Milenio). A este problema se suma el hecho de que únicamente el 49% del agua presente en América Latina y el Caribe es apta para su consumo ya que el 51% restante se encuentra contaminada. Lo que representa una incidencia directa en la calidad de vida de las personas.

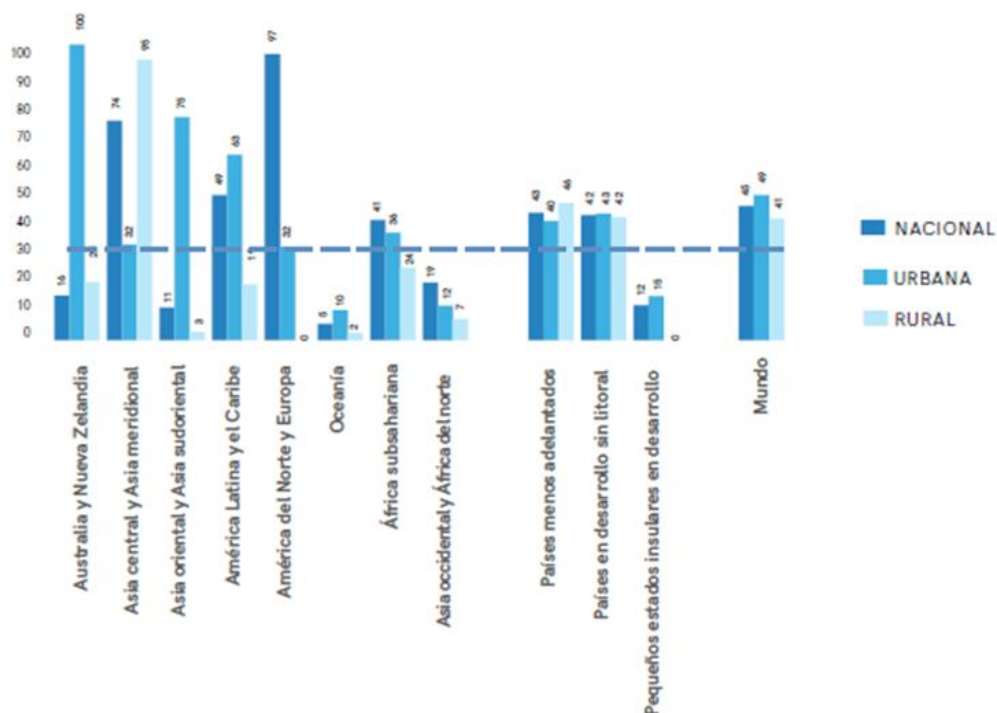


Figura 2. Acceso a agua libre de contaminación para el 2015 a nivel global. Tomado de: OMS, 2017

Según datos del 2015, en América Latina 31 millones de personas no poseen un acceso total a sistemas públicos de agua, de las cuales 20 millones de personas pertenecen al área rural, como sucede en países como Colombia, Costa Rica, Nicaragua y Venezuela (Organización Mundial de la Salud, 2015).

El reto aún está en lograr el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), para alcanzar la cobertura universal para el año 2030 mediante la provisión de servicios de calidad, económicamente asequibles, seguros y equitativos. Además de que se han realizado importantes reformas

de los sectores de agua y alcantarillado como el establecimiento de un marco legal moderno, la creación de instituciones reguladoras y una mayor participación del sector privado en la operación de los sistemas (Ballesteros *et al.*, 2015).

2.1.2 Ecuador

El Gobierno del Ecuador ha situado al sector del agua potable y saneamiento en un espacio importante dentro de la agenda de desarrollo del país. La Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) presenta la Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento (ENAS), con el objeto de establecer los pasos a seguir para alcanzar en los próximos diez años, el acceso universal a los servicios de agua potable y saneamiento de calidad, digno y sostenible tanto para la zona urbana como rural (SENAGUA, 2016).

La cobertura de servicios básicos en especial de agua potable para el sector urbano ha ido creciendo conforme el paso del tiempo, para el año 2012 existió un 74,5% y para el año 2016 la cifra alcanzó el 83,6%. En el caso del saneamiento para el año 2012 se encontró en 93,2% hasta alcanzar un 95,2% en el año 2016 (Pozo *et al.*, 2016, pp. 14-15). No obstante, esta situación no es la misma para las zonas rurales donde la cobertura de agua potable proporcionada por los municipios es del 72,4% y por las juntas de agua es del 27,6% para el año 2016 (Cando, 2014).

2.1.3 Noroccidente de Pichincha

En la parte noroccidental de la provincia de Pichincha se encuentran distintas parroquias, las cuales son: Nanegalito, Nono, Pacto, Gualea y Nanegal en donde habitan más de 13,350 personas. Siendo las dos últimas parroquias aquellas en donde se desarrolla el estudio debido a que no poseen una cobertura de servicios básicos adecuada, destacándose el agua potable.

Además, se encuentran apenas 84 y 78 km de distancia de Quito respectivamente.

El territorio de ambas parroquias se encuentra bañado por la cuenca del río Esmeraldas al igual que el de la sub cuenca del río Guayllabamba, además de otras microcuencas y drenajes menores. En general, se encuentran formadas por una cabecera parroquial (centros muy poblados) y barrios aledaños. Los primeros disponen de agua procedente de red pública y los segundos se abastecen mediante autogestión al realizar captaciones a partir de cuerpos de aguas cercanos a los poblados los cuales no poseen un tratamiento previo como se puede apreciar en la Tabla 1. En el caso del alcantarillado menos de la mitad de la población cuenta con este servicio, siendo que para la parroquia de Nanegal apenas el 39,67% de la población se encuentra cubierta y, para la parroquia de Gualea la cifra es de 13,41% (Mora, 2012) y (Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Parroquia Nanegal, 2015).

Tabla 1.

Abastecimiento de agua en la parroquia de Nanegal y Gualea.

	Parroquias			
	Nanegal		Gualea	
Procedencia	Total de viviendas	Porcentaje de cobertura	Total de viviendas	Porcentaje de cobertura
De red pública	499	65,9%	251	45,0%
De pozo	10	1,3%	15	3,0%
De río, vertiente, acequia o canal	236	31,1%	248	44,0%
De carro repartidor	0	0,0%	0	0,0%
Otro (Agua lluvia/ albarrada)	12	1,6%	45	8,0%
Total	757	100%	559	100%

Tomado de: Mora, 2012; Plan De Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia Nanegal, 2015.

Según la legislación nacional del Ecuador los gobiernos autónomos descentralizados (GADs) cantonales, tienen la responsabilidad de la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento en la zona rural. El esfuerzo inversor en agua y saneamiento de los GADs municipales se centra en cabeceras parroquiales y áreas rurales concentradas (SENAGUA, 2016). A pesar de esto, las fuentes de agua existentes se ven afectadas por distintas actividades antropogénicas, resultando en la contaminación del agua.

2.2 Contaminación microbiológica del agua

La calidad del agua se ve afectada por diversos factores de carácter químico y biológico que terminan alterando las características microbiológicas y fisicoquímicas de esta.

2.2.1 Fuentes de contaminación

Entre las diferentes fuentes de contaminación microbiológica para cuerpos de agua, se describen: excretas de origen humano o de animales de sangre caliente debido a la cercanía de núcleos zoológicos (actividades ganaderas), o descargas de efluentes procedentes de aguas residuales debido a fugas de alcantarillado y finalmente aguas de escorrentías como se muestra en la Figura 3 (Rodríguez, Martínez y Hernández, 2006).

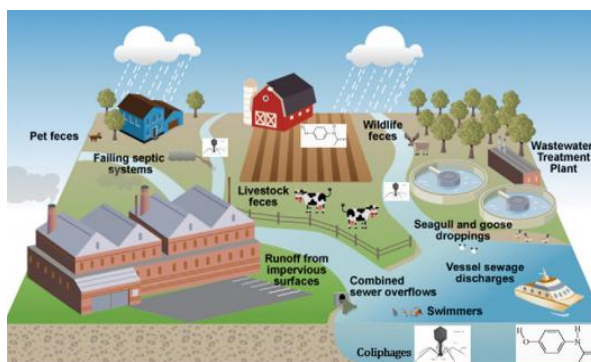


Figura 3. Fuentes de contaminación fecal para cuerpos de agua. Tomado de: Tran, Gin y Ngo, 2015, pp. 38-40.

2.2.2 Indicadores bacterianos

La medición de la calidad de agua en términos microbiológicos, representa el análisis de la presencia o ausencia de indicadores bacterianos. Este término se aplica para describir aquellas bacterias que se encuentran presentes en las heces fecales de los animales de sangre caliente. Su detección y cuantificación en agua mediante el uso de métodos bacteriológicos señala que se ha producido una contaminación fecal, además sugiere la presencia de otras bacterias que pueden ser patógenos entéricos (Gerba, 2014, pp 485-487). Estos Indicadores se dividen en subgrupos tal como lo muestra la Figura 4.

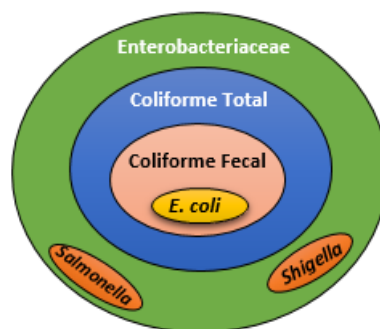


Figura 4. Indicadores de contaminación fecal, grupo Coliforme.
Adaptado de: Gerba, 2014, pp 485-487.

2.2.2.1 Características de un buen indicador

Un indicador bacteriano se caracteriza por ser idóneo al cumplir con ciertos criterios los cuales son: encontrarse en grandes cantidades tanto en el intestino o en las heces humanas y de animal de sangre caliente, no presentar una proliferación fuera de este, no deben ser patógenos y su detección mediante la aplicación de metodologías microbiológicas simples debe ser fácil, económica y confiable. Por otro lado, deben poseer un comportamiento semejante al de las bacterias patógenas frente a la desinfección en agua y dentro de una muestra de este líquido su número debe ser mayor que el de las bacterias patógenas (Cabral, 2010, pp. 3657–3703).

2.2.2.2 Tipos de Indicadores bacterianos

Los principales grupos de indicadores de contaminación fecal que se utilizan son:

2.2.2.2.1 Coliformes Totales

Son bacterias cuya forma es bacilar, las cuales pertenecen a distintos géneros como: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter*. Su detección se realiza a partir de pruebas microbiológicas sencillas como es el caso del cultivo en medios selectivos, por ejemplo: el uso de agares cromogénicos en los cuales a través de la hidrólisis de la lactosa generada por la actividad enzimática que posee la bacteria, estas adquieren un color característico que facilita su identificación (Larrea, 2016, pp. 8).

2.2.2.2.2 Coliformes Fecales

Son bacterias de la familia Enterobacteriaceae. Pertenecen en general a los géneros: *Enterobacter*, *Kluyvera*, *Leclercia*, *Klebsiella*, *Citrobacter*, *Escherichia* y ciertos miembros de *Serratia*. Forman parte de la microbiota intestinal de animales endotérmicos, su forma general es la de un bastón y son usadas comúnmente como indicadores de la efectividad del tratamiento de agua, así como también de la contaminación fecal que ésta puede presentar (Figueras y Borrego, 2010, pp. 4179-4202).

2.2.2.2.3 *Escherichia Coli*

Bacteria que pertenece a la familia Enterobacteriaceae, habita normalmente el tracto intestinal de humanos y animales de sangre caliente. Presenta una forma de varilla recta, es termo tolerante y catalasa positiva. Se divide en tres grupos los cuales son: en primer lugar *E. coli* extraintestinal, estas son cepas que habitan fuera del intestino y que pueden llegar a ser patogénicas, en segundo

lugar *E. coli* diarreogénica, ciertos serotipos de esta clase son causantes de infecciones gastrointestinales y, finalmente *E. coli* comensal, estas cepas son inofensivas para el ser humano (Sadowsky y Whitman, 2011, pp. 28-30).

En general las bacterias del grupo coliforme son Gram negativas, aerobias o anaerobias facultativas, no forman esporas, son tanto oxidasa e indol negativas, fermentan lactosa en un rango de temperatura la cual va desde los 35°C a los 45°C y finalmente se encuentran en las heces fecales a una concentración de 10^7 - 10^9 ufc/g. No obstante, las deficiencias que presentan estos indicadores de contaminación fecal se basa en que poseen la capacidad de proliferar libremente en el ambiente como es el caso de suelo y agua, no presentan un riesgo para la salud y no se encuentran relacionados con otro tipo de agentes biológicos patógenos como son virus y/o protozoarios entéricos (Gerba, 2014, pp 485-487).

2.2.3 Trazadores Virales

El término trazador hace referencia a aquel agente natural (biológico) o no natural (químico) el cual permite determinar la procedencia de un determinado contaminante. Al igual que los indicadores bacterianos (coliformes fecales) y colifagos (virus que utilizan específicamente *E. coli* como hospedero) los virus entéricos son potenciales marcadores de contaminación fecal para aguas superficiales. Estos son excretados a través de las heces y orina de los huéspedes que se encuentran infectados, siendo que cada uno de ellos es específico para una determinada especie. Entre los virus usados con este propósito de manera común se pueden detallar a enterovirus (EV), adenovirus (AdV) y poliomavirus (PyV). La detección de estos trazadores se realiza a partir de diversas técnicas entre ellas las moleculares como la reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa (qPCR). Cabe mencionar que los posibles inconvenientes del uso de virus entéricos como marcadores depende en gran medida de factores ambientales tales como: la región geográfica y la estación climática. (Tran, Gin y Ngo, 2015).

2.2.3.1 Adenovirus Humano

Son virus entéricos altamente específicos para un huésped en particular, utilizados como indicadores de contaminación fecal humana debido a su alta persistencia y prevalencia en ambientes acuáticos como cuerpos de agua contaminados (Wong, Fong, Bibby y Molina, 2012, pp. 152-153).

En promedio la concentración de este virus en las heces fecales es de aproximadamente 10^5 - 10^8 ufp/g. En ambientes externos como aguas superficiales contaminadas, por ejemplo en los ríos la concentración puede llegar a 10^2 ufp/L (Bagdasarjan, 1979). El tamaño que presentan es de aproximadamente 70-90 nanómetros, posee ADN bicatenario, su método de infección es a través de lisis celular, a partir de la replicación de su ADN se liberan posterior a ocho horas un total de 10^4 - 10^5 partículas virales (Guzman y Feuerstein, 2004, pp. 198-186). En el caso específico del adenovirus humano (HAdV) este pertenece a la familia *Adenoviridae* y al género Mastadenovirus en el cual se encuentran siete subgéneros representadas por las letras A hasta la G de los cuales varios serotipos llegan a producir enfermedades como miocarditis, hepatitis, conjuntivitis, neumonía y gastroenteritis. En el caso de la gastroenteritis aguda los serotipos 40 y 41 son los más relacionados con esta infección teniendo una mayor repercusión en grupos vulnerables como niños o adultos que sean inmunocompetentes (Ghebremedhin, 2014, pp. 26-27).

2.3 Enfermedades relacionadas con el consumo de agua y alimentos contaminados.

Para que se produzca una enfermedad transmitida por agua y alimentos (ETA), el patógeno o sus toxinas deben estar presentes en cantidades suficientes que provoquen una infección en un huésped susceptible (FAO, 2009). Existen dos tipos de ETA: infecciones e intoxicaciones alimentarias. El primer tipo se produce debido a la ingesta de agua o alimentos contaminados con agentes etiológicos como parásitos, virus, bacterias y hongos que al entrar en el aparato

gastrointestinal pueden multiplicarse y producir toxinas. Mientras que, las intoxicaciones alimentarias se producen por el consumo de toxinas de origen vegetal o animal, así como también de sustancias químicas (Ortega y Hernández, 2017, pp. 44-51).

Los síntomas clínicos debido a los ETA incluyen vómito y diarrea comúnmente, aunque también se pueden producir dolores abdominales, fiebre y dolor de cabeza (FAO, 2009).

Las principales enfermedades relacionadas al agua y alimentos son:

Cólera: enfermedad infecciosa transmitida por la bacteria *Vibrio cholerae*, que vive en el agua, se aloja especialmente en el intestino de la persona infectada, e incluye síntomas como diarrea y vómito (Fuentes y Gómez, 2016).

Diarrea: enfermedad asociada a la ingesta de agua y alimentos contaminados con agentes biológicos como bacterias, virus o parásitos, que provocan descargas frecuentes de heces en forma acuosa, vómitos y dolores abdominales. Los cuales pueden llegar a ser crónicos

Disentería amebiana: provocada por un tipo de parásito que proviene de fuentes de agua contaminada con quistes de amebas. Este parásito se establece en el intestino de la persona infectada y genera diarrea con flujo de sangre (Fuentes y Gómez, 2016).

Fiebre Tifoidea: enfermedad infecciosa causada por *Salmonella typhi* que se transmite por agua o alimentos contaminados. Entre los síntomas se destaca la fiebre prolongada, dolor de cabeza agudo, náuseas, dolor abdominal y cansancio. Esta bacteria se encuentra en el intestino y en la sangre, puede provocar la muerte (Jurado, Arenas, Doblaz, Rivero, y Torre, 2010).

Hepatitis: es una enfermedad infecciosa del hígado causada por virus. Existen diferentes tipos como Hepatitis A y Hepatitis E que se transmite por vía fecal-

oral de agua y alimentos contaminados. Posee carácter epidémico en lugares que no cuentan con el tratamiento adecuado de aguas servidas (Cordeiro *et al.*, 2006, p. 477).

Shigelosis: conocida también como disentería bacilar, es una infección transmitida por vía fecal-oral a través del contacto directo con personas infectadas o por alimentos contaminados, con una baja dosis infectiva. Es causada por bacterias del género *Shigella*, se trata de bacilos Gram negativos, en donde, su hábitat es el colon de animales y humanos (Renapra, 2014).

Este tipo de enfermedades provocan una alta morbilidad y mortalidad en las personas a nivel mundial, para ejemplificar en la Tabla 2 se cita algunas de ellas.

Tabla 2.

Principales Enfermedades Infecciosas con datos sobre la mortalidad y morbilidad anual relacionada con agua deficiente.

Enfermedad	Agente etiológico	Morbilidad	Mortalidad
Diarrea (disentería, cólera)	Virus. -Rotavirus. -Norovirus. Bacterias. - <i>E. coli</i> . - <i>Shigella sp.</i> - <i>Salmonella sp.</i> - <i>Vibrio sp.</i> - <i>Campylobacter sp.</i> Protozoos. - <i>Giardia lamblia.</i> - <i>Cryptosporidium parvum.</i> - <i>Entamoeba histolytica.</i>	4 mil millones personas (anuales)	1,8 millones personas
Hepatitis A	Virus de la Hepatitis A.	1,4 millones personas	desconocido
Hepatitis E	Virus de la Hepatitis E.	20 millones personas	70,000 personas
Fiebre tifoidea y paratifoidea	<i>Salmonella sp.</i>	26 millones personas	216,000 personas

Adaptado de: WHO, 2008

Según estimaciones de la Organización Mundial de la Salud, la diarrea ocupa un puesto destacado entre las enfermedades más comunes debido al agua contaminada, por ende, existen cuatro mil millones de casos anuales de diarrea, atribuidos a la insalubridad del agua y a las deficiencias de higiene y saneamiento. Por tanto, anualmente aproximadamente un millón ochocientos mil personas mueren de enfermedades diarreicas, siendo la mayoría de ellas, niños menores de cinco años de edad. Este tipo de enfermedad tiene mayor impacto en los niños porque reduce la capacidad de absorción de calorías y nutrientes, por ende, retrasa el crecimiento y desarrollo (WHO, 2007).

2.3.1 Principales agentes etiológicos transmitidos por el agua

Microorganismos como bacterias, virus, protozoos o parásitos perniciosos pueden comprometer la salud de las personas cuando contaminan las fuentes de agua con restos de heces fecales, muchos de ellos son capaces de infectar tanto a humanos como a animales (Bridle, 2014).

2.3.1.1 Agentes Bacterianos: procedentes del tracto gastrointestinal de humanos y animales, penetran la mucosa intestinal y ahí se multiplican. Las bacterias tienden a adherirse y a colonizar, lo que les permite multiplicarse en sitios específicos, mayormente son bacterias Gram negativas, su presencia se asocia con contaminación fecal. Como por ejemplo: *Escherichia coli*.: (patógeno) causante de enfermedades gastrointestinales, *Salmonella typhi* y *Salmonella spp*: causante de la fiebre tifoidea, *Shigellae dysenteriae*: causante de la diarrea sangrante (Ríos, Agudelo y Gutiérrez, 2017).

2.3.1.2 Agentes Virales: Poseen tamaños entre 20 a 300 nm, los virus gastroentéricos se replican en el intestino provocando diarrea aguda a crónica. Los virus son específicos de especie y de tejido. Varios de estos patógenos tienen tropismos secundarios que pueden causar poliomiелitis, meningitis o hepatitis (Bridle, 2014). Son la causa principal de morbilidad y mortalidad, el 87% de los casos de enfermedades virales transmitidas por el agua se deben a

el virus de la Hepatitis A y E, Rotavirus, Adenovirus y Norovirus causantes de la gastroenteritis infantil (Ríos, Agudelo y Gutiérrez, 2017).

2.3.1.3 Agentes Protozoarios: Representan un grupo diverso de organismos eucariontes unicelulares. Son organismos oportunistas causantes de enfermedades diarreicas, que se encuentran en forma de ooquistes, quistes y trofozoitos. Algunos son resistentes a la cloración. Entre los protozoarios patógenos se encuentran: *Giardia lamblia*, *Giardia intestinalis*, *Balantidium coli*, *Cryptosporidium spp*, etc. (Mondaca y Campos, 2005, pp 155-167).

2.3.3 Incidencia en el Ecuador

La tasa de incidencia de una enfermedad se define como la frecuencia de aparición de nuevos casos en un intervalo de tiempo determinado, es decir, brinda información sobre la posibilidad de desarrollar la enfermedad (Dunn y Clark, 2009).

Se conoce como infección gastrointestinal al conjunto de síntomas originados por la ingesta de agua y/o alimentos que contengan agentes biológicos, tales como bacterias o parásitos, o a su vez no biológicos, como metales pesados o plaguicidas y que afecten a la salud del consumidor en forma aguda o crónica.

Según un análisis epidemiológico de la Organización Panamericana de la Salud, 2008, en el Ecuador se observa que las enfermedades predominantes son las infecciones respiratorias agudas, enfermedades diarreicas, enfermedades inmunoprevenibles, malaria, tuberculosis pulmonar, anemia y desnutrición crónica. Lo que se atribuye a factores como el nivel de desarrollo del país y el nivel de pobreza. Por otro lado, según registros del Ministerio de Salud Pública del Ecuador en el año 2015, la parasitosis intestinal ocupa el segundo lugar con un porcentaje de incidencia del 6,86%, mientras que la diarrea y gastroenteritis ocupa el sexto lugar con una incidencia del 3,23% (DNEAIS, 2016).

Cabe recalcar que la presencia de microorganismos patógenos en el agua de consumo presenta mayor riesgo en áreas vulnerables, como zonas rurales que posee mayor densidad poblacional y no cuenta con disponibilidad de agua potable (Apella y Araujo, 2005, pp 33-50).

2.3.4 Incidencias en el Noroccidente de Pichincha

La información epidemiológica de cada parroquia sobre las principales enfermedades que se presentan mayormente y que sustentan la investigación de este trabajo, fueron obtenidas a partir de la base de datos de la página web del Ministerio de Salud Pública del Ecuador. En esta página se identifican todos los casos referentes a enfermedades transmitidas por agua y alimentos dentro del año 2015, así como el número de casos específicos en la parroquia de Nanegal y Gualea. Como se muestra en la Tabla 3, en negritas se resaltan las principales enfermedades de interés para esta investigación son: parasitosis intestinal, diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso e infección intestinal bacteriana no especificada (DNEAIS, 2016).

Tabla 3.

Principales causas de morbilidad en las parroquias de Nanegal y Gualea

Nº	Nanegal	Casos	Total casos (%)	Gualea	Casos	Total casos (%)
1	Rinofaringitis aguda	243	9,96 %	Parasitosis intestinal	226	11,04 %
2	Parasitosis intestinal	221	9,06 %	Amigdalitis aguda	204	9,97 %
7	Infección de vías urinarias	76	3,20 %	Diarrea y gastroenteritis de presunto origen infeccioso	54	2,64 %
13	Infección intestinal bacteriana no especificada	47	1,93 %	Dorsalgia no especificada	30	1,47 %
14	Diarrea y gastroenteritis	46	1,89%	Sinusitis aguda no especificada	28	1,37 %

	de presunto origen infeccioso					
--	-------------------------------	--	--	--	--	--

Adaptado de: MSP, 2015

2.4 Tratamientos de agua a nivel domiciliario y su almacenamiento seguro (TANDAS).

A nivel mundial y de manera específica en países en vías de desarrollo, las poblaciones urbanas y rurales poseen en su mayoría acceso a fuentes de agua mejorada, las cuales poseen un alto potencial para proporcionar agua de consumo debido a su diseño y construcción. No obstante, en varias ocasiones el agua suministrada por muchas de estas fuentes no se encuentra libre de contaminación microbiológica (UNICEF y WHO, 2017). En general estos agentes biológicos son los causantes mayoritarios de infecciones entéricas que generan una alta morbilidad y mortalidad. Los tratamientos de agua en el hogar y el almacenamiento seguro (TANDAS) son la alternativa más eficaz para la mejora de la calidad microbiológica del agua de consumo permitiendo su uso a largo plazo y de manera constante, además se caracteriza por ser económica y permiten una educación sobre saneamiento e higiene en las familias que lo practican, lastimosamente estos tratamientos solo se pueden aplicar a volúmenes pequeños de agua. (Clasen, 2015).

2.4.1 Tipos de Tratamientos

Los principales tratamientos del agua de consumo se basan en procesos físicos de desinfección, sedimentación y filtración, como se puede apreciar en la Figura 5. Estos permiten una desactivación o eliminación de los microorganismos, siendo que en el caso de la sedimentación se retiran aproximadamente más del 50% de patógenos con un tamaño de partícula grande, mientras que en la filtración se logra remover más del 90% de patógenos con un tamaño de partícula pequeña (Hunter, 2009, pp. 8991–8997).

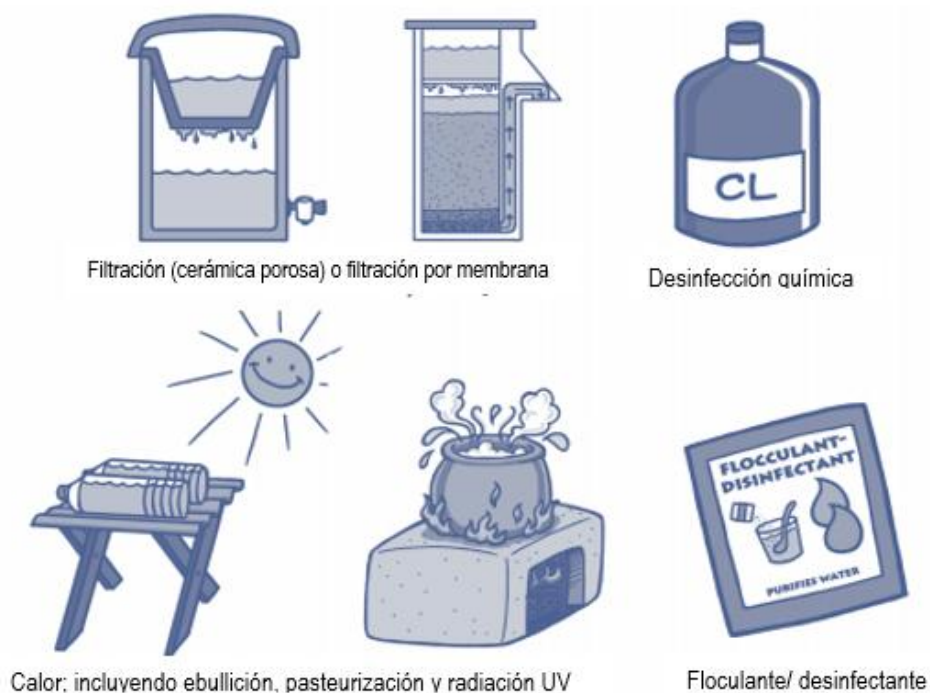


Figura 5. Principales tratamientos de agua domiciliar.
Adaptado de: Khush, Lantagne y Montgomery, 2012

Los métodos que engloban cada una de estas técnicas se detallan a continuación (CAWST, 2011):

2.4.1.1 Desinfección

2.4.1.1.1 Cloración

Proceso por el cual se añade productos clorados como hipoclorito de sodio, lejía o trocloseno sódico (NaDCC) en un volumen determinado de agua por un tiempo aproximado de 30 minutos. La dosis idónea es igual o mayor a 0,5 mg/L donde se logra una reacción de oxidación de los microorganismos, eliminando o inactivando aproximadamente el 99,99% de bacterias entéricas. No obstante, una alta dosificación puede llegar a afectar características organolépticas del agua como su sabor, así como también su pH. En el peor de los casos pueden producirse reacciones con la materia orgánica generando trihalometanos los cuales son cancerígenos (Curtis *et al.*, 2012, pp. 155-156).

2.4.1.1.2 Ebullición de agua

Este proceso se basa en la exposición del agua a un hervor progresivo hasta que alcance una temperatura de 100°C por aproximadamente 1 a 3 minutos dependiendo del volumen. Esta técnica es muy efectiva para la eliminación de patógenos en agua sin embargo, se debe tener cuidado de una recontaminación del líquido posterior al tratamiento. Además es muy costosa en cuanto a consumo energético por lo cual muchas personas optan por otros tratamientos (CAWST, 2011).

2.4.1.1.3 SODIS (Desinfección solar)

Este proceso se basa en ubicar agua en el interior de botellas transparentes de plástico (PET) las cuales se exponen al sol por aproximadamente 6 horas o más dependiendo del clima, la radiación solar y las altas temperaturas (> 50°C) inactivan la mayoría de agentes patógenos, no obstante, esta técnica es eficaz únicamente para aguas con un mínimo nivel de turbidez (Sobsey, 2004).

2.4.1.2 Sedimentación

2.4.1.2.1 Coagulación química o natural

Esta técnica es muy utilizada para aguas con un alto nivel de turbidez se caracteriza por la adición de sustancias de carácter químico como cloruro de polialuminio y sulfato de aluminio o naturales como extractos de semillas de *Moringa oleifera* a un volumen determinado de agua con el fin de alterar el comportamiento que poseen las partículas en suspensión.

Por lo general estas partículas se encuentran cargadas negativamente, por el contrario, el agente químico o natural añadido se encuentra cargado positivamente. Su diferencia de carga produce que se unan y se neutralicen lo cual resulta en la formación de partículas de un mayor tamaño a los cuales se denominan flóculos que se precipitan o se asientan dentro del recipiente.

Ciertos virus y bacterias suelen unirse a las partículas suspendidas así que, si se reduce el nivel de turbidez de agua también se reduce el nivel microbiológico (American Water Works Association, 2003).

2.4.1.2.2 Sistemas combinados de coagulantes y cloro

Esta técnica se basa en ubicar en un volumen de 10 litros de agua un soluto conocido como purificador de agua (kits comerciales), el cual se encuentra compuesto por distintos agentes químicos. Los coagulantes poseen una carga positiva y atraen químicamente a las partículas disueltas que causan turbidez (cargadas negativamente). Esta unión forma partículas neutralizadas las cuales se conocen como flóculos que se depositan al fondo del recipiente. De igual manera este soluto posee cloro el cual se libera de manera gradual oxidando así a los microorganismos y eliminándolos después de 30 minutos (CAWST, 2011).

2.4.1.3 Filtración

2.4.1.3.1 Filtros de Bioarena

Este filtro se encuentra compuesto por distintas capas de arena (cernida y lavada), además de grava, la cual actúa como medio filtrante, en donde quedan adsorbidos los microorganismos (trampa mecánica). Por otro lado, este tipo de dispositivo genera además un tratamiento biológico del agua debido a que en la parte superior de la arena se forma una biocapa la cual se encuentra compuesta por microorganismos los cuales compiten e inhiben el crecimiento de otros (CAWST, 2011).

2.4.1.3.2 Filtros de cerámica

Este dispositivo nace del diseño realizado por el Dr. Fernando Mazariego en el año 1981, resulta de la mezcla de cáscara de arroz, arcilla, aserrín quemado y

plata coloidal (agente antibacteriano). El siguiente paso es el prensado (en forma de olla) y la cocción, mecanismos que permiten la eliminación de una gran variedad de microorganismos patógenos presentes en el agua. Esto se debe a que la arcilla del cual está compuesto, actúa como lecho filtrante del material sólido que puede encontrarse suspendido en el agua, la cual cae a través de este dispositivo debido a la fuerza de gravedad hacia un recipiente estéril. De igual manera, la plata descompone las membranas celulares o interactúa con los ácidos nucleicos generando muerte celular. (Brown *et al.*, 2007, pp. 13-14)

2.4.2 Filtros de Cerámica negra: historia y producción

La potabilización del agua a través del uso de filtros de cerámica es uno de los TANDAS más ampliamente utilizados por la mayoría de países de bajos ingresos. El modelo más promocionado alrededor del mundo, se basa en el diseño generado por el Dr. Fernando Mazariego en el Instituto Centroamericano de Tecnología Industrial (ICAITI) de Guatemala durante el año 1981, quien combinó materias primas locales con habilidades artesanales para obtener un filtro de agua de cerámica. Su objetivo primordial fue el abordar de manera urgente las necesidades del déficit de agua segura en distintas zonas rurales a lo largo de América Central (Peace, 2006) y (Potters for Peace, 2011).

Posteriormente para el año 1998 este diseño fue refinado y mejorado por Ron Rivera, coordinador de la organización no gubernamental Potters for Peace (PFP) quien buscaba masificar la producción del filtro de cerámica para abastecer de agua a cientos de personas que resultaron afectados por el huracán Mitch que devastó la cuenca central de América del Sur. La mezcla básica de estos filtros se basa en arcilla, material quemado (aserrín) y plata coloidal la cual actúa a manera de bactericida. Posteriormente esta se prensa y se cuece en hornos a aproximadamente 900°C. La fabricación de estos filtros se promovió alrededor de 20 países sudamericanos en donde las condiciones y el proceso de elaboración varían ampliamente (Potters for Peace, 2011).

A partir del 2000 el modelo tradicional ha sido rediseñado y acondicionado por diversos investigadores a nivel mundial con el fin de mejorar la eficacia de remoción microbiológica de esta tecnología (Bielefeldt et al., 2009, p. 3559). Siendo así, que para el año 2014, investigadores de la Universidad de Barcelona (Cataluña-España), desarrollaron un nuevo prototipo denominado filtro de agua de cerámica negra para mejorar la eliminación viral de dicha tecnología (Guerrero-Latorre *et al.*, 2015).

La cerámica de este filtro adquiere una coloración negra debido a que el óxido de hierro del que se encuentra formada su arcilla experimenta una reacción de reducción metálica por el que se forma óxido ferroso. Este fenómeno ocurre durante el proceso de cocción al interior de un horno el cual ha sido adaptado para generar una atmósfera anóxica. El resultado de esta modificación permite la reducción de otros agentes etiológicos como virus que causan en mayor proporción cuadros de diarrea. Los mecanismos por los que se atribuye dicha eliminación son la mayor superficie interna que tiene este tipo de cerámica cocida en atmósfera reductora junto a la carga superficial levemente positiva a un pH 7 lo cual le permite una adsorción de virus entéricos presentes en el agua de consumo, los cuales en su mayoría poseen una carga neta superficial negativa (Guerrero-Latorre *et al.*, 2015, pp. 30-35).

2.4.3 Efectividad microbiológica de los filtros de agua de cerámica negra

Protozoarios, parásitos, bacterias y virus son los agentes etiológicos más comunes que provocan infecciones gastrointestinales. Cada uno de estos microorganismos se caracteriza por poseer un tamaño distinto lo cual se relaciona directamente con su eliminación del agua, cuando esta se trata mediante filtración.

La eficacia de remoción de cada uno de estos patógenos por parte del filtro de cerámica tradicional desarrollado por PFP en escenarios reales (viviendas) fue alta, presentando resultados prometedores. Para el caso de los protozoarios el

filtro logra una reducción mayor al 99% (2-6 Log) lo cual se debe a su gran tamaño ($> 4 \mu\text{m}$), demostrando una ventaja frente a otro tipo de tratamientos ya que a través de la cloración *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium parvum* no son eliminados del agua de consumo. De igual manera, para coliformes fecales (*E. coli*) el porcentaje de reducción se encuentra entre un 95,1% a un 99,99% (1-3 Log) lo cual se debe a que su tamaño aproximado es de $1 \mu\text{m}$. Estos resultados se consiguieron mediante un análisis en laboratorio aplicando pruebas microbiológicas sencillas a muestras de agua procedentes del filtro en distintas zonas geográficas de América del Sur donde fue implementado después del año 1998. Los valores de coliformes fueron menores a 10 ufc / 100 mL, lo cual encaja en un riesgo mínimo para la salud según la clasificación del nivel de riesgo de la calidad de agua de la OMS (Organización Mundial de la salud). Para el caso de virus los resultados de este modelo tradicional fueron nulos ya que no logra su eliminación debido a su tamaño ($<1 \mu\text{m}$), además la plata coloidal usada como componente bactericida no genera ningún efecto frente a este agente biológico (Potters for Peace, 2011).

Es importante mencionar que en algunos países los resultados no fueron positivos y se debía a que las prácticas de almacenamiento y manipulación de esta tecnología no eran correctas por lo cual se generaba una recontaminación del agua tratada (WHO, 2012, pp 1-36).

En comparación con el modelo convencional, el prototipo de cerámica negra desarrollado por la Dra. Laura Guerrero y colaboradores, en condiciones ideales de laboratorio presentó resultados elevados de reducción para estándares bacterianos como *E. coli*, virales como el bacteriófago MS2 y para otro tipo de patógenos. Este grupo de investigadores desarrolló diversos modelos del filtro de cerámica a partir de tres diferentes arcillas cuyos orígenes eran españoles y haitianos, cada uno de estos fue sometido a cocción en una atmósfera oxidante o reductora.

Los resultados de este estudio demostraron en primer lugar una diferencia significativa en cuanto al área superficial obtenida tras la cocción, donde los

filtros que fueron sometidos a una atmósfera reductora poseían una mayor área equivalente a 6,65 m²/g. Por el contrario aquellos que se sometieron a una atmósfera oxidante presentaron un valor menor equivalente a 2,41 m²/g. En consecuencia, los modelos generados en una atmósfera reductora presentaron un eliminación de bacterias y virus del 99% (2.5 Log) y 99,9% (3 Log) respectivamente, tal y como se puede apreciar en la Figura 6. Estos resultados promueven el desarrollo masificado de este prototipo con el fin de aplicarlo en un contexto real, lo cual se realizó en este estudio (Guerrero-Latorre *et al.*, 2015, pp. 30-35).

References	Filter	Micro-organism	Log reduction value			
			Mean	n ^a	Standard deviation	p value
1	CWF-Bisbal-oxidative	HAdV	0.62	18	0.43	ref
		MS2	0.57	8	1.04	
		NoV	0.96	2	0.32	
		<i>E. coli</i>	0.68	12	0.62	
2	CWF-Bisbal-oxidative + Fe ₂ O ₃	HAdV	0.67	10	0.47	0.74
		MS2	0.54	2	0.11	0.27
		<i>E. coli</i>	0.59	8	0.69	0.87
3	CWF-Bisbal-oxidative + Fe ₃ O ₄	HAdV	0.57	9	0.37	0.72
		MS2	0.25	2	0.01	0.26
		<i>E. coli</i>	0.53	8	0.82	0.46
4	CWF-Bisbal-oxidative + Al ₂ O ₃	HAdV	0.85	9	0.37	0.21 ^b
		MS2	0.26	2	0.03	0.27
		<i>E. coli</i>	1.34	7	0.55	0.046
5	CWF-Bisbal-reductive	HAdV	3.54	14	0.73	<0.001 ^b
		MS2	2.33	8	0.61	0.02 ^b
		<i>E. coli</i>	2.32	8	0.85	0.005 ^b
6	CWF-Bisbal-reductive + gravel	HAdV	4.15	2	0.12	0.008 ^b
		MS2	2.97	2	0.11	0.024 ^b
		NoV	3.56	2	0.23	0.667
		<i>E. coli</i>	2.90	2	0.28	0.035 ^b
7	CWF-Artibonite-reductive	HAdV	3.36	2	0.62	0.008 ^b
		MS2	2.98	2	0.12	0.024 ^b
		<i>E. coli</i>	2.37	2	0.47	0.035 ^b
8	CWF-Aquin-reductive	HAdV	2.86	2	0.24	0.008 ^b
		MS2	1.27	2	0.02	0.027 ^b
		<i>E. coli</i>	2.40	2	0.43	0.035 ^b

^an = number of assays.

^bSignificance levels of 5% or less (p ≤ 0.05).

Figura 6. Eficacia de reducción microbiológica de los distintos prototipos de filtros cerámicos desarrollados en diversas condiciones.
Tomado de: Guerrero-Latorre, *et al*, 2015

3. CAPÍTULO III. DISEÑO DEL PLAN EXPERIMENTAL

El propósito de esta investigación es evaluar el impacto de la implementación de una tecnología descentralizada en un contexto rural que permita potabilizar agua y mejorar la calidad de vida de las personas. Para lo cual se llevó a cabo una investigación cuya metodología es de carácter exploratoria. El estudio se dividió en dos etapas como se puede apreciar en la Figura 7.

Dentro de la primera etapa, llamada línea de base, el estudio se llevó a cabo en distintos barrios de las parroquias de Nanegal y Gualea que no presentan abastecimiento de servicios básicos de agua potable y saneamiento. Dentro de estas comunidades se aplicaron encuestas tipo CAP las cuales nos permitieron conocer sobre conocimientos, aptitudes y prácticas en agua e higiene que los habitantes de estas comunidades poseían. Además, se recolectaron muestras de agua de consumo para la aplicación de metodologías de carácter microbiológico que permitieron determinar la presencia de contaminación fecal a través de la cuantificación de indicadores bacterianos y virales. Con los resultados obtenidos de esta primera etapa se determinó el barrio más vulnerable que cumpliera con criterios para realizar el estudio experimental, que duró aproximadamente 6 meses. Para ello, se invitó a las familias de la comunidad seleccionada a formar parte del estudio mediante la firma de consentimientos informados. Del total de 36 familias participantes se formaron dos grupos (control y experimental) de manera aleatoria.

Dentro de una primera intervención en la comunidad, se distribuyeron los FCN a las familias experimentales para tratar el agua de consumo y a las familias control se les informó que debían continuar con sus prácticas comunes de tratamiento en el caso de que lo realizaran. Se llevó a cabo visitas bimensuales durante los 6 meses a cada familia de ambos grupos y se aplicaron encuestas con el fin de conocer las prácticas habituales respecto al uso de los tratamientos de agua dentro de la comunidad al igual que determinar la reducción de la contaminación microbiológica en el agua de consumo.

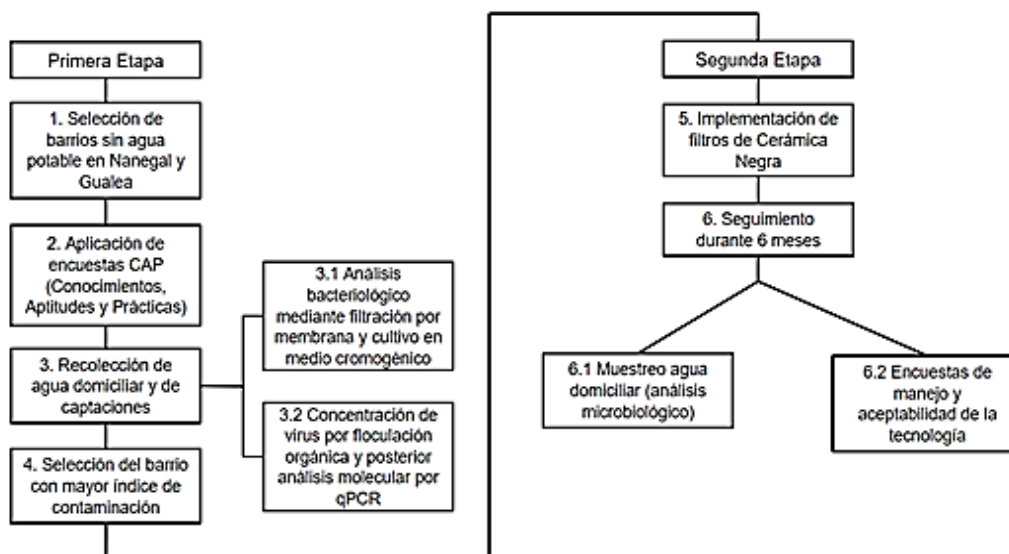


Figura 7. Etapas del estudio de la eficacia y aceptabilidad de filtros de agua de cerámica negra en una comunidad del noroccidente de Pichincha.

4. CAPÍTULO IV. PROCEDIMIENTOS

4.1 Diseño de la Línea de base

4.1.1 Selección de comunidades sin acceso a agua potable

El presente estudio se llevó a cabo en Nanegal y Gualea, dos parroquias de la mancomunidad del noroccidente del Distrito Metropolitano de Quito. Estos lugares fueron seleccionados debido al previo acercamiento que la Universidad de las Américas posee hacia estos, mediante intervenciones con proyectos de vinculación e investigación de diferentes carreras. El Gobierno autónomo descentralizado (GAD) de la parroquia de Nanegal es la institución externa que se encuentra vinculada con este proyecto, con el cual se llevó a cabo diversas reuniones con el fin de determinar del total de los 26 barrios de ambas parroquias aquellas comunidades donde se realizaría la intervención de este estudio. Para lo cual del listado de barrios, se analizó cuales poseen una población significativa ósea mayor o igual a 100 personas y que en segundo lugar no presenten cobertura de agua potable ni saneamiento por parte de la

Empresa pública metropolitana de agua potable y saneamiento de Quito (EPMAPS).

4.1.2 Análisis de los barrios

Con el objetivo de determinar cuál de estos barrios poseía condiciones sanitarias inapropiadas y una deficiente calidad de agua, se siguieron varias etapas. En cada barrio se seleccionaron alrededor de 10 domicilios que fueron escogidos de manera aleatoria. Para la selección de la muestra, el equipo de muestreo se situaba en el centro de la comunidad e identifica las calles principales, y se seleccionó un número al azar y una dirección (Norte, Sur, Este u Oeste). El muestreador iniciaba su recorrido hacia la dirección asignada y contaba el número de puertas seleccionadas al azar. Finalmente se comprobaba la presencia de alguna persona para dar inicio al muestreo, los pasos se indican en la Figura 8.

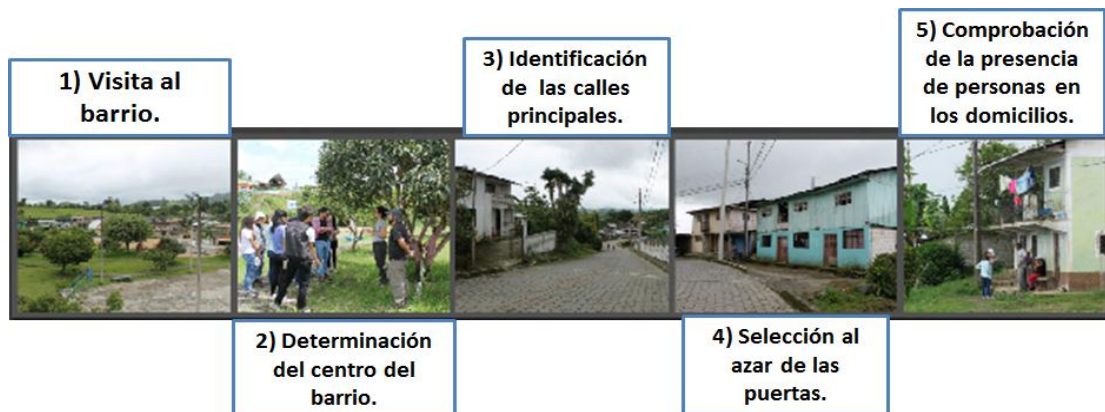


Figura 8. Metodología del muestreo aleatorio.

En cada hogar se procedió a aplicar una encuesta tipo CAP, y para conocer la calidad del agua de consumo, se recolectaron dos muestras de 100 mL de esta agua en frascos estériles y se midieron de manera *in situ* parámetros como la temperatura y pH. Además, se muestrearon las captaciones de agua de cada comunidad para lo cual se tomó una muestra duplicada de 100 mL de agua para analizar coliformes y, por otro lado, en recipientes plegables de plástico se ubicó 10 litros para el análisis de virus. Se midieron parámetros como pH,

sólidos totales disueltos (TDS) y conductividad eléctrica como se puede apreciar en la Figura 9.

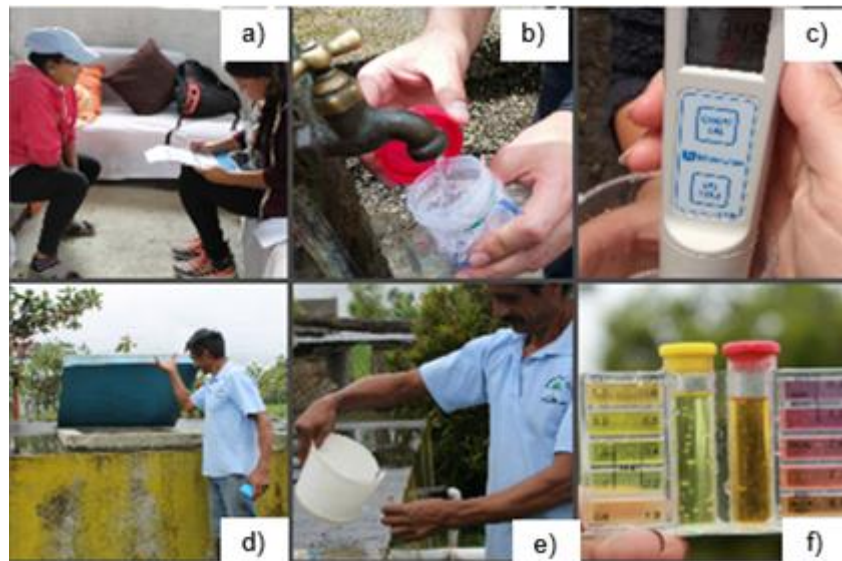


Figura 9. Procedimiento utilizado para muestreo de agua domiciliar y de captaciones.

- a) Aplicación de encuestas tipo CAP.
- b) Recolección de agua domiciliar.
- c) Medición de parámetros *in situ*.
- d) Análisis de las Captaciones.
- e) Recolección agua de captación.
- f) Medición de parámetros *in situ* y *ex situ*.

4.1.3 Análisis Estadístico de la línea de base

La información obtenida de la aplicación de las encuestas CAP fue procesada *in silico*. Para lo cual se realizó una matriz de cada barrio con las preguntas y respuestas obtenidas en estos. Posteriormente, todos los datos fueron compilados en una tabla general donde se llevó a cabo el análisis individual de cada pregunta mediante la asignación de porcentajes para su respectiva tabulación. En el caso de los valores obtenidos del recuento microbiano de coliformes de los 10 domicilios muestreados en cada barrio, se calculó una media aritmética, con este valor se determinó la comunidad con el mayor nivel de contaminación microbológica en el agua de consumo.

4.2 Diseño estudio experimental

Se diseñó un estudio experimental en una de las cinco comunidades estudiadas, esta fue seleccionada posterior al análisis de los resultados de la línea de base. Para lo cual se tomó en cuenta el nivel de contaminación fecal, el número de personas y familias existentes en cada uno de los cinco barrios. Además, se consideró el número de familias con niños entre 0 a 15 años de edad. El diseño experimental consistió en la implementación de la tecnología de filtros de agua de cerámica negra en dicha comunidad y se planteó la formación de dos grupos denominados: experimental y control. Al primero se le entregó el filtro de cerámica y el segundo siguió con su praxis de manejo habitual del agua. Este estudio se ejecutó durante 6 meses, realizando un seguimiento bimensual de la calidad microbiológica del agua de consumo de ambos grupos participantes (familias experimentales y familias control).

Este diseño experimental propuesto fue evaluado y aprobado por el Comité de Ética en Investigación con Seres Humanos (CEISH) de la Universidad de las Américas, Número de referencia 2017-0902 (Anexo 1).

4.2.1 Aleatorización de familias control y familias experimentales

Primeramente, se procedió a realizar la inscripción de todas las familias que tengan niños de 0 a 15 años de edad y que deseen participar del estudio, para lo cual se entregó una ficha de registro que contengan todos los datos de la persona representante como son: nombres, apellidos, edad, sexo, número de cédula, número de teléfono y dirección (Anexo 2). También se entregó un consentimiento informado donde se explicó en qué consiste el estudio, la descripción del proceso, la duración del mismo, los beneficios, los números de contacto de las docentes encargadas y las firmas de aceptación (Anexo 3).

Una vez obtenida la lista de las familias participantes que dieron su consentimiento, se procedió a colocar a las 36 familias inscritas en un software

(SPSS) para realizar un sorteo aleatorio y poder determinar aquellas que conformarían el grupo experimental y control respectivamente.

A las familias del grupo experimental se las categorizó con la letra B y a las del grupo control con la letra A, el primer grupo se formó de 19 familias y el segundo de 17 familias.

4.2.3 Entrevista Inicial y Seguimiento

La primera visita a las familias fue para informarles el grupo al que pertenecían (control o experimental) y realizar la entrevista inicial (Anexo 4), la cual consistió en una encuesta para obtener datos de las familias participantes y conocer acerca de sus prácticas habituales de manejo del agua. En el caso de las familias experimentales se les entregó el filtro, se determinó la ubicación adecuada del mismo y se dio una capacitación sobre su correcto uso. A las familias del grupo control se les realizó la encuesta de igual forma y se les informó que deben seguir realizando lo que normalmente hacen respecto al tratamiento del agua. También se indicó que este seguimiento se realizaría durante los próximos seis meses, con visitas bimensuales. Finalmente se recolectaron muestras por duplicado del agua de consumo.

En la etapa del seguimiento, se aplicaron encuestas específicas para cada grupo respectivamente (Anexo 4 y 5) y se recolectaron muestras del agua de consumo (100 mL), provenientes del filtro de cerámica negra (grupo experimental) y del agua tratada por TANDAS convencionales o sin tratar (del grupo control).

4.3 Análisis de calidad del agua

Todas las muestras de agua recolectada durante la línea de base y el ensayo experimental fueron analizadas en el área ambiental del laboratorio de Investigación de la Universidad de las Américas. Donde se identificaron

indicadores bacterianos y virales a través de la aplicación de distintas metodologías que se describen a continuación.

4.3.1 Análisis de indicadores bacterianos: Método de filtración

Las muestras de agua domiciliar y de captación fueron procesadas a través del método de filtración por membrana para aguas con bajo contenido de contaminación (ISO 9308-1). Básicamente este método consiste en filtrar un volumen determinado de agua a través de una membrana de nitrocelulosa aplicando el vacío mediante el uso del sistema Vacuum Manifold Filtration System (PROSCITECH®), como se puede observar en la Figura 10.



Figura 10. Procedimiento utilizado para el análisis de indicadores bacterianos.

- a) Se retira el embudo que se encuentran sobre el portafiltras.
- b) Se coloca la membrana de nitrocelulosa de 0,45 μm (MILLIPORE®).
- c) Se añade la muestra de 100 mL de agua y se acciona la bomba de vacío.
- d) Se retira la membrana del portafiltras.
- e) Finalmente se coloca en el interior de una caja petri que contiene agar Chromocult (MERCK®) y se incuban a $37 \pm 2^\circ\text{C}$ por aproximadamente 18-24 horas.

La cuantificación bacteriana se realiza mediante el conteo de coliformes y *E. coli*, las cuales adquieren una coloración peculiar, siendo esta rojo asalmonado y azul oscuro respectivamente.

La obtención de la coloración se debe a que las coliformes en el medio cromogénico escinden el sustrato salmón-Gal debido a que poseen la enzima β -D-galactosidasa, en el caso de *E. coli* a más de presentar esta enzima también posee la β -D-glucuronidasa que escinde el sustrato X-glucurónico (Millipore, 2014). Fue necesario para las muestras del agua proveniente de las

captaciones la realización de una dilución 1 en 10, correspondiente a 1 mL de muestra y 10 mL de agua destilada.

4.3.2 Análisis de trazadores virales

El análisis de trazadores virales requirió en primer lugar de una concentración de la muestra lo cual se llevó a cabo mediante floculación orgánica con leche descremada siguiendo el protocolo descrito por Calgua, *et al*, 2008, pp. 79-80 (Anexo 6). De estos concentrados se extrajo ADN y se cuantificó mediante la realización de una PCR cuantitativa en tiempo real, donde el kit que se utilizó era específico para muestras ambientales.

4.3.2.1 Concentración y floculación orgánica de la muestra

Antes de iniciar con la concentración de las muestras de 10 L de agua procedente de las captaciones de cada barrio, fue necesaria la realización de un acondicionamiento, para lo cual se ubicó este volumen en un balde de plástico al cual se añadió un agitador magnético, de 8 a 10 mL de ácido clorhídrico a una concentración 1N hasta conseguir un viraje del pH inicial a $3,5 \pm 0,1$, y 3 cucharadas de sales marinas con las cuales se generó un cambio en la conductividad eléctrica inicial del agua (mS) hasta que ésta alcance un valor de 1,500 S/cm.

Posterior a este paso se inició con la floculación, para lo cual se añadió una cantidad de 100 mL de leche descremada, la cual se encontraba pre-floculada, esta solución contenía 5 g de leche desnatada en polvo (DIFCO®) disueltos en 500 mL de agua de mar artificial. Sucesivamente se añadió 1000 μ L de bacteriófago MS2 (control positivo) y se procedió a ubicar en agitación por 8 a 10 horas a temperatura ambiente, tiempo en el cual la cápside de los virus se adhieren a los flóculos formados a partir de la matriz proteica, debido a una diferencia de cargas. Como resultado los virus se sedimentan en el fondo del balde (Calgua, *et al*, 2008, pp. 79-80).

Después de dejar sedimentar los flóculos al menos 8 horas, se retiró el sobrenadante del balde, teniendo en cuenta de no resuspender el pellet, ósea los flóculos ya sedimentados. Este líquido restante se traspasó a un vaso de precipitación, obteniendo un volumen de aproximadamente 500 mL y se ubicó en tubos falcón (CORNING) de 50 mL. Se centrifugó por 40 minutos a 4000 rpm. Nuevamente se procedió a retirar el sobrenadante y resuspender el pellet con PBS (tampón fosfato salino), hasta obtener un volumen de 10 mL. Cada una de las muestras fueron neutralizadas con el fin de que alcancen un pH de 6 ± 1 , para lo cual se utilizó ácido clorhídrico a una concentración 1N o hidróxido de sodio al 4%. Finalmente, estos concentrados se almacenaron a -80°C .

El control del proceso de concentración realizado a partir de los 10 L de agua muestreados se llevó a cabo mediante un análisis de infectividad utilizando un marcador interno como es el bacteriófago MS2 (virus modelo).

4.3.2.2 Extracción ácidos nucleicos y qPCR Taqman

A partir de los 10 mL de concentrados de agua de los 5 barrios se extrajo ADN viral utilizando el kit QIAamp Viral RNA (QIAGEN®), el cual permite una rápida y simplificada purificación de ARN viral de alta calidad debido a la membrana de sílice con la que viene equipada el kit. Se empleó un volumen de 140 μL de muestra y se obtuvo un volumen final de 50 μL después de la elución por columna.

La cuantificación de indicadores virales se llevó a cabo siguiendo el protocolo de Hernroth *et al.*, 2002, pp. 4523-4533. (Anexo 7). En donde se utiliza una sonda fluorescente (reportero) y cebadores degenerados cuyas secuencias se presentan en la Tabla 4. Estos permiten la amplificación de la primera parte del gen "Ad hexon" (región conservada) de adenovirus humano. El volumen final a amplificar fue de 25 μL el cual se encontraba formado por 15 μL de environmental master mix y 10 μL del ADN viral. Luego el volumen se ubicó en un termociclador de tiempo real CFX96 (BIO-RAD), cuyas condiciones de

reacciones fueron 40 ciclos, en donde la desnaturalización se lleva a cabo a los primeros 10 minutos a 95 °C, hibridación en los siguientes 15 segundos a la misma temperatura y finalmente la elongación a 1 minuto a 60°C.

Tabla 4.

Secuencia y concentración de cebadores y sondas utilizadas para la cuantificación de adenovirus humano.

Virus	Secuencia (5' - 3')		Concentración
Adenovirus Humanos	Reverse	CRCGGGCRAAYTGCACCAG	0,9 µM
	Forward	CWTACATGCACATCKCSGG	0,9 µM
	Sonda	6-FAM- CCGGGCTCAGGTACTCCGAGGCGTCC- TBHQ1	0,225 µM

4.4 Evaluación de Conocimientos, Aptitudes y Prácticas sobre agua e higiene

4.4.1 Aplicación de encuestas

En la primera etapa, para el levantamiento de la línea de base, se aplicó encuestas tipo CAP (conocimientos, aptitudes y prácticas en agua e higiene) a 10 u 11 domicilios, seleccionados aleatoriamente, en cada uno de los cinco barrios de las dos parroquias.

Estas encuestas contienen preguntas de importancia relacionadas con: la localización, perfil demográfico, conocimiento sobre enfermedades y manejo, acceso al agua, calidad del agua, almacenamiento y tratamiento seguros, prácticas de higiene, así como también datos sobre la recolección de las muestras, el punto de muestreo, parámetros fisicoquímicos como pH y temperatura.

En la segunda etapa del diseño del estudio experimental, se aplicaron encuestas con un determinado formato para el caso del grupo experimental, en donde, se busca conocer sobre la aceptación de la nueva tecnología, su manejo y mantenimiento, mientras que en el grupo control se conoció sobre la procedencia del agua de consumo y los TANDAS que son utilizados.

4.4.2 Análisis estadístico del Estudio experimental

La información obtenida de las encuestas aplicadas al grupo control sobre los TANDAS utilizados y para el grupo experimental acerca del manejo y aceptabilidad del FCN a lo largo de las 9 visitas realizadas, al igual que la cuantificación microbiológica del agua entubada y la tratada, fue procesada *in silico* (Anexo 8) de manera similar a lo que se realizó en la línea de base.

En primer lugar, a las respuestas de cada encuesta se les asignó un valor numérico, el cual fue ingresado en una matriz. Posteriormente, a partir de los valores promedio de *E. coli* y coliformes totales a lo largo de los 6 meses de estudio se realizó un análisis estadístico (prueba T, para medias independientes) a través del software SPSS para conocer diferencias significativas de la calidad microbiológica del agua de consumo del grupo experimental y control, además por las particularidades de cada grupo se realizó una evaluación intragrupal.

5. Capítulo V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Comunidades de Estudio

En base a los criterios de selección descritos en el apartado de procedimientos, de los 26 barrios que forman las parroquias de Nanegal y Gualea, las cinco comunidades seleccionadas para el estudio se muestran en la Figura 11. Por otro lado, en la Tabla 5, se presenta el número de habitantes según el barrio muestreado y la principal fuente de agua de consumo. Se destaca que Palmitopamba y Las Tolas poseen el mayor número de habitantes, así como también, el agua de consumo de Palmitopamba es la única que posee un tratamiento previo (cloración) antes de llegar a los hogares.



Figura 11. Mapa de las Parroquias de Nanegal y Gualea con las comunidades estudiadas

Tabla 5.

Número de Habitantes en cada barrio muestreado y la fuente de agua de consumo

Parroquia	Barrio Muestreado	Número de Habitantes	Fuente del agua de consumo
Nanegal	Santa Marianita	250	Captación de río sin tratamiento
Nanegal	Palmitopamba	500	Captación de la quebrada con tratamiento mediante cloración
Gualea	Vista Hermosa	122	Captación de vertiente sin tratamiento
Gualea	Guanábana	91	Captación de río sin tratamiento
Gualea	Las Tolas	321	Captación de vertiente sin tratamiento

5.1.2 Análisis de los barrios

En cada uno de estos barrios se realizó una visita única en la que se seleccionaron entre 10 a 11 casas y se aplicaron encuestas tipo CAP obteniéndose la siguiente información:

5.1.2.1 Perfil Demográfico

Para los 52 domicilios muestreados de manera aleatoria, el mayor porcentaje de encuestados correspondió a mujeres (esposas: 50%) seguido de hombres (maridos: 30%) y en una menor proporción otros miembros de las familias (20%). El rango de edad de estas personas se ubica entre los 40 años en adelante (54%), seguido de personas con 20-40 años (42%).

Dentro de cada familia, el mayor número de individuos corresponde a personas mayores a 15 años (71,73%) y el resto de individuos tienen edades menores (28,27%). La población en la cual se centra el presente estudio son niños con un rango de edad entre 0 a 15 años los cuales representan el 28,27% respectivamente. Todos estos datos se muestran en la Tabla 6.

Como se apreció en los resultados antes mencionados el índice de juventud es alto y se relaciona con los datos presentados por (Mora, 2012) y (Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Parroquia Nanegal, 2015). Debido a que según el censo del año 2010, se conoce que por aproximadamente 100 jóvenes y niños (menores a 15 años) existen 35,03 y 39 adultos mayores en Nanegal y Gualea respectivamente.

Esto sugiere que debido a la proporción existente de la población joven y al consolidarse en un grupo vulnerable es importante un cuidado en cuanto a la no ingesta de agua o alimentos contaminados. Ya que las enfermedades

entéricas que aparecen a partir de estos inciden en el desarrollo de otras patologías que evitan el desarrollo normal del cuerpo y en consecuencia se tiene una alta morbilidad y mortalidad (Clasen, 2015).

Tabla 6.
Información sociodemográfica de los 5 barrios.

	Análisis Individual (Barrios)					Análisis General (Parroquias)
	Vista Hermosa	Guanábana	Las Tolas	Santa Marianita	Palmitopamba	Total
Entrevistado (%)						
Mujer (Esposa)	70	60	60	70	60	50
Hombre (Marido)	30	40	40	30	40	30
Otro	0	20	30	20	33	20
Edad (%)						
< 20 años	0	0	20	0	0	4
20-40 años	36,4	50	10	70	44,4	42
> 40 años	63,6	50	70	30	55,6	54
Número de miembros de la familia (%)						
Hombre >15 años	41,3	36,11	38,46	39,02	3,03	37,70
Hombre 5- 15 años	13,04	11,11	7,69	14,63	13,79	12,04
Niños <5 años	4,35	5,56	5,13	7,32	3,45	5,24
Mujer >15 años	28,26	30,56	41,03	34,15	37,93	34,03
mujer 5-15 años	13,04	13,89	5,13	2,44	10,35	8,90

niñas <5 años	0	2,78	2,56	2,44	3,45	2,09
---------------	---	------	------	------	------	------

5.1.2.2 Conocimiento y Manejo de Enfermedades

A través de las encuestas aplicadas se determinó que las enfermedades más comunes experimentadas en el último mes previo a las visitas realizadas en los cinco barrios fueron gripe, neumonía, diabetes, diarrea y gastritis. El porcentaje global de estas dos últimas enfermedades corresponde a 7,14% y 3,57% respectivamente. Pese a que los valores señalados son bajos, según lo descrito por (Mora, 2012) y (Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Parroquia Nanegal, 2015) dentro de las diez principales causas de deceso para las dos parroquias, las enfermedades infecciosas y parasitarias como la diarrea ocupan el quinto lugar de mortalidad para la parroquia de Nanegal y el último para Gualea, consolidándose en un grave problema de salud pública.

De igual manera a nivel general, la percepción que las personas de estas comunidades tienen sobre las causas de diarrea que han experimentado a lo largo de su vida lo atribuyeron a: el consumo de agua contaminada (32,14%), alimentos contaminados (39,29%), y en una menor proporción (12,50%) lo asociaron con tener las manos sucias.

En cuanto a las medidas de acción que las personas poseen frente a este tipo de afecciones, la mayoría de encuestados (56,60%) optan por utilizar medicina tradicional, mientras que un porcentaje mínimo utiliza medicamentos de venta libre como el suero (5,66%). Por otro lado el 18,87% de los personas logran atención en los centros de salud y solo un 3,77% asiste a hospitales. La información se puede apreciar en la Tabla 7.

El hecho de que un porcentaje mínimo de personas acuda a hospitales y opte mayormente por medicina tradicional se debe a la falta de infraestructura hospitalaria y dispensarios, en donde se pueda brindar una atención médica de

calidad y oportuna a más de medicamentos. Siendo esta una limitación para un adecuado cuidado de la salud, como se menciona en Mora (2012) y Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Parroquia Nanegal (2015).

Tabla 7.
Información epidemiológica de los cinco barrios.

	Análisis Individual (Barrios)					Análisis General (Parroquia)
	Vista Hermosa	Guanábana	Las Tolas	Santa Marianita	Palmitopam ba	Total
Enfermedades presentadas en el último mes (%)						
Gripe	0	50	100	57,14	57,14	57,14
Neumonía	0	16,67	0	14,29	0	7,14
Diabetes	50	0	0	0	25	10,71
Gastritis	25	16,67	0	0	0	7,14
Diarrea (Infecciones gastrointestinales)	0	0	0	0	25	3,57
Otras	25	1,67	0	28,58	0	14,28
Causas de la diarrea (%)						
Agua contaminada	30	38,46	40	27,27	14,29	32,14
Comida contaminada	30	30,77	33,33	54,55	57,14	39,29
Animales	10	0	6,67	0	0	3,57
Divinidades	0	0	6,67	0	0	1,79
Manos sucias	10	30,77	6,67	0	14,29	12,50

Otras	20	0	6,67	18,18	14,29	10,71
Acciones y tratamientos frente a la diarrea (%)						
Suero	8,33	12,5	0	7,69	0	5,66
Medicina Tradicional	66,66	37,5	53,84	61,54	57,14	56,60
Automedicación	8,33	0	15,38	0	28,57	9,43
Centro de salud	8,33	25	23,07	23,08	14,29	18,87
Hospital	8,33	12,5	0	0	0	3,77
Otros	0	12,5	7,69	7,69	0	5,66

5.1.2.3 Acceso al agua

Se conoce a través de la encuesta aplicada que la principal fuente de agua de consumo para la mayoría de encuestados (64,81%) corresponde a agua entubada, el resto de personas (35,18%) obtiene el agua de vertientes naturales como quebradas y ríos lo cual corresponde a un 11,11% y 3,70% respectivamente. Estas se encuentran accesibles en todo momento según las respuestas del 52% de entrevistados y por lo general la pueden encontrar en casa (35%), no obstante alrededor del 25% de estos, señalaron que se demoran aproximadamente entre 10 minutos a 1 hora en llegar a la fuente y volver a su casa. Además informaron que durante el trayecto pueden encontrarse en situaciones de peligro tales como: derrumbes (33,33%) que se agravan durante la época de lluvias y/o picaduras de serpientes venenosas (22,22%).

Además se determinó que el valor promedio que pagan las personas por la cobertura de agua entubada en los 5 barrios corresponde a \$2,00 por cada 20 litros (70%). Sin embargo en Santa Marianita, la mitad de la población paga un valor menor correspondiente a \$1,50 (30% de los entrevistados). Por otro lado

las fuentes alternativas de agua de consumo que la mayoría de familias utilizan son: agua de lluvia (19%), agua de tanque (8%), pozo abierto (8%) y otros (38%) que incluyen vertientes, agua embotellada y agua de cisterna. La información señalada se describe en la Tabla 8.

Considerando los siguientes criterios descritos por la OMS (2017) para clasificar a una fuente de agua en accesible y mejorada: primero el agua debe encontrarse accesible en el hogar, segundo el agua debe estar disponible cuando se la necesite y finalmente debe encontrarse libre de contaminantes.

Se contrasta que las fuentes de agua de las cinco comunidades estudiadas, no ingresan dentro de esta categoría. Debido a que incumplen con cada criterio, ya que el 25% de los entrevistados necesitan salir de su domicilio para obtener agua tardando entre 10 minutos a 1 hora en llegar a la fuente de consumo y posteriormente retornar a su casa. Esto se traduce en que su recolección excede los 30 minutos por lo cual representa un servicio limitado. Finalmente la falta de alcantarillado y saneamiento repercuten en el hecho de que estas vertientes naturales se contaminen con material fecal, volviéndose inseguras microbiológicamente (Ugwu *et al.*, 2017).

Tabla 8.
Información sobre fuentes de agua de consumo.

	Análisis Individual (Barrios)					Análisis General (Parroquia)
	Vista Hermosa	Guanábana	Las Tolas	Santa Marianita	Palmitopamba	Total
Fuente principal de agua de consumo (%)						
Pozo perforado	0	0	0	10	0	1,85
Quebrada	8,33	18,18	27,27	0	0	11,11
Río	8,33	9,09	0	0	0	3,70
Agua entubada	66,67	54,55	54,55	70	80	64,81

Agua tanque	0	9,09	9,09	10	0	5,56
Agua lluvia	16,67	0	0	0	0	3,70
Otros	0	9,09	9,09	10	20	9,26
Distancia de la fuente principal (ida y vuelta) (%)						
En casa	18,18	60	20	30	50	35
Menos de 10 min	45,45	20	50	0	0	24
Entre 10 min y 1 hora	36,36	0	30	50	10	25
Entre 1-2 horas	0	20	0	20	20	12
Más de 2 horas	0	0	0	0	20	4
Acceso a la fuente principal de agua (%)						
Accesible siempre	36,36	80	0	71	80	52
Permiso del propietario	0	10	60	0	0	15
Suficiente agua para personas	27,27	0	20	14	20	17
Otros	36,36	10	20	14	0	17
Fuente alternativa de agua de consumo (%)						
Pozo abierto	27,27	0	0	10	0	8
Quebrada	9,09	0	0	30	33,33	15
Pozo protegido	9,09	0	0	0	0	2
Río	0	0	0	0	11,11	2
Agua entubada	0	30	0	10	0	8
Agua Tanque	9,09	10	0	10	11,11	8
Agua lluvia	45,45	10	37,5	0	0	19
Otros	0	50	62,5	40	44,44	38

5.1.2.4 Conocimientos sobre la calidad del agua, su almacenamiento y tratamiento seguro

De acuerdo al 45% de los encuestados el agua entubada al igual que la obtenida de las distintas vertientes naturales se considera apta cuando es transparente. Las principales medidas tomadas para asegurarse de que el agua es idónea para ingerirla es hervirla (65%) y en menor proporción la cloración (10%). Como se aprecia en la Tabla 9.

Tabla 9.
Tratamientos realizados al agua de consumo.

	Análisis Individual (Barrios)					Análisis General (Parroquia)
	Vista Hermosa	Guanábana	Las Tolas	Santa Marianita	Palmitopamba	Total
Criterios para saber si el agua es segura para beber (%)						
Transparente	54,55	50	50	50	20	45
Sin olor	0	10	0	0	0	2
Clorada	27,27	10	30	20	60	29
Recomendada	9,09	0	0	10	0	4
Mucha gente bebe	0	30	0	0	10	12
Otros	9,09	0	0	20	10	8
Tratamiento del agua (%)						
Hervir	58,33	66,67	60	90	54,55	65
Filtración con trapo	8,33	0	0	0	9,09	4
Cloración	16,67	11,11	20	0	0	10
Sedimentación solar	0	22,22	0	0	0	4

Otras	16,67	0	20	10	36,36	17
-------	-------	---	----	----	-------	----

En cuanto al almacenamiento seguro del agua de consumo, en general cada familia encuestada cuenta con al menos un recipiente para esta actividad (52%), sin embargo, un 30% mencionó poseer dos recipientes (excepto Palmitopamba) y por otro lado entre un 18 y 9% señaló que presentaban de 3 a más recipientes de agua (excepto en las Tolas), donde la mayoría de estos son contenedores plásticos de 20 y 10 Litros (43,40% y 11,32% respectivamente). Según las observaciones especificadas durante el muestreo el 80% de estos contenedores se encontraban cubiertos, presentaban un tamaño adecuado (86%) y estaban completamente limpios (89,74%) a diferencia de Vista Hermosa y Las Tolas, donde un 10% y 33,33% de estos se encontraban sucios. Cabe recalcar que pese al tratamiento que los pobladores de los barrios le den al agua, si no se almacena correctamente se puede generar una recontaminación. Lo detallado se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10.

Información sobre almacenamiento de agua de consumo.

	Análisis Individual (Barrios)					Análisis General (Parroquia)
	Vista Hermosa	Guanábana	Las Tolas	Santa Marianita	Palmitopamba	Total
Tipo de contenedores (%)						
Contenedores 20 L	72,73	90	7,69	36,36	62,5	43,40
Contenedores 10 L	9,09	10	15,38	9,09	12,5	11,32
Vasija cerámica	0	0	7,69	0	0	1,89
Otros	25	40	69,23	55	25	43,40
Observaciones de los contenedores (%)						
Limpio (Sí)	90	100	66,66	100	100	89,74

Limpio (No)	10	0	33,33	0	0	10,26
Cubierto (Sí)	90	85,71	88,89	70	50	80
Cubierto (No)	10	14,29	11,11	30	50	20
Tamaño apropiado (Sí)	90,91	88,89	88,89	67	75	86
Tamaño apropiado (No)	9,09	11,11	11,11	33,33	25	14

A partir de que el 52% de encuestados señalaron que cuentan con al menos un recipiente para realizar el almacenamiento del agua se puede mencionar que este factor es de suma importancia para mantener una calidad microbiológica adecuada. Es por esto que los recipientes en los cuales se lleva a cabo esta actividad deben presentar condiciones óptimas de limpieza para evitar la contaminación y propagación de enfermedades. Pero no siempre se mantienen estas condiciones, debido a que muchas veces se deja los recipientes destapados. De acuerdo al Centro de Control y Prevención de Enfermedades (2001), se ha demostrado que aunque el agua sea microbiológicamente segura, al momento de ser colocada en dichos recipientes, puede contaminarse fácilmente por el almacenamiento y el uso. Como por ejemplo, el contacto con utensilios contaminados o manos humanas, el polvo, los animales e insectos. Estos se convierten en focos posibles de contaminación cuando el recipiente no se encuentra cubierto adecuadamente.

5.1.2.5 Prácticas de Higiene

Dentro de las prácticas de higiene más comunes detalladas por los 52 encuestados se encuentra en primer lugar el lavado de manos con agua y jabón (78%) y en un menor porcentaje solo agua (22%). Sin embargo los habitantes de cuatro barrios a excepción de Santa Marianita han reemplazado en varios de los casos el jabón por detergente. Adicionalmente a través de las

encuestas se pudo conocer los momentos claves en los que estas personas llevan a cabo el lavado de manos, siendo estos: antes y después de comer (26,49% y 11,45% respectivamente), antes de las preparación de los alimentos (20,48%), después del uso de letrinas (18,67%), después de manejar basura (13,25%) y finalmente después de manejar excretas de bebé (1,81%).

Estas prácticas habituales mencionadas por los habitantes de los barrios muestreados tienen repercusiones en su salud. Ya que según datos de la OMS (2004) y Freeman (2014, pp. 911-912), el número de casos de diarrea que una persona puede experimentar por una contaminación primaria de carácter fecal-oral o secundaria hacia los alimentos, se podría reducir hasta en un 45% debido a las buenas prácticas higiénicas.

En cuanto a la eliminación de las aguas servidas de los domicilios, las dos instalaciones sanitarias más utilizadas dentro de los cinco barrios corresponden a fosas séptica (42,31%) y baños conectados al sistema de alcantarillado (40,38%) y en menor proporción el uso de letrinas con un 11,54% de habitantes excluyendo al barrio de Vista Hermosa para este caso en particular. La información se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11.
Lavado de mano e instalaciones sanitarias.

	Análisis Individual (Barrios)					Análisis General (Parroqui a)
	Vista Hermosa	Guanábana	Las Tolas	Santa Marianita	Palmitopamba	Total
Momentos claves del lavado de mano (%)						
Antes de comer	28	20	25	26,09	27,78	23,49
Excretas del bebé	2,86	2,5	3,13	0	0	1,81

Manejar basura	11,43	17,5	9,38	8,7	16,67	13,25
Después de comer	14,29	15	15,63	0	8,33	11,45
Antes de la Preparación de alimentos	17,14	17,5	16,75	26,09	25	20,48
Alimentar a lactantes	2,86	0	0	0	0	0,60
Uso de letrinas	11,43	17,5	21,89	30,43	16,87	18,67
Alimentar animales	14,29	10	6,25	4,35	2,78	7,83
Otros	7,51	0	0	4,35	2,78	2,41
Instalaciones sanitarias (%)						
Letrina	0	10	9,09	30	10	11,54
Fosa séptica	90,91	50	36,36	0	30	42,31
Baño conectado a alcantarillado	9,09	40	54,55	50	50	40,38
Otro	0	0	0	20	10	5,77

5.1.2.6 Calidad microbiológica del agua mediante indicadores bacterianos.

Dentro de los domicilios las muestras de agua para análisis de coliformes fecales fueron obtenidas en su mayoría de la llave (74,47%) y en una baja proporción de recipientes (25,53%). El recuento microbiológico de *E. coli* (indicador de contaminación fecal), demostró que Palmitopamba es el único barrio que no presenta contaminación por enterobacterias en el agua de consumo para todas las casas muestreadas (0 ufc/100 mL). Esto se debe a que posee cloración gestionada por el comité de agua local. Por el contrario los demás barrios presentan niveles de contaminación que se ubican en un rango de 10-100 ufc *E. coli* /100 mL y cuyo consumo presenta un riesgo alto para la salud de las personas. El valor obtenido para Guanábana fue de 136 ufc *E. coli*

/100 mL, seguido de Vista hermosa con 100 ufc *E. coli* /100 mL y finalmente Santa Marianita y las Tolas con 37 y 27 ufc *E. coli* /100 mL respectivamente.

En cuanto al pH analizado *in situ* se encuentra que todas las muestras están dentro del rango 7,05-7,76 a excepción de aquellas que proceden de Santa Marianita cuyo valor corresponde a 6,54. La media aritmética de la cuantificación bacteriana, al igual que del parámetro químico mencionado para cada uno de los barrios se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12.

Media de la carga bacteriana y pH del agua de consumo de los 5 barrios analizados.

Barrio	Parámetro químico	Concentración Bacteriana (ufc/100 mL)	
	pH	Coliformes Totales	<i>E. coli</i>
Santa Marianita	6,54	112	37
Palmitopamba	7,05	0	0
Vista Hermosa	7,76	179	100
Guanábana	7,51	243	136
Las Tolas	7,16	120	27

Las 52 familias analizadas en la primera parte del estudio se agruparon en distintos rangos dependiendo de la concentración de *E. coli* en su agua de consumo. Esto se realizó en base a la clasificación de la calidad de agua de consumo establecida por la OMS (2011) (Anexo 9). De las diez familias muestreadas en Palmitopamba, todas figuran dentro de un rango de 0 ufc *E. coli* /100 mL, cumpliendo con la normativa dispuesta. Para el caso de las Tolas las diez casas muestreadas se ubican en un rango de 10-100 ufc *E. coli* /100 mL al igual que Santa Marianita lo cual significa que su consumo representa un riesgo alto de padecer enfermedades gastrointestinales. Por lo que es importante aplicar un tratamiento al agua de captación. Mientras que la mayoría de casas de Guanaba y Vista Hermosa se agrupan en un rango de 100-1000 ufc *E. coli* /100 mL, cuya ingesta señala un riesgo alto para la salud, por lo que su agua de captación requiere de un tratamiento inmediato. Estos resultados se indican en la Figura 12.

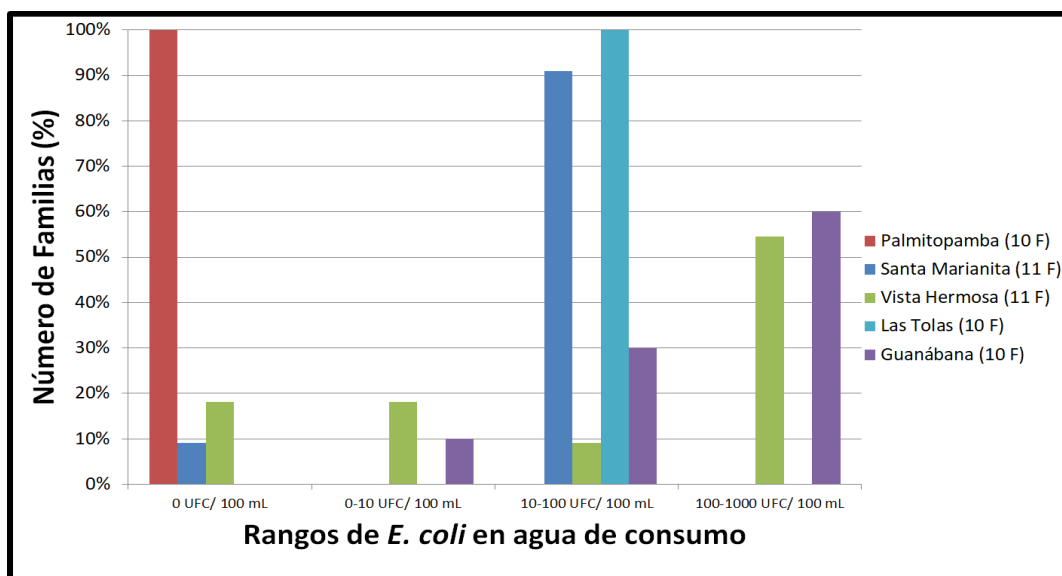


Figura 12. Nivel de Contaminación fecal presente en los 52 domicilios muestreados de los cinco barrios estudiados.

El aprovechamiento de las vertientes naturales es un derecho público y humano cuya finalidad se centra en abastecer del recurso hídrico a las personas, en especial en contextos rurales en donde se levantan captaciones a partir de estas vertientes. La creación de estas captaciones es gestionada por agrupaciones comunitarias denominadas juntas administradoras de agua potable, quienes se aseguran que el agua llegue a las casas, mas no se garantizan de su calidad (Organización de los Estados Americanos, 2005) y (Delgado *et al.*, 2017, p. 60). Es por esto que en base al resultado descrito anteriormente, el uso habitual de los distintos tipos de TANDAS debería implementarse para mejorar la calidad del agua y reducir las ETAs en lugares en donde este recurso es limitado, como por ejemplo en algunas comunidades de Nanegal y Gualea (Rayner, Murray, Branz, Joseph y Lantagne, 2016).

5.1.2.5 Análisis de trazadores virales en agua de consumo

Posterior a la extracción y cuantificación de Adenovirus Humano en las muestras de captaciones se determinó que, de las 5 muestras obtenidas, el único barrio que presentaba este indicador de contaminación fecal específico

de humano era Santa Marianita, cuyo valor fue de 8,5E+02 CG/L como se presenta en la Tabla 13.

Dicho valor figura dentro de los rangos presentes en estudios previos desarrollados por Bofill-Mas y colaboradores (2006, p. 7894) acerca de la detección de este trazador en fuentes de agua de consumo contaminadas con aguas residuales urbanas. En donde los niveles se encuentran en 8,08E+04 CG/L, mostrando la sensibilidad de la técnica aplicada. Es importante señalar que el posible hecho por el cual no se haya podido detectar HAdV en las demás muestras de captaciones se relaciona directamente con los límites de detección que presenta la técnica de qPCR utilizada, ya que en estas puede existir niveles bajos de este trazador según lo descrito por Calgua y colaboradores, (2008), pp. 79-80.

Tabla 13.

Presencia de Adenovirus en los 5 barrios muestreados

Parroquia	Barrio	Volumen de Extracción (μL)	Volumen de elución (μL)	Adenovirus Humano (CG/rx)	Copias Genómicas por Litro (CG/L)
Gualea	Vista Hermosa	140	60	ND	0
Gualea	Guanábana 1	140	60	ND	0
Gualea	Guanábana 2	140	60	ND	0
Gualea	Las Tolas	140	60	ND	0
Nanegal	Santa Marianita	140	60	2,47E+01	8,5E+02

5.2 Diseño Estudio Experimental

De los cinco barrios analizados dentro de la primera etapa del estudio, el barrio Santa Marianita fue el elegido para llevar a cabo el estudio experimental debido a los niveles de coliformes fecales moderadamente altos y categorizados de riesgo alto (37 ufc/ 100 mL). Además de mostrar la presencia de Adenovirus

humano (trazador de contaminación fecal específico de humanos) en su agua de consumo ($8,5E+02$ CG/L).

Un total de 36 personas firmaron el consentimiento informado, la mayoría de estas mujeres. A cada familia se le asignó un número con las respectivas iniciales (1-36), posterior al uso del software (SPSS) se obtuvo dos grupos uno de 17 y otro de 19 integrantes. Al primer grupo se le consideró control y se le asignó con la letra A, al segundo se les considero experimental y se le asignó con la letra B. La distribución de los hogares participantes se muestran en el Anexo 10.

5.2.1. Análisis del diseño experimental

5.2.1.1 Análisis inicial de la calidad de agua de consumo de Santa Marianita

El análisis inicial tuvo lugar el 20 de octubre del 2017, en donde se realizó la primera encuesta a las 36 familias participantes, con el fin de evaluar la calidad del agua de consumo que estas tenían. Los resultados demostraron en primera instancia que de este total apenas 16 familias ya realizaban algún tipo de tratamiento al agua de consumo como hervir, clorar, sedimentar o filtrar con arena.

De todos estos TANDAS reportados, la ebullición predominó sobre el resto (13 familias) y la concentración promedio de *E. coli* que se logró determinar en su agua de consumo fue de 8 ufc/ 100 mL (n: 13, min: 0 y máx: 37). Comparado con los valores mencionados por Clasen y colaboradores (2008, pp. 50-51) este TANDAS disminuye en un 97-99% la contaminación fecal, no obstante en el resultado antes descrito, no se evidencia dicha eficacia, lo cual se debe posiblemente a una mala praxis de la ebullición o una recontaminación durante el almacenamiento.

En cuanto a los valores de *E. coli* de las dos familias que practicaban tratamientos como sedimentación y filtración fueron de 0 ufc/ 100 mL. Lo que indica una concordancia con los resultados obtenidos por Earwaker (2006) y Wrigley (2007) en donde la reducción para filtración con arena es del 87,9-98,5% y para la sedimentación es menor al 90%. Lo que permite inferir que los tratamientos fueron aplicados correctamente.

Para la familia restante que reportó utilizar cloración, el recuento microbiológico mostró un valor de 15 ufc *E. coli* /100 mL. En este caso el resultado obtenido se contradice con el valor presentado por Mohamed y colaboradores (2016) quienes demuestran una reducción bacteriana del 99,5%. Por lo tanto, se puede asumir que este resultado no refleja la eficacia que debería tener este método, posiblemente porque los encuestados no realizaron ningún tratamiento al momento de la recolección de la muestra o la dosis aplicada de cloro fue inadecuada. Frente a estos resultados, se debería realizar la validación del cuestionario, para lo cual se podría incrementar el número de preguntas referentes al tipo de TANDAS utilizado, con el fin de evitar respuestas falsas por parte de los encuestados. Ya que otros criterios como la relevancia del contenido, claridad y simplicidad en las preguntas si se cumplen en la encuesta planteada (Koo, Poh, y Ruzita, 2016).

El resto de familias no reportaron realizar algún tratamiento al agua entubada y el valor promedio de la concentración de *E. coli* fue de 24 ufc *E. coli* /100 mL (n: 20, min: 4 y máx: 84). Lo que significa que su ingesta puede representar un riesgo alto de padecer enfermedades gastrointestinales, por lo cual es importante aplicar un tratamiento a esta agua de consumo. La información se presenta en la Tabla 14.

Tabla 14.

Clasificación de las familias del estudio en aquellas que tratan o no el agua de consumo.

	Tratamiento	Número de Muestras	Concentración <i>E. coli</i> (ufc/100 mL) Promedio (min -máx)
Hogares que	Hervir	13	8 (0-37)

realizan algún tratamiento al agua de consumo	Clorar	1	15
	Sedimentar	1	0
	Filtro de arena	1	0
Hogares que no realizan un tratamiento al agua de consumo		20	24 (4-84)
Total		36	47 (0-24)

5.2.1.2 Análisis de los grupos a lo largo del estudio

Posterior a la aleatorización, el grupo control se encontró conformado por 17 familias y el grupo experimental por 19 familias. Cada uno de estos hogares fueron entrevistados durante 9 salidas a lo largo de los 6 meses de estudio. En los primeros tres meses del estudio (noviembre 2017-enero 2018) las visitas se realizaron bimensualmente y a partir del cuarto mes los muestreos se dieron una sola vez (febrero-abril 2018).

Se observó particularidades en el comportamiento de cada uno de los grupos por lo cual el análisis que se llevó a cabo y que se detalla a continuación presenta primeramente los datos obtenidos para cada grupo y su análisis intragrupal. Posteriormente se analiza intergrupo (control vs experimental).

5.2.1.2.1 Grupo Control

Después de analizar la información obtenida a través de la encuesta descrita en el Anexo 4, se conoció que de las diecisiete familias, nueve de ellas trataban el agua de consumo, siete no lo hacían y una prefería beber agua embotellada.

El valor promedio que se obtuvo de los indicadores bacterianos analizados para las familias que no tratan el agua fue de 58 ufc *E. coli* / 100 mL (n: 9, min: 20 y máx: 113) y 326 ufc coliformes totales / 100 mL (n: 9, min: 118 y máx: 522). Por otro lado en el caso particular de la familia que consume agua embotellada la concentración promedio de *E. coli* obtenida fue de 3 ufc / 100

mL (n: 9, min: 0 y máx: 11) y el valor de coliformes totales fue de 176 ufc / 100 mL (n: 9, min: 0 y máx: 500).

En cuanto a las familias que practicaban algún TANDAS, el agua no tratada presentó un valor promedio para *E. coli* de 67 ufc / 100 mL (n: 9, min: 45 y máx: 94) y para coliformes totales de 322 ufc/ 100 mL (n: 9, min: 194 y máx: 487). Por el contrario, se determinó en el agua tratada para este grupo una concentración promedio de 22 ufc *E. coli* / 100 mL (n: 9, min: 0 y máx: 86) y 373 ufc coliformes totales / 100 mL (n: 9, min: 99 y máx: 524). Los datos se presentan en la Tabla 15 y Figura 13.

Tabla 15.

Concentración de indicadores bacterianos para las familias control que tratan el agua de consumo y las que no la tratan.

	Nº de familias	Agua Sin Tratar				Agua Tratada			
		Concentración promedio del Indicador bacteriano (ufc/100 mL)				Concentración promedio del Indicador bacteriano (ufc/100 mL)			
		<i>E. coli</i>	Desv. Est	Coliformes totales	Desv. Est	<i>E. coli</i>	Desv. Est	Coliformes totales	Desv.Est
Hogares que no tratan el agua de consumo	7	58 (20-113)	30,19	326 (118-522)	125,00	-	-	-	-
Hogar que consume agua embotellada	1	-	-	-	-	3 (0-11)	4,46	176 (0-500)	205,22
Hogares que tratan el agua de consumo	9	67 (45-94)	18,05	322 (194-487)	112,72	22 (0-86)	26,51	373 (99-524)	139,83

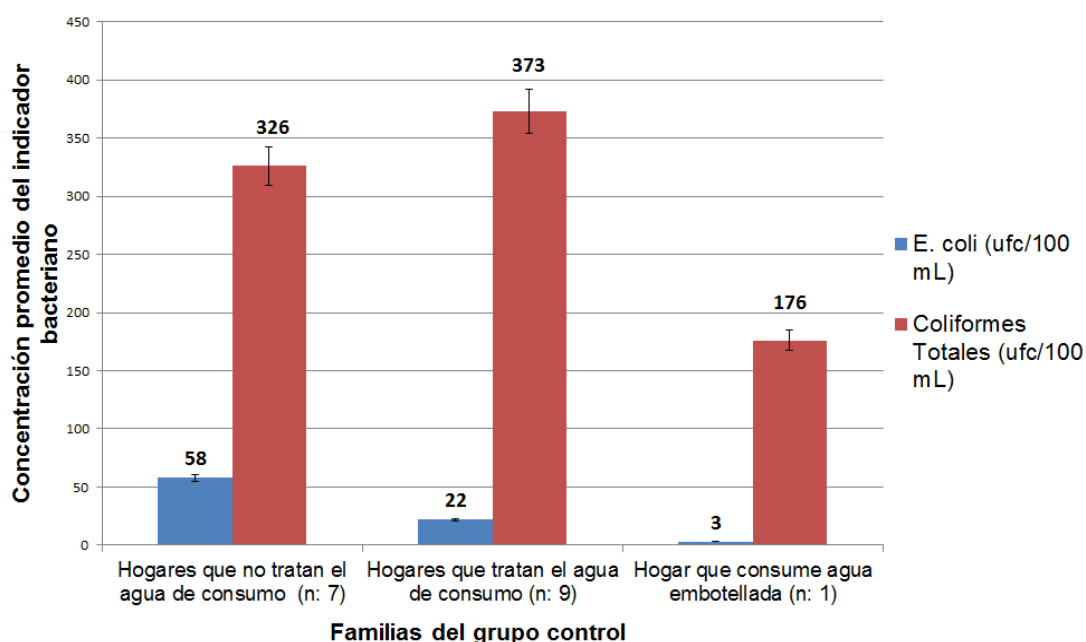


Figura 13. Concentración de indicadores bacterianos de los subgrupos de los casos control.

Se realizó un análisis en el subgrupo de las 9 familias que realizan algún TANDAS, por ejemplo: ebullición o cloración. Este subgrupo mostró valores de reducción en su agua de consumo con respecto al agua entubada como se puede apreciar en la Figura 14. En los primeros tres meses (noviembre-enero) se pudo apreciar dicha reducción. El valor de *E. coli* en el agua pasó de un valor entre 66 a 106 ufc /100 mL (agua entubada) a 0 a 20 ufc /100 mL (agua tratada). Sin embargo, durante el mes de marzo la reducción no fue efectiva ya que existió una mayor concentración de *E. coli* en el agua tratada en comparación con la agua entubada.

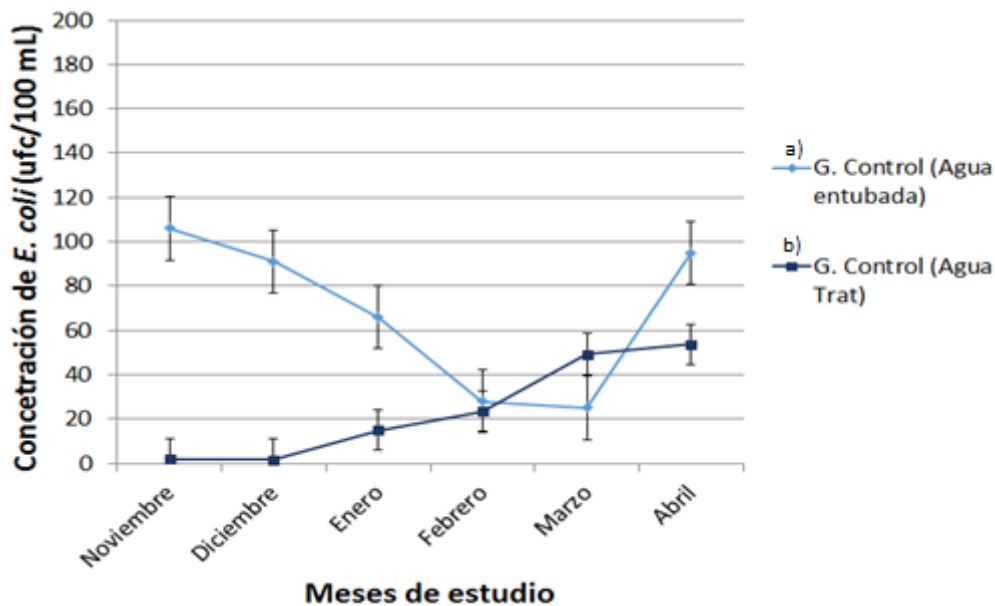


Figura 14. Análisis de la concentración promedio de *E. coli* en el agua entubada y tratada del subgrupo control que aplicaba algún tipo de TANDAS.

- a) *G. control (Agua entubada)*: Agua entubada del subgrupo control antes del tratamiento
 b) *G. control (Agua trat)*: Agua entubada del subgrupo control después del tratamiento.

Con el fin de conocer si la reducción bacteriana fue significativa para el agua tratada en las 9 familias que realizan algún TANDAS se llevó a cabo un análisis estadístico utilizando el software SPSS en donde se realizó una prueba T, para medias independientes asumiendo un nivel de confianza del 95% y un nivel de error del 5% (Anexo 11).

Los resultados permitieron determinar que a lo largo del estudio (seis meses), no existió diferencias significativas entre la carga bacteriana del agua tratada a través de algún TANDAS como: ebullición o cloración con respecto al agua entubada. Esto se debe a que la significancia obtenida corresponde a 0,077, tal y como se muestra en la Tabla 16. Debido a que este valor es mayor al nivel de error (P valor: $0,077 > \alpha: 0,05$) se aceptó la Hipótesis nula (H_0 : No existe diferencia significativa entre la media de los valores de ufc de *E. coli* en las muestras de agua entubada y las muestras de agua posterior a su tratamiento). La decisión estadística se muestra en el Anexo 12.

Tabla 16.

Prueba de muestras independientes para el agua entubada y tratada del subgrupo control.

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación Estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Concentración promedio de <i>E. coli</i> en el agua entubada y agua tratada (ufc/100 mL)	44,167	48,799	19,922	-7,045	95,378	2,217	5	,077

5.2.1.2.2 Grupo Experimental

Posterior al análisis de la información obtenida del grupo experimental, se conoció que los FCN tuvieron una buena acogida en las 19 familias participantes, ya que aproximadamente 17 familias utilizaron el filtro hasta el final del estudio. Por el contrario, 2 familias (11%) lo dejaron de utilizar debido al mal sabor del agua filtrada y a roturas del equipo filtrante. En comparación con un estudio realizado por Roberts (2004, pp. 1-6) en Camboya, se presentó una tendencia de desuso mayor debido a la rotura del equipo filtrante en 16 de 80 familias (20%). Se presume que posiblemente esto se deba al período de duración del estudio, al igual que la creencia de que la fuente de agua actual es lo suficientemente segura o por la falta de tiempo para utilizar y limpiar el filtro.

Así mismo en un estudio realizado por Ojomo y colaboradores (2015) se identificó mediante encuestas que los principales factores limitantes que contribuyen en la aplicación y sostenibilidad de los tratamientos de agua en el hogar están dados por: falta de motivación por parte de las personas para mejorar su salud, las enfermedades gastrointestinales no son vistas como un problema, barreras culturales, la falta de comprensión de los beneficios económicos de los TANDAS, su dificultad para incorporarlos a la rutina normal, falta de tiempo para aplicarlos, al igual que información limitada sobre su correcto uso. También en esta investigación se evidenció que a pesar de la

eficacia del tratamiento microbiano y los beneficios para la salud, los consumidores prefieren la conveniencia de la práctica y el atractivo del diseño del producto en lugar de la eficacia (Ojomo, Elliott, Goodyear, Forson y Bartram, 2015).

Por otro lado, los datos de los indicadores bacterianos analizados para las familias que usan agua entubada, demostró que el valor promedio de *E. coli* fue de 72 ufc / 100 mL (n: 9, min: 60 y máx: 84) y coliformes totales fue de 385 ufc /100 mL (n: 9, min: 356 y máx: 414).

Así también en las familias que utilizaban el FCN, el agua previa al tratamiento presentó un valor promedio de 91 ufc *E. coli* / 100 mL (n: 9, min: 29 y máx: 216) y de 382 ufc coliformes totales / 100 mL (n: 9, min: 185 y máx: 677). En el caso del agua que salía del filtro, es decir, la tratada, esta presentó una concentración promedio menor correspondiente a 7 ufc *E. coli* / 100 mL (n: 9, min: 0 y máx: 28) y 136 ufc coliformes totales / 100 mL (n: 9, min: 1 y máx: 298). Los datos se presentan en la Tabla 17 y Figura 15.

Tabla 17.

Concentración de indicadores bacterianos para familias que utilizan el filtro de agua de cerámica negra y las que no lo hacen.

	Nº de familias	Agua sin tratar				Agua Filtrada			
		Concentración promedio del Indicador bacteriano (ufc/100 mL)				Concentración promedio del Indicador bacteriano (ufc/100 mL)			
		<i>E. coli</i>	Desv.E st	Coliformes totales	Desv.E st	<i>E. coli</i>	Desv.E st	Coliformes totales	Desv. Est
Hogares que no utilizan el filtro de agua de cerámica negra	2	72 (60-84)	16.38	385 (356-414)	40.89	-	-	-	-

Hogares que utilizan el filtro de agua de cerámica negra	17	91 (29-216)	47.76	382 (185-677)	128.07	7 (0-28)	8.23	136 (1-298)	108.80
--	----	----------------	-------	------------------	--------	-------------	------	----------------	--------

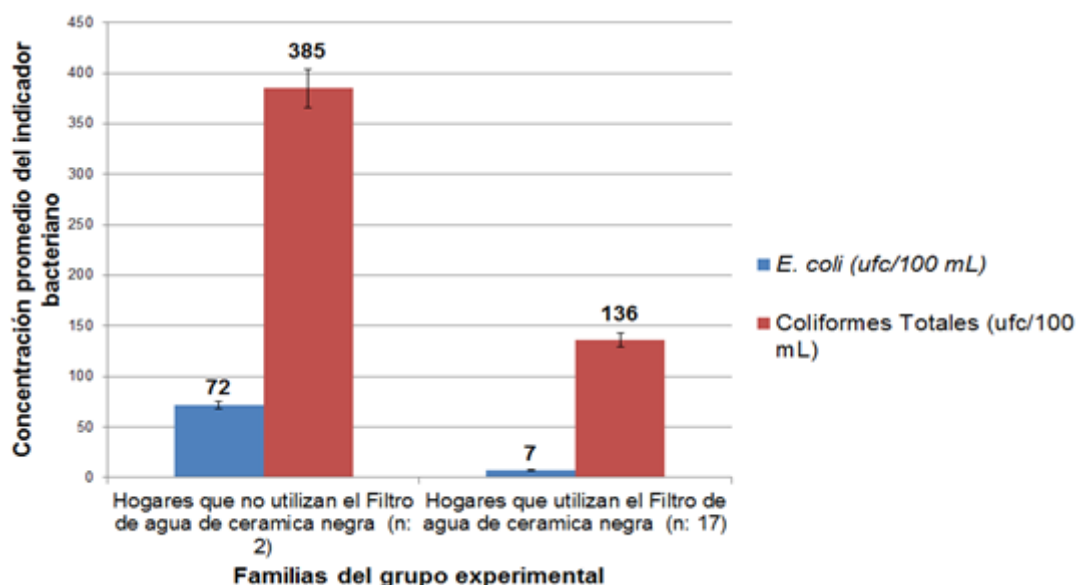


Figura 15. Concentración de indicadores bacterianos de los subgrupos de los casos experimentales.

Las diecisiete familias que filtraban el agua entubada presentaron a lo largo del estudio una reducción de los valores de *E. coli* en su agua de consumo tal y como se muestra en la Figura 16. En donde se puede apreciar que pese a las fluctuaciones en la concentración de este indicador en el agua entubada, la concentración final en el agua filtrada se encontraba en rangos menores correspondientes a 0-20 ufc / 100 mL. Cabe recalcar que dentro del rango presentado anteriormente los altos niveles de contaminación que sobrepasan los 10 ufc *E. coli* / 100 mL para el mes correspondiente a marzo, pueden explicarse por la falta de limpieza del contenedor plástico y el equipo filtrante. Al igual que una toma inadecuada de la muestra por parte del encuestado, contaminando el interior del recipiente estéril debido a una mala manipulación.

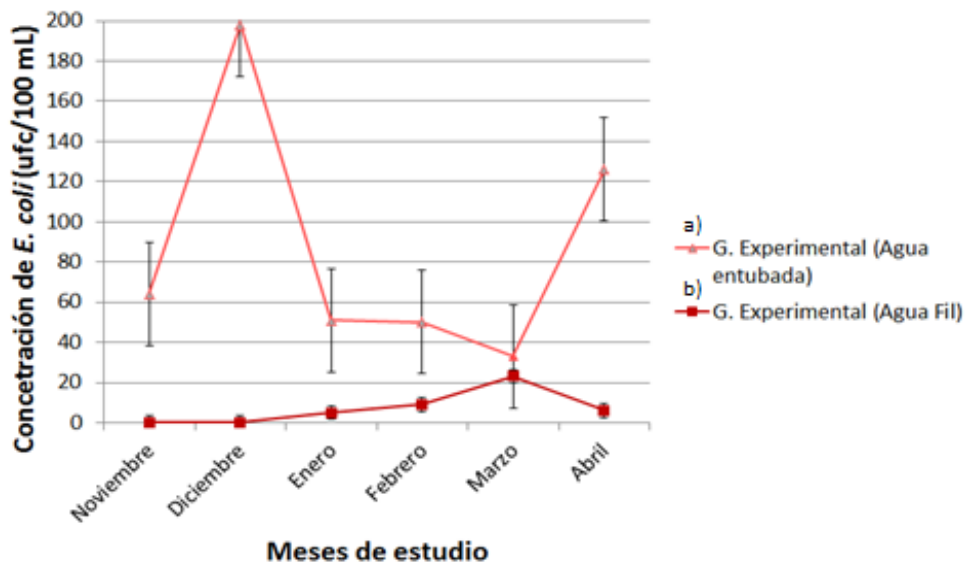


Figura 16. Análisis de la concentración promedio de *E. coli* en el agua entubada y la filtrada del subgrupo experimental.

a) *G. Experimental (Agua entubada)*: Agua entubada del subgrupo experimental antes del tratamiento

b) *G. experimental (Agua Fil)*: Agua filtrada a través del FCN.

Este análisis demostró que las familias que usaron el FCN, tuvieron una concentración bacteriana final menor, lo que quiere decir que el riesgo para la salud se redujo de alto a bajo/inexistente, demostrando la alta eficacia del tratamiento. Con relación a este resultado, un estudio realizado por Roberts (2004, pp. 1-6), se evidenció que en la comunidad de Camboya las fuentes de agua de consumo (vertientes naturales) presentan una contaminación fecal cuya ingesta tiene asimismo un riesgo alto para la salud, por lo que luego de la aplicación de los filtros de cerámica roja, la contaminación se redujo de un riesgo alto a bajo/inexistente, manifestando de igual manera la alta efectividad del tratamiento.

Se realizó un análisis en el subgrupo de familias que usaron el filtro a lo largo del estudio (n=17). Se determinó si la reducción bacteriana fue significativa en el agua filtrada, para lo cual se realizó un análisis estadístico utilizando el software SPSS en donde se llevó a cabo una prueba T, para medias independientes asumiendo un nivel de confianza del 95% y un nivel de error del 5% (Anexo 13).

Los resultados permitieron determinar que sí existió una diferencia significativa entre la carga bacteriana del agua entubada con respecto a la carga bacteriana posterior a ser filtrada. Esto se debe a que la significancia obtenida corresponde a 0,035, tal y como se muestra en la Tabla 18. El hecho de que este valor es menor al nivel de error (P valor: $0,035 < \alpha: 0,05$) permitió aceptar la Hipótesis alternativa (H_1 : Si existe diferencia significativa entre la media de los valores de ufc de *E. coli* en las muestras de agua entubada y las muestras de agua filtradas a través del Filtro de agua de cerámica negra). La decisión estadística se muestra en el Anexo 14.

Tabla 18.

Prueba de muestras independientes para el agua entubada y la filtrada del subgrupo experimental.

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desviación Estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Concentración promedio de <i>E. coli</i> en el agua entubada y agua filtrada (ufc/100 mL)	79,833	68,347	27,903	8,107	151,560	2,861	5	,035

5.2.1.3 Análisis entre grupos

Posterior al análisis de las diferencias internas que existen para cada grupo en particular, se procedió a realizar en primera instancia una comparación del agua de consumo (entubada) entre los dos grupos. En segundo lugar, se identificaron diferencias entre los valores promedio de *E. coli* que se obtuvo a lo largo del estudio de los cuatro subgrupos resultantes al final de este.

5.2.1.3.1 Análisis del agua entubada

Los valores promedio de *E. coli* que se muestran en la Tabla 19, indican que entre las familias experimentales se presenta una concentración de este indicador de 80 ufc *E. coli* / 100 mL (n: 9, min: 25 y máx: 136). En los hogares control el valor promedio obtenido fue de 63 ufc *E. coli* /100 mL (n: 9, min: 34 y máx: 101). Como se muestra en la Figura 17. Pese a estas diferencias, ambos resultados se encuentran en un rango de 10-100 ufc *E. coli* /100 mL, el comportamiento de este indicador bacteriano se muestra en el Anexo 15.

Tabla 19.

Valor promedio de *E. coli* en el agua entubada de ambos grupos

Grupo	Número de familias	Concentración <i>E. coli</i> (ufc/100 mL) Promedio (min-máx)	Desviación estándar
Control	17	63 (34-101)	23,24
Experimental	19	80 (23-136)	41,00

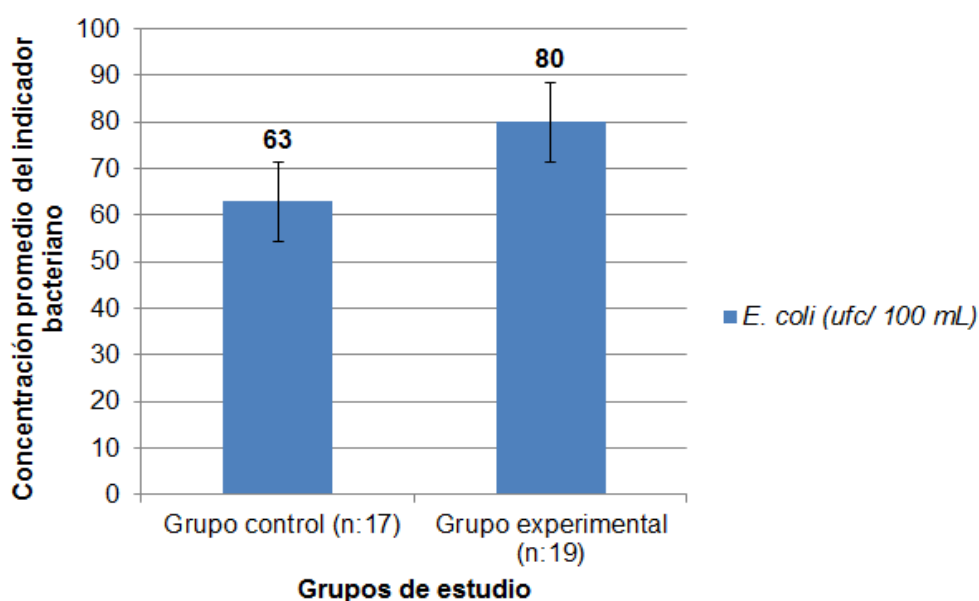


Figura 17. Concentración promedio de *E. coli* en el agua entubada de los grupos de estudio.

Se realizó nuevamente un análisis estadístico utilizando el software SPSS para conocer si existen diferencias significativas entre la concentración de *E. coli* en el agua entubada de ambos grupos. Se aplicó una prueba T para muestras independientes asumiendo un nivel de confianza del 95% y un nivel de error del 5% (Anexo 16).

A través de este análisis se determinó que no existe diferencia significativa en la concentración de este indicador bacteriano en el agua entubada de ambos grupos. Esta decisión estadística se determinó a partir de la significancia obtenida, la cual corresponde a 0,420 como se muestra en la Tabla 20. Este valor al ser mayor al nivel de error (P valor: $0,420 > \alpha: 0,05$) permitió aceptar la Hipótesis nula (H_0 : No existe diferencia significativa entre la media de los valores de ufc de *E. coli* del agua entubada de las familias control con respecto a las familias experimentales). La decisión estadística se observa en el Anexo 17.

Tabla 20.

Prueba de muestras independientes para el agua entubada de ambos grupos.

Concentración promedio de <i>E. coli</i> en el agua entubada (ufc/100 mL)	Prueba de Levene de igualdad de varianzas		Prueba T para la igualdad de medias				
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar
Se asumen varianzas iguales	5,416	,042	-,841	10	,420	-16,167	19,227
No se asumen varianzas iguales			-,841	7.927	,425	-16,167	19,227

5.2.1.3.2 Diferencias microbiológicas del agua de consumo

Los cuatro subgrupos resultantes corresponden a hogares control que tratan y no tratan el agua de consumo, de igual manera en el caso de los hogares experimentales se obtuvo aquellos que no usaron el FCN y aquellos que

filtraban el agua de consumo. El valor promedio de *E. coli* que se determinó de cada uno de ellos a lo largo del estudio se presentan en el Anexo 18.

En base a la Figura 18, la cual compara el agua de consumo filtrada con respecto a la tratada por otros TANDAS, permite deducir que la concentración de este indicador en el agua de consumo para los meses de noviembre y diciembre se encontraban en rangos de 0 a 55 ufc *E. coli* / 100 mL para todos los grupos. A partir de enero los valores incrementan y presentan ciertas variaciones para cada uno de ellos. Por otro lado es importante recalcar que del grupo control las 9 familias que realizaron algún tipo de tratamiento en comparación a las 17 familias que utilizaron el FCN, poseen un patrón similar con la diferencia que las familias experimentales poseen valores aún más pequeños. Así también, a pesar de que se trate de la misma agua entubada que se distribuye por todo el barrio y su consumo es directo para las dos familias que no usan el filtro, la concentración de *E. coli* presenta un patrón descendente y ascendente en cuanto a la concentración de este indicador. Por el contrario, para las 7 familias control que no tratan el agua, el patrón del indicador incrementa.

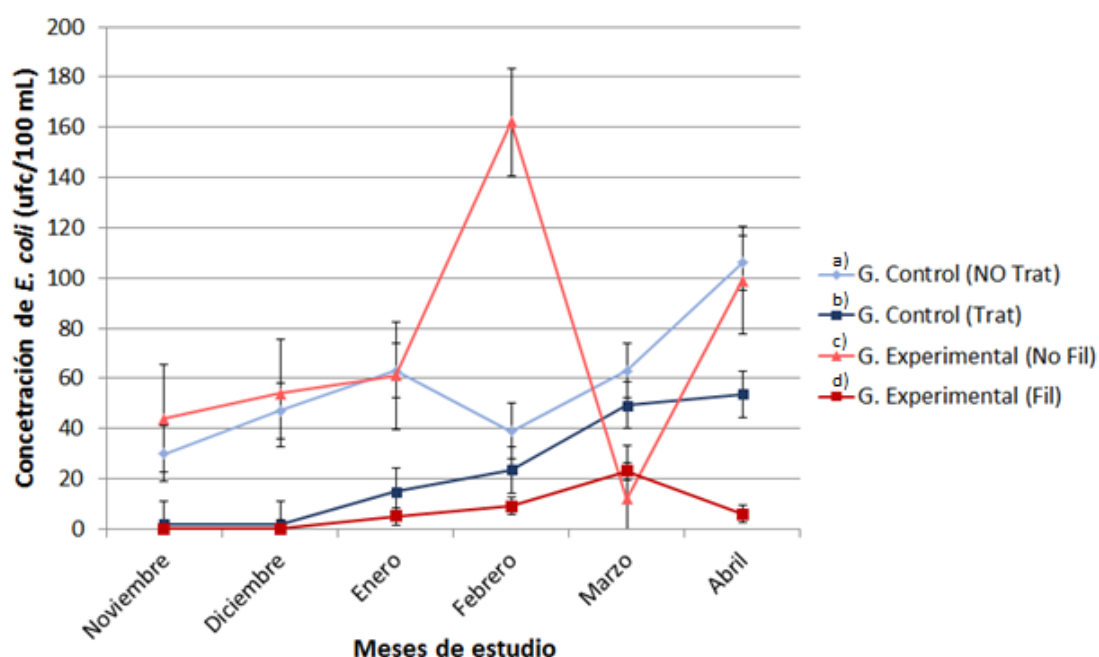


Figura 18. Análisis de la concentración promedio de *E. coli* en el agua de consumos de los 4 subgrupos de estudio.

- a) *G. control (NO trat)*: Agua entubada del subgrupo control
- b) *G. control (Trat)*: Agua tratada del subgrupo control
- c) *G. experimental (NO Fil)*: Agua entubada del subgrupo experimental
- d) *G. experimental (Fi)*: Agua filtrada del subgrupo experimental.

5.2.1.4 Diferencias entre tratamientos

De manera general al analizar la concentración promedio de *E. coli* en el agua tratada mediante algún TANDAS con respecto al agua filtrada a través del FCN, se pudo determinar que a lo largo de los seis meses de estudio este indicador bacteriano presentó una reducción en el agua de consumo. Debido a que se mantuvo valores bajos durante los primeros dos meses, 0 ufc / 100 mL (n: 9, min:0 y máx: 2), posteriormente se evidenció un ligero incremento en el valor de *E. coli*, siendo que en el mes de marzo se presencié una concentración correspondiente a 23 ufc/ 100 mL (n: 9, min: 0 y máx: 115). Comparado con el grupo control, en donde se determinó que de igual forma durante los dos primeros meses presentó una reducción de 3 ufc *E. coli* / 100 mL (n: 9, min: 0 y máx: 7). Pero después se aprecia un mayor incremento de este indicador, hasta llegar a 54 ufc/ 100 mL (n: 9, min: 0 y máx: 246) correspondiente al mes de abril, como se muestra en la Figura 19.

Pese al incremento que se generó en la concentración de *E. coli* para el grupo experimental, se mantuvo un patrón con niveles bajos de contaminación. Por otro lado para el grupo control se evidenció una baja eficacia de los TANDAS realizados.

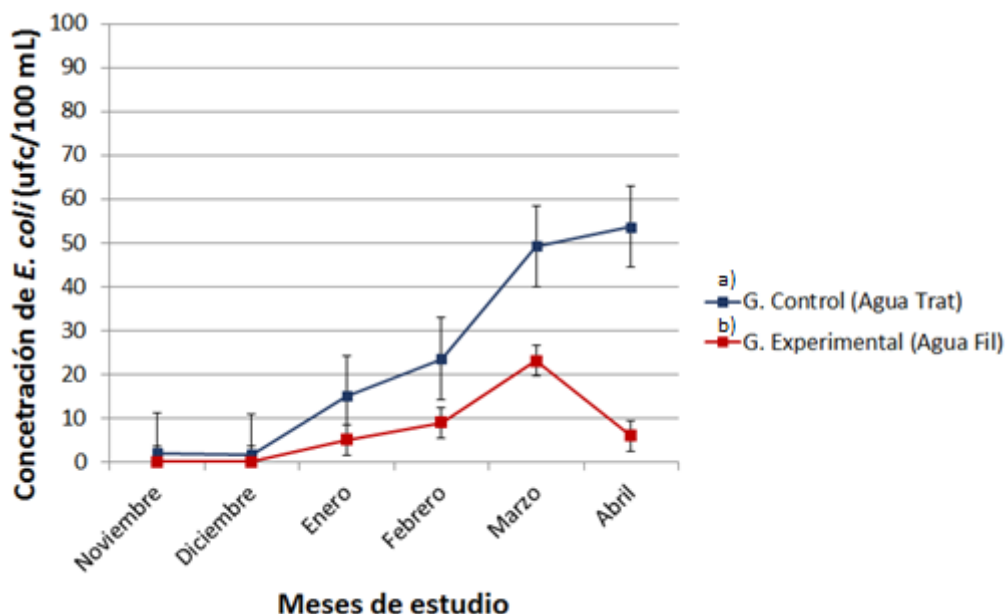


Figura 19. Análisis de la concentración promedio de *E. coli* en el agua tratada del grupo control y experimental.

- a) *G. control (Agua trat)*: Agua tratada del subgrupo control
 b) *G. experimental (Agua Fil)*: Agua filtrada del subgrupo experimental.

Se analizó diferencias significativas en cuanto a la eficacia de reducción de *E. coli* por parte de los TANDAS usados por las 9 familias control con respecto a las 17 familias del subgrupo experimental, para lo cual se realizó una prueba T, para medias independientes asumiendo un nivel de confianza del 95% y un nivel de error del 5% (Anexo 19).

Los resultados permitieron determinar que a lo largo del estudio, existió una diferencia significativa entre la carga microbiológica de *E. coli* en los TANDAS realizados por el subgrupo control con respecto al agua filtrada a través del FCN. Esto se debe a que la significancia obtenida corresponde a 0,036, tal y como se muestra en la Tabla 21, debido a que este valor es menor al nivel de error ($P \text{ valor: } 0,036 < \alpha: 0,05$) se aceptó la Hipótesis alternativa (H_1 : Sí existe diferencia significativa entre la media de los valores de ufc de *E. coli* en las muestras de agua filtrada en el grupo experimental con respecto al agua tratada por otros métodos en el subgrupo control). Como se muestra en el Anexo 20.

Tabla 21.

Análisis de las diferencias entre los subgrupos que tratan el agua de consumo

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias	prueba t para la igualdad de medias			prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
									Inferior	Superior
Concentración promedio de <i>E. coli</i> (ufc/ 100 mL)	Se asumen varianzas iguales	5,897	,036	1,735	10	,113	17,167	9,893	-4,876	39,210
	No se asumen varianzas iguales			1,735	6,382	,130	17,167	9,893	-6,693	41,027

En base al análisis estadístico antes descrito donde se puede remarcar la alta eficacia que el FCN presentó en campo correspondiente al 92,4% de reducción de *E. coli* en el agua de consumo dentro de un periodo de 6 meses de estudio y en comparación con el potencial que el filtro de cerámica roja presentó (95-99.99%), determinado una reducción similar de este indicador bacteriano en la investigación de Brown y Sobsey (2010, p. 10), al igual que Earwaker (2006) a lo largo de 44 meses en 3 contextos rurales Nicaragua, Camboya y Ghana.

Por otro lado, la eficacia que la filtración por cerámica roja presenta sobre otros TANDAS aplicados en campo fue variable en diferentes casos. Según Mohamed y colaboradores (2016) la reducción que generó el filtro de cerámica roja (99,5%) fue mayor en comparación con la ebullición (99,3%) y menor con respecto a un sistema comercial de purificación basado en coagulación combinada con cloración (99,6%). Estos valores fueron obtenidos en un estudio realizado en las zonas rurales de Guatemala, Vietnam, Camboya e India periurbana.

Es importante recalcar que las diferencias en cuanto a las reducciones microbiológicas de los distintos TANDAS presentados en la investigación de (Mohamed *et al.*, 2016) no son significativamente distintas, al contrario del presente estudio. El FCN al ser uno de los tratamientos domiciliarios tiene el

potencial de mejorar la seguridad del agua. Por tanto, es una solución provisional para el agua insegura mientras se aumenta la cobertura de agua potable libre de patógenos (Ojomo *et al.*, 2015).

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Cuatro de las cinco captaciones de los barrios muestreados en las parroquias de Gualea y Nanegal, exceptuando a Palmitopamba, se encuentran contaminados microbiológicamente, su concentración promedio corresponde a 75 ufc *E. coli* /100 mL (n: 1, min: 27 y máx: 137). Además, estas no califican como fuente de agua segura y accesible según la OMS, debido a que el 65% de entrevistados deben salir del domicilio, demorándose más de 30 minutos para abastecerse.

Palmitopamba es el único barrio que cumple con las normas dispuestas por la OMS en cuanto a la calidad del agua debido a que no presentaba contaminación microbiológica en su agua de consumo. La contaminación fecal analizada en Las Tolas y Santa Marianita presenta valores de unidades formadoras de colonias que se ubican en un riesgo alto y finalmente la concentración encontrada en Guanábana y Vista Hermosa se ubicaba en el rango de riesgo muy alto para la salud.

Santa Marianita presenta contaminación fecal de origen humano en la fuente de agua de distribución y esta es utilizada por todas las casas del barrio.

Los TANDAS convencionales practicados por el grupo control no tuvieron una reducción microbiológica considerable con respecto al agua entubada. Por el contrario el grupo experimental que utilizó los FCN si presentó una reducción microbiológica significativa al compararla con esta misma agua.

En la comunidad de Santa Marianita la implementación del FCN representa una alternativa viable y efectiva para la potabilización del agua en un contexto rural, debido a un porcentaje de reducción de enterobacterias del 92,4% en el agua de consumo.

El uso y aceptación de los filtros de cerámica negra por parte de las familias participantes fue alta, debido a su eficacia y fácil manejo sobre otros TANDAS.

6.2 Recomendaciones

Los GADs de las parroquias de Nanegal y Gualea deben implementar medidas que permitan potabilizar el agua que distribuye la captaciones de los barrios analizados hacia todos los hogares, debido a la elevada concentración de contaminación fecal y cuya ingesta puede tener complicaciones de alto riesgo en la salud de sus habitantes. Para lo cual pueden llevar a cabo tratamientos como la cloración que ha demostrado tener eficacia en la potabilización del agua (ejemplo: Palmitopamba).

Los GADs deberían realizar campañas para sensibilizar a los pobladores de los barrios analizados, sobre la importancia de la correcta aplicación de los de tratamientos de agua domiciliar al igual que un adecuado almacenamiento de la misma.

Promover el uso del FCN, en todos aquellos barrios que no presenten acceso a agua potable, debido a la eficacia demostrada a lo largo del trabajo experimental en cuanto a la reducción bacteriana y viral del agua de consumo, así como también por su bajo costo y eficiencia con respecto a otros TANDAS caseros.

Realizar un estudio sobre la alteración de las características organolépticas del agua proveniente de los FCN y como se puede reducir este efecto, debido a que fue uno de los principales factores por el cual se dejó de usar en la comunidad estudiada.

REFERENCIAS

- American Water Works Association. (2003). *Water Treatment. Principles and practices of water supply operations series*. Recuperado el 14 de junio del 2018 de <http://www.awwa.org/portals/0/files/publications/documents/toc/wsowatertreatment4etoc.pdf>
- Apella, M., & Araujo, P. (2005). Microbiología del agua. Conceptos básicos. *Tecnologías Solares Para La Desinfección Y Descontaminación del Agua*, 33–50. Recuperado el 16 de mayo del 2017 de https://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf
- Bagdasarjan, G. A. (1979). *Human viruses in water, wastewater and soil. World Health Organization - Technical Report Series*. Recuperado el 6 de julio del 2017 de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19812700009>
- Ballesteros, M., Mejía, A., Arroyo, V., Real, C., Garzón, C., & Sturzenegger, G. (2015). El futuro de los servicios de agua y saneamiento en América Latina. Caracas: CAF; BID. Recuperado el 10 de junio del 2017 de http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/798/EI%20Futuro%20de%20los%20Servicios%20de%20AyS%20en%20AL%20%28Documento%20para%20Discusi%C3%B3n%29_Actualizada.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Baque, R., Simba, L., Gonzalez, B., Suatunche, P., Diaz, E., & Cadme, L. (2016). Calidad del agua destinada al consumo humano en un cantón de Ecuador. *Ciencia Unemi*, 9(20), 109–117. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol9iss20.2016pp109-117p>
- Bielefeldt, R., Kowalski, K., & Summers, R. S. (2009). *Bacterial treatment effectiveness of point-of-use ceramic water filters. Water Research*, 43(14), 3559–3565. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.04.047>
- Bofill, S., Albinana, N., Clemente, P., Hundesa, A., Rodriguez, J., Allard, A., Girones, R. (2006). *Quantification and stability of human adenoviruses and polyomavirus JCPyV in wastewater matrices. Applied and*

- Environmental Microbiology*, 72(12), 7894–7896.
<https://doi.org/10.1128/AEM.00965-06>
- Bridle, H. (2014). *Waterborne Pathogens, Detection Methods and Applications*. USA: Elsevier, 15-362. Recuperado el 12 de junio del 2018 de https://www.researchgate.net/publication/277009717_Waterborne_Pathogens_Detection_Methods_and_Challenges
- Brown, J., Sobsey, M., & Proum, S. (2007). *Use of Ceramic Water Filters in Cambodia. Water and Sanitation Program*, 1–44. Recuperado el 13 de abril del 2018 de http://www.unicef.org/eapro/WSP_UNICEF_FN_CWP_Final.pdf
- 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.
<https://doi.org/10.2166/wh.2009.007>
- Cabral, J. P. S. (2010). *Water microbiology. Bacterial pathogens and water. International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(10), 3657–3703. <https://doi.org/10.3390/ijerph7103657>
- Calgua, B., Mengewein, A., Grunert, A., Bofill, S., Clemente, P., Hundesa, A., ... Girones, R. (2008). *Development and application of a one-step low cost procedure to concentrate viruses from seawater samples. Journal of Virological Methods*, 153(2), 79–83.
<https://doi.org/10.1016/j.jviromet.2008.08.003>
- Calvo, F. C. (2010). La situación actual y problemas existentes y previsibles en la calidad de las aguas. *Libro Blanco Del Agua de España*, 196–217. Recuperado el 22 de Julio del 2018 de https://www.chj.es/es-es/medioambiente/planificacionhidrologica/Documents/Plan%20de%20Recuperaci%C3%B3n%20del%20J%C3%BAcar/Cap.3_part1.%20Libro%20Blanco%20del%20Agua.pdf
- Cando, C. (2014). Estadística De Información Ambiental Económica En Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2014. Recuperado el 11 de Mayo del 2018 de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->

inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2016/Presentacion%20APA%20%202016%20F.pdf

- CAWST. (2011). Introducción al tratamiento de agua a nivel domiciliario y su almacenamiento seguro. Recuperado el 22 de abril del 2018 de http://www.paho.org/par/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=contaminacion&alias=502-introduccion-al-tratamiento-del-agua-a-nivel-domiciliario&Itemid=253
- CDC, U. S. A. (2001). *Safe Water System Handbook. Safe Water Systems for the Developing World: A Handbook for Implementing Household-Based Water Treatment and Safe Storage Projects*. 187. Recuperado el 11 de mayo del 2018 de http://hetv.org/resources/safewater/manual/1_toc.htm
- Clasen, T., Thao, D., Boisson, S., and O. Shipin (2008). *Microbiological Effectiveness and Cost of Boiling to Disinfect Drinking Water in Rural Vietnam*. *Environmental Science and Technology*; 42(12): 42:55. doi: 10.1111/tmi.12628
- Clasen, T. (2015). *Household Water Treatment and Safe Storage to Prevent Diarrheal Disease in Developing Countries*. *Current Environmental Health Reports*, 2(1), 69–74. <https://doi.org/10.1007/s40572-014-0033-9>
- Cohen, A., & Colford, J. M. (2017). *Effects of boiling drinking water on diarrhea and pathogen-specific infections in low- and middle-income countries: A systematic review and meta-analysis*. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 97(5), 1362–1377. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.17-0190>
- Cordeiro, N., Taroco, R., & Chiparelli, H. (2006). Virus de las hepatitis. *Temas de Bacteriología y Virología Médica*, 477. Recuperado el 28 de junio del 2018 de <http://www.higiene.edu.uy/cefa/cefaed2006.htm>
- Curtis, V., Cairncross, S., Yonli, R., Sivanappan, R. K., Daoud, A. K., Swaileh, K. M., Dunstan, R. H. (2012). *Tropical Medicine and International Health*, 106(1), 155–162. <https://doi.org/10.3329/jhpn.v28i1.4521>

- Delgado, S.; Trujillo, J. M. & Torres, M. A. (2017). Gestión del agua en comunidades rurales; caso de estudio cuenca del río Guayuriba, Meta-Colombia. *Revista Luna Azul*, 45, 59-70. doi: 10.17151/luaz.2017.45.5
- Dirección Nacional de Estadística y Análisis de información de salud - DNEAIS. (2016). *Principales causas de morbilidad ambulatoria 2015*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2017 de <https://public.tableau.com/profile/publish/Perfildemorbididadambulatoria2015/Men#!/publish-confirm#!%2Fpublish-confirm>
- Dunn, O., & Clark, V. (2009). *Basic Statistics A primer for the Biomedical Sciences*. Canadá: Wiley. Recuperado el 26 de mayo del 2018 de http://www.academia.dk/BiologiskAntropologi/Epidemiologi/PDF/Basic_Statistics__A_Primer_for_the_Biomedical_Sciences_4th_Ed.pdf
- Earwaker, P. (2006). *Evaluation of Household BioSand Filters in Ethiopia. Master of Science thesis in Water Management (Community Water Supply). Institute of Water and Environment, Cranfield University, Silsoe, United Kingdom*. Recuperado el 23 de julio del 2018 de https://www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/EARWAKER%202006%20Evaluation%20of%20Household%20BioSand%20Filters%20in%20Ethiopia.pdf
- FAO. (2009). *Enfermedades transmitidas por alimentos y su impacto socioeconómico*. Roma:Italia. Recuperado el 28 de mayo del 2018 de <http://www.awwa.org/portals/0/files/publications/documents/toc/wsowatertreatment4etoc.pdf>
- Figueras, M., & Borrego, J. (2010). *New perspectives in monitoring drinking water microbial quality. International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7(12), 4179–4202. <https://doi.org/10.3390/ijerph7124179>
- Freeman, C., Stocks, E., Cumming, O., Jeandron, A., Higgins, J. P. T., Wolf, J., ... Curtis, V. (2014). *Systematic review: Hygiene and health: Systematic review of handwashing practices worldwide and update of health effects. Tropical Medicine and International Health*, 19(8), 906–916. <https://doi.org/10.1111/tmi.12339>

- Fuentes, C., & Gómez, M. (2016). Enfermedades De Origen Hidrico, 1-34.
Recuperado el 4 de julio del 2018 de
<http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/15486/1/GOMEZREY MAYRA2016.pdf>
- Gerba, C. P. (2014). *Indicator Microorganisms. In Environmental Microbiology: Third Edition* (Second Edi, pp. 485–487). Elsevier Inc. Recuperado el 16 de mayo del 2018 de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394626-3.00023-5>
- Gómez, O. (2018). Contaminación de agua en países de bajos y medianos recursos es un problema de salud pública global. *Revista de La Facultad de Medicina*, 66(1), 7–8.
<https://doi.org/10.15446/revfacmed.v66n1.70775>
- 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.
<https://doi.org/10.2166/washdev.2014.121>
- Ghebremedhin, B. (2014). Human adenovirus: *Viral pathogen with increasing importance. European Journal of Microbiology and Immunology*, 4(1), 26–27. <https://doi.org/10.1556/EuJMI.4.2014.1.2>
- Guzman, C. A., & Feuerstein, G. Z. (2004). *Gene Therapy. In Pharmaceutical biotechnology*. Vol. 15, pp. 185–186.
<https://doi.org/10.1016/j.copbio.2004.10.009>
- Hernroth, B. E., Conden, A., Rehnstam, A., Girones, R., & Allard, A. K. (2002). *Environmental factors influencing human viral pathogens and their potential indicator organisms in the blue mussel, Mytilus edulis: the first Scandinavian report. Applied and Environmental Microbiology*, 68(9), 4523–33. <https://doi.org/10.1128/AEM.68.9.4523>
- Hunter, P. R. (2009). *Household water treatment in developing countries: Comparing different intervention types using meta-regression. Environmental Science and Technology*, 43(23), 8991–8997.
<https://doi.org/10.1021/es9028217>

- Jurado, R., Arenas, C., Doblas, A., Rivero, A., & Torre, J. (2010). Fiebre tifoidea y otras infecciones por salmonellas. *Medicine*, 10(52), 3497–3501. [https://doi.org/10.1016/S0304-5412\(10\)70069-X](https://doi.org/10.1016/S0304-5412(10)70069-X)
- Khush, R., Lantagne, D., & Montgomery, M. (2012). *A toolkit for monitoring and evaluating household water treatment and safe storage programmes*, 76. Recuperado el 25 de mayo del 2018 de [http://www.who.int/household_water/WHO_UNICEF_HWTS_Monitoring Toolkit_2012.pdf](http://www.who.int/household_water/WHO_UNICEF_HWTS_Monitoring_Toolkit_2012.pdf)
- Koo, H. C., Poh, B. K., & Ruzita, A. T. (2016). *Development, validity and reliability of a questionnaire on knowledge, attitude and practice (KAP) towards whole grain among primary school children in Kuala Lumpur, Malaysia. International Food Research Journal*, 23(2), 797–805. [http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20\(02\)%202016/\(46\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/23%20(02)%202016/(46).pdf)
- Larrea, J. (2016). Indicadores de contaminación fecal. In *Comunidades bacterianas de dos ecosistemas dulceacuícolas del occidente de Cuba y su relación con la calidad físico-química y microbiológica de sus aguas* (p. 8). Editorial Universitaria. Recuperado el 05 de julio del 2018 de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/udlasp/detail.action?docID=4794677>
- Mejía, A., Castillo, O., & Vera, R. (2016). Agua potable y saneamiento en la nueva ruralidad de América Latina. Agua para el desarrollo; Bogotá: CAF. Recuperado el 08 de junio del 2018 de <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/918>
- Millipore, M. (2014). Chromocult ® Agar para coliformes. Recuperado el 15 de abril del 2018 de https://www.merckmillipore.com/INTERSHOP/web/WFS/Merck-PE-Site/es_ES/-/PEN/ShowDocument-File?ProductSKU=MM_NF-C164546&DocumentId=201410.177.ProNet&DocumentUID=18116896&DocumentType=DS&Language=ES&Country=NF&Origin=PDP.
- Mohamed, H., Clasen, T., Njee, R. M., Malebo, H. M., Mbuligwe, S., & Brown, J. (2016). *Microbiological effectiveness of household water treatment technologies under field use conditions in rural Tanzania. Tropical*

- Medicine and International Health*, 21(1), 33–40.
<https://doi.org/10.1111/tmi.12628>
- Molina, D., & Lowe, K. (2014). *Use of quantitative PCR of functional genes to monitor coliforms and enteric bacteria in a constructed, urban wetland*. Author: Domingo Molina IV and Kristine L. Lowe Stable., 83(4), 136–144. <http://dx.doi.org/10.1893/0005-3155-83.4.136>
- Mondaca, M. A., & Campos, V. (2005). Riesgo De Enfermedades Transmitidas Por El Agua En Zonas Rurales. *Agua Potable Para Comunidades Rurales, Reuso Y Tratamiento Avanzado de Aguas Residuales Domésticas*, CAPITULO 1, 155–167. <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd57/riesgo.pdf>
- Mora, F. (2012). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial Parroquia Guachanamá. Recuperado el 26 de junio del 2018 de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1768111960001_PDOT_APROBADO_GUALEA_2015_-2019_30-10-2015_23-11-08.pdf
- Ojomo, E., Elliott, M., Goodyear, L., Forson, M., & Bartram, J. (2015). Sustainability and scale-up of household water treatment and safe storage practices: Enablers and barriers to effective implementation. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 218(8), 704–713. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2015.03.002>
- Organización de los Estados Americanos. (2005). Criterios y acciones para el cumplimiento de las metas del milenio en agua y saneamiento. Recuperado el 22 de junio del 2018 de <http://www.oas.org/dsd/MinisterialMeeting/CRITERIOS%20Y%20ACCIONES%20EN%20PRO%20CUMPLIMIENTO%20ODM%20AGUA%20Y%20SANEAMIENTO.pdf>
- Organización de las Naciones Unidas. (2015). El derecho al agua. *Folleto Informativo N° 35*, 64. Recuperado el 17 de julio del 2018 de <http://www.ohchr.org/Documents/Publications/FactSheet35sp.pdf>

- Organización Mundial de la Salud, (2004). Relación del agua, el saneamiento y la higiene con la salud. *Organización Mundial de La Salud*, 2. Recuperado el 17 de junio del 2018 de http://www.who.int/water_sanitation_health/facts2004/es/
- Organización Mundial de la Salud, (2015). Informe del Programa conjunto OMS/UNICEF de Monitoreo sobre el acceso al agua potable y saneamiento: datos esenciales. Recuperado el 18 de junio del 2018 de http://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/
- OMS, U. (2017). Progresos en materia de agua potable y saneamiento: informe de actualización 2017. Recuperado el 18 de junio del 2018 de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/164016/1/9789243507248_spa.pdf?ua=1
- Ortega, E., & Hernández, A. (2017). Seguridad alimentaria y nutricional, higiene e inocuidad: fundamentos microbiológicos. *UVserva*, 3(3), 44–51. Recuperado el 5 de julio del 2018 de <file:///C:/Users/biblioteca/Downloads/2567-12196-1-PB.pdf>
- Pérez, A., Díaz, J., Salamanca, K. L., & Rojas, L. Y. (2016). Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y Olla Cerámica. 18(2), 275–289. <https://doi.org/10.15446/rsap.v18n2.48712>
- Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial Parroquia Nanegal. (2015). Recuperado el 23 de junio del 2018 de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/17681088_20001_DIAGNOSTICO_GADPNANEGAL_2015-2019_31-10-2015_23-55-00.pdf
- Portillo, L. J. A. (2015). *In every cántaro of water: women's water access struggles in rural El Salvador*. Recuperado el 19 de mayo del 2018 de <https://search.proquest.com/docview/1719459117?pq-origsite=gscholar>
- Pozo, M., Serrano, J., Castillo, R., & Moreno, L. (2016). Indicadores ODS de Agua, Saneamiento e Higiene en Ecuador, 14–15. Recuperado el 12 de julio del 2018 de

https://drive.google.com/file/d/1zhdxmv9dZGHi_S6Tvcdkoq00WeVVZBan/view?ts=5b71caa4

- Rayner, J., Murray, A., Branz, A., Joseph, M., & Lantagne, D. S. (2016). *Evaluation of household drinking water filter distribution programmes in Haiti*. *39th WEDC International Conference*, 5 pp. <https://doi.org/10.2166/washdev.2016.121>
- Renapra. (2014). Enfermedades Transmitidas Por Alimentos Ficha Técnica: Shigelosis. *Administración Nacional de Medicamentos*. Recuperado el 24 de junio del 2018 de <http://www.anmat.gov.ar/webanmat/Publicaciones/Shigelosis.pdf>
- Ríos, S., Agudelo, R. M., & Gutiérrez, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 236–247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Roberts, M. (2004). *Field test of a silver-impregnated ceramic water filter*. *Vientiane, Lao PDR: 30th WEDC International Conference.*, 1–6. Recuperado el 22 de junio del 2018 de <https://dspace.lboro.ac.uk/dspace-jspui/bitstream/2134/30036/2/Roberts.pdf>
- Rodríguez, R., Martínez, C., & Hernández, D. (2006). Calidad del agua de fuentes de manantial en la zona básica de salud de Sigüenza. *Red Revista Española de Salud Pública*, 3. <https://ebookcentralproquest.com.bibliotecavirtual.udla.edu.ec/lib/udlas/p/detail.action?docID=3171215>
- Sadowsky, M., & Whitman, R. (2011). *Taxonomy, phylogeny, and physiology of fecal bacteria*. In *Fecal Bacteria* (pp. 28–30). ASM Press.
- SENAGUA. (2016). Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento. *Secretaría Nacional Del Agua*, 7, 17, 20. Recuperado el 14 de mayo del 2018 de <https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/07/REVISTA-SENAGUA.compressed.pdf>

- Sistema Nacional de Información. (2017). Información socio-demográfica. Censo 2010. Recuperado el 19 de junio del 2018 de <http://indestadistica.sni.gob.ec/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=SNl.qvw&host=QVS@kukuri&anonymous=truehttp://indestadistica.sni.gob.ec/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=SNl.qvw&host=QVS@kukuri&anonymous=true&bookmark=Document/BM24>
- Sobsey, M. D. (2004). *Managing Water in the Home: Accelerated Health Gains from Improved Water Supply*. *World Health* (Vol. 8). <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2005.00820.x>
- Solís, L., & López, J. (2003). *Principios básicos de contaminación ambiental*. Toluca, México: Universidad Autónoma del Estado de México. Recuperado el 22 de julio del 2018 de <http://www.worldcat.org/title/principios-basicos-de-contaminacion-ambiental/oclc/55640213/editions?referer=di&editionsView=true>
- Tran, N. H., Gin, K. Y. H., & Ngo, H. H. (2015). *Fecal pollution source tracking toolbox for identification, evaluation and characterization of fecal contamination in receiving urban surface waters and groundwater*. *Science of the Total Environment*, 538, 38–57. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.155>
- Ugwu MC, Edeani GI, Ejikeugwu CP, Okezie U, Ejiofor SO. (2017). *Antibiotic Susceptibility Profile of Escherichia coli and Salmonella Causing Childhood Diarrhoea in Awka Municipality, South-eastern Nigeria*. *Clinical Microbiology: Open Access*, 6(2), 2–6. <https://doi.org/10.4172/2327-5073.1000277>
- UNICEF & WHO. (2017). *Progress on Drinking Water , Sanitation and Hygiene*. Recuperado el 26 de mayo del 2018 de <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2017/launch-version-report-jmp-water-sanitation-hygiene.pdf>
- WHO. (2012). *Household Water Treatment and Safe Storage Following Emergencies and Disasters*. *Water Sanitation and Health*, 12. Recuperado el 20 de junio del 2018 de http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/hwts-following-

emergencies-and-disasters/en/

World Health Organization. (2007). Lucha contra Las enfermedades transmitidas por el agua en Los hogares. *Cdrwww.Who.Int*, 1-36. Recuperado el 16 de junio del 2018 de http://www.who.int/household_water/advocacy/combating_disease_es.pdf

World Health Organization (Who). (2008). *Household water treatment and safe storage*. Enfermedades transmitidas por agua. Recuperado el 20 de Julio del 2018 de http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/hwts-following-emergencies-and-disasters/en/

Wong, K., Fong, T. T., Bibby, K., & Molina, M. (2012). *Application of enteric viruses for fecal pollution source tracking in environmental waters. Environment International*, 45(1), 152–153. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.02.009>

Wrigley, T. (2007) *Microbial Counts and Pesticide Concentrations in Drinking Water After Alum Flocculation of Channel Feed Water at the Household Level, in Vinh Long Province, Vietnam, Journal of Water and Health*; 05:1. <https://doi.org/10.2166/wh.2006.003>

ANEXOS

Anexo 1. Aprobación del Diseño experimental por parte del Comité de Ética



D. M. de Quito, 12 de octubre de 2017

PhD. Laura Guerrero Latorre
Directora
 PhD. Martha Fors
 MSc. Mayra Fernanda Chico
 MSc. Lucia Jeannete Zurita Salinas
Investigadoras

De mis consideraciones:

Por medio de la presente el Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Universidad de Las Américas (**CEISH-UDLA**) le informa que el protocolo y los instrumentos de investigación: encuestas y consentimiento informado, del proyecto titulado "**Estudio exploratorio de la eficacia y seguridad de Filtros de Agua de Cerámica negra en la comunidad de Santa Marianita, Nanegal, Ecuador 2017**", fue revisado en sesión plenaria el 4 de octubre de 2017 y con fecha de hoy 12 de octubre de 2017.

Esta aprobación, tiene una duración de un año, después del cual se debe pedir extensión si fuera necesaria.

En toda correspondencia con el Comité de Ética de Investigación con Seres Humanos, favor referirse al siguiente código de aprobación: **2017-0902**.

El Comité estará dispuesto a lo largo de la implementación del estudio a responder tanto a los participantes como a los investigadores en relación a cualquier inquietud que pudiere surgir. Es importante remarcar que cualquier novedad debe ser comunicada al Comité; todo cambio en el protocolo de investigación implica que debe pedir una nueva aprobación al CEISH-UDLA.

El Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Universidad de Las Américas ha otorgado esta aprobación con base en la información entregada por los solicitantes, quienes al presentarla asumen la veracidad, corrección y autoría de los documentos entregados. Los solicitantes de la aprobación son los responsables de aplicar y respetar la información, procedimientos y condiciones expresados en estos documentos aprobados por el Comité; también son responsables de respetar la legislación vigente aplicable y los estándares nacionales e internacionales en la materia.



Diego Chauvin
Presidente
CEISH-UDLA



Anexo 2. Ficha de Registro para participar en la Investigación.

Datos del Representante Familiar					
Nombre Completo Representante Familiar				Edad	
Número de teléfono/celular			Número de Cedula		
Miembros del hogar					
Nombre Completo	Edad	Sexo	Relación con el Representante (esposa, marido, madre, hijo, sobrino, etc)		
Ubicación del hogar (marcar en mapa)	Dirección (escrita):				

Anexo 3. Partes del Consentimiento Informado

Documento de Consentimiento Informado para los habitantes de Santa Marianita

Este formulario de consentimiento informado es para padres de niños entre las edades de 1 a 15 años que residen en Santa Marianita y a quienes les vamos a pedir que participen en la investigación "Filtros de Agua de Cerámica Negra: estudio de impacto en salud en la comunidad de Santa Marianita".

Nombre del investigador Principal: Dra. Laura Guerrero Latorre
Nombre de la Organización: Universidad de las Américas, Quito

Este Documento de Consentimiento Informado tiene dos partes:

- **Parte I. Información (proporciona información sobre el estudio para usted)**
- **Parte II. Formulario de Consentimiento (para obtener la firma si usted está de acuerdo en que su hijo pueda participar)**

Se le dará una copia del Documento completo de Consentimiento Informado

PARTE I: Información

Introducción

Yo soy Laura Guerrero Latorre, trabajo para la Universidad de las Américas y estamos investigando sobre tratamientos de agua para los hogares que no tienen acceso a agua potable.

Le voy a dar información e invitar a su hijo/hija a que participe en esta investigación. No tiene que decidir hoy si está de acuerdo o no a que su hijo/hija participe en la investigación. Antes de decidir, usted puede hablar con alguien con quien se sienta cómodo.

Puede que haya algunas palabras que no entienda. Por favor pídamle parar según avanzamos en la información y tomaré tiempo para explicarlas. Si usted tiene preguntas después, puede preguntármelas a mí o al personal.

Propósito

Las diarreas y parasitosis son enfermedades habituales en niños que viven en zonas donde la población no tiene acceso a sistemas de agua potable. El tratamiento doméstico del agua no siempre es efectivo (hervir, filtrar el agua) y en base a un estudio realizado en St. Marianita. El propósito de esta investigación es probar un nuevo sistema de tratamiento de agua para ver si protege a niños pequeños mejor que el uso de tratamientos de agua convencionales.

Tipo de Intervención de Investigación

Un seguimiento cada 15 días del estado de salud y de la calidad del agua doméstica. Además, se realizará la recogida de muestras de heces de los niños del hogar en caso de episodio de diarrea.

Selección de Participantes

Le estamos invitando a tomar parte de esta investigación porque es importante que probemos el efecto de este tratamiento de agua doméstico en niños que viven en un área donde no hay un sistema de agua potable y donde los problemas de parasitosis y diarrea son importantes. Ya que usted y su hijo/a viven en esta área, le preguntamos si usted permitiría que participe su hijo/a.

Compartir los resultados

El conocimiento que obtendremos de este estudio se compartirá con usted antes de que se haga ampliamente disponible al público. No se compartirá información confidencial. Habrá pequeños encuentros en la comunidad y estos se anunciarán. Después, se publicarán los resultados para que otras personas interesadas aprendan de nuestra investigación.

A quien contactar

Si usted tiene algunas preguntas puede hacerlas ahora e incluso después de que haya comenzado el estudio. Si usted desea hacer preguntas más tarde, puede contactar a cualquiera de las siguientes personas:

Laura Guerrero Latorre

Dirección: Universidad de las Américas, Quito. Calle Jose Queri s/n, Bloque 8, PB

Teléfono: +593 (2) 3981000 Ext: 2341

Email: laura.guerrero.latorre@udla.edu.ec

Mayra Fernanda Chico Terán

Dirección: Universidad de las Américas, Quito. Calle Jose Queri s/n, Bloque 7, 3er piso

Teléfono: +593 (2) 3981000 Ext: 7094

Email: mayra.chico@udla.edu.ec

Esta propuesta ha sido evaluada y aprobada por Comité de Ética de Investigación en Seres Humanos de la Universidad de Las Américas (CEISH-UDLA), que es un comité cuya tarea es asegurarse de que a los participantes se les protegerá de daños. Si desea averiguar algo más del comité, contacte

Diego Chauvin

Dirección: Universidad de las Américas, Quito. Calle Jose Queri s/n, Bloque 8

Teléfono: +593 (2) 3981000 Ext: 116

Email: diego.chauvin@udla.edu.ec

Formulario de Consentimiento

He sido invitado para que mi niño/a participe en una investigación sobre un nuevo tratamiento de agua para el domicilio con el fin de reducir los episodios de diarrea infantil. Entiende que ello significa que reciba un tratamiento de agua para el domicilio y que recibirá 12 visitas de seguimiento. He sido informado de que no se conocen riesgos. Soy consciente de que puede que no haya beneficio personal para mí o mi niño/a y que no seré compensado más allá de la entrega de un filtro al finalizar el estudio si esta muestra eficacia. Se me ha proporcionado el nombre de un investigador que puede ser contactado fácilmente usando el número que se me dio.

He leído la información proporcionada, o me ha sido leída. He tenido la oportunidad de preguntar dudas sobre ello y se me ha respondido satisfactoriamente. Consiento voluntariamente que mi niño/a participe en este estudio y entiendo que tengo el derecho de retirar del estudio mi niño/a en cualquier momento sin que afecte de ninguna forma mi atención médica ni la de mi niño/a.

Nombre del Participante _____

Nombre del Padre/Madre o Apoderado _____

Firma del Padre/Madre o Apoderado _____

Fecha _____

Día/mes/año

Formulario de Asentimiento

Para niño, niña o menores de edad.

Se me ha preguntado si deseo o no participar en este estudio de investigación. Conozco que en este estudio se realizarán preguntas sobre mi estado de salud y manejo del agua, además de la toma de muestras de heces cuando tenga diarrea.

Se me ha explicado en qué consistirá mi participación (de manera verbal, por medio de imágenes, representaciones, fotografías, videos, otros recursos) y he tenido la oportunidad de hacer preguntas y han aclarado mis dudas. A cada pregunta que yo he formulado me han respondido y he comprendido. He tenido tiempo suficiente para conocer y comprender los riesgos y beneficios de mi participación. Yo consiento participar en esta investigación.

Nombre del niño/niña _____

Firma del niño/niña _____

Fecha _____

Día/mes/año

Anexo 4. Encuesta para Grupo Control (A)

Cuestionario Seguimiento Hogares Grupo Control

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 ¿Podría darme un vaso de agua de la que ustedes usan para dar de beber a los niños de la casa?

Si (tomar muestra con vaso estéril) Código: N° hogar_1	1	No	0	No tengo	99
---	---	----	---	----------	----

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

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

3. PREGUNTAR ¿De qué fuente proviene esta agua?

Agua entubada	1	Agua lluvia	2	Pozo	3
Agua tanquero	4	Agua embotellada	5	Otra:	

4. OBSERVAR: ¿El agua de consumo esta almacenada en un contenedor?

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

- 4.1. OBSERVAR: ¿Qué tipo de contenedor usa para el agua de consumo?

Bidón	1	Jarra	2	Tanque	3
Bidón con llave	4	Recipiente cerámico	5	Otro:	

- 4.2. OBSERVAR: ¿Esta el contenedor cerrado?

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

- 4.3. OBSERVAR: ¿Esta el contenedor limpio?

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

- 4.4. OBSERVAR: ¿Esta el contenedor fuera alcance de animales?

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

5. PREGUNTAR: ¿Hace usted algo para mejorar la calidad el agua de consumo?

Si	1	No	0	No lo sé	99
----	---	----	---	----------	----

- 5.1. PREGUNTAR ¿Qué ha hecho para mejorar esta agua para el consumo?

Hervir	1	Cloro	2	Sedimentar	3
Filtrar con trapo	4	Filtro arena	5	Otra:	

- 5.2. PREGUNTAR ¿Hace cuantas horas que hizo el tratamiento?

Horas

- 5.3. PREGUNTAR ¿Puede darme agua sin tratar de esa misma fuente?

Si (tomar muestra con vaso estéril) Código: N° hogar_2	1	No	0	No tengo	99
---	---	----	---	----------	----

- 5.4. PREGUNTAR ¿Cuándo usted NO trata el agua?

Época Seca	1	Época lluvias	2	Cuando no tengo tiempo	3
Cuando no hay dinero	4	Siempre trato el agua	5	Otra:	

Anexo 5. Encuesta para Grupo Experimental (B)

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?

Sí (tomar muestra con vaso estéril) Código: N° hogar_1	1	No (ir a preg. 2)	0
---	---	-------------------	---

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

Sí	1	No	0
----	---	----	---

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

Sí	1	No	0
----	---	----	---

1.3. OBSERVAR ¿Está el filtro mojado?

Sí	1	No	0
----	---	----	---

1.4. OBSERVAR ¿Está el filtro limpio?

Sí	1	No	0
----	---	----	---

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	¿Cuantas 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?

Sí (tomar muestra con vaso estéril) Código: N° hogar_2	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?

Sí (tomar muestra con vaso estéril) Código: N° hogar_1	1	No (ir a preg. 2)	0
---	---	-------------------	---

Incidentes reportados/observados (fractura del filtro, desaparición del filtro...)

Anexo 6. Protocolo detallado de concentración y floculación orgánica con leche
(modificado de Calgua, *et al*, 2008, pp. 79-80)

1. Ubicar 10 litros de agua en recipientes debidamente etiquetados (baldes).
2. Medir pH y conductividad eléctrica iniciales de la muestra.
3. Realizar una titulación de la muestra con HCl 1N y NaOH al 4% hasta conseguir un viraje de pH final de $3,5 \pm 0,1$.
4. Añadir 100 mL de leche descremada, pre-floculada, esta solución contenía 5 g de leche desnatada en polvo disueltos en 500 mL de agua de mar artificial (agua a la cual se añadió previamente sales marinas).
5. Añadir 1000 μ L de bacteriófago MS2 (control positivo).
6. Ubicar agitación por 8 a 10 horas a temperatura ambiente.
7. Posterior a floculación y sedimentación, recolectar el pellet en un vaso de precipitación de 500 mL.
8. Traspasar el contenido a un tubo falcon de 50 mL.
9. Centrifugar los tubos falcon por 40 minutos a 4000 rpm.
10. Retirar el sobrenadante de los tubos y resuspender el pellet con PBS (tampón fosfato salino), hasta obtener un volumen de 10 mL.
11. Neutralizar el contenido de los tubos falcon a través de titulación con HCl 1N o NaOH al 4% hasta conseguir un pH de 6 ± 1
12. Almacenar los concentrados a -80°C .

Anexo 7. Procedimiento detallado de extracción de ADN viral, cuantificación y detección de Adenovirus Humano (modificado de Hernroth, *et al*, 2002)

Extracción

1. Pipetear 560 uL de buffer AVL en un tubo de 1.5 mL. En el caso de que la muestra tenga un volumen mayor a 140 uL se debe incrementar la cantidad de buffer AVL proporcionalmente.
2. Colocar 140 uL de la muestra en el buffer AVL y proceder por 15 segundos a realizar un pulse-vortexing para conseguir una mezcla homogénea.
3. Incubar a temperatura ambiente (15-25°C) por aproximadamente 10 minutos.
4. Añadir 560 uL de etanol (96-100 %) a la muestra y nuevamente homogeneizar por 15 segundos a través de pulse-vortexing.
5. Centrifugar por 20 segundos con el fin de sedimentar materia orgánica capaz de inhibir la reacción.
6. Ubicar 630 uL de la solución obtenida en la columna QIAmp mini column.
7. Centrifugar a 8000 rpm por 1 min.
8. Colocar la columna dentro de un tubo de colección limpio y descartar el tubo que contiene el filtrado.
9. Al volumen obtenido agregar 500 uL de buffer AW1 y centrifugar a 8000 rpm por 1 min. Colocar la columna en un tubo limpio de 2 mL y descartar el tubo que contiene el filtrado.
10. Añadir 500 uL de buffer AW2 y centrifugar a máxima velocidad (14 000 rpm) por 3 min.
11. Colocar la columna en un tubo nuevo y descartar el anterior con el filtrado y finalmente centrifugar a máxima velocidad por 1 minuto.
12. Colocar la columna en un tubo de 1.5 mL limpio, descartar el tubo antiguo con el filtrado, añadir cuidadosamente 60 uL de buffer AVE,
13. Centrifugar a 8000 rpm por 1 min.

Cuantificación

14. Ubicar 10 uL de ADN viral y 15 uL de environmental master mix 2x (APPLIED BIOSYSTEMS).

15. Ubicar en un termociclador de tiempo real CFX96 y ubicar las condiciones de reacción para 40 ciclos: 10 minutos a 95 °C (desnaturalización), 15 segundos a 95 °C (hibridación) y 1 minuto a 60°C (elongación).

Anexo 8. Datos procesados in silico, obtenidos durante el diseño experimental (Análisis Inicial - Enero I).

Cod	Grupo	Análisis Inicial				Análisis Noviembre I				Análisis Noviembre II				Análisis Diciembre I				Análisis Diciembre II				Análisis Enero I			
		E.coli M1	Coliformes totales M1	E.coli M2	Coliformes totales M2	E.coli M1	Coliformes totales M1	E.coli M2	Coliformes totales M2	E.coli M1	Coliformes totales M1	E.coli M2	Coliformes totales M2	E.coli M1	Coliformes totales M1	E.coli M2	Coliformes totales M2	E.coli M1	Coliformes totales M1	E.coli M2	Coliformes totales M2	E.coli M1	Coliformes totales M1	E.coli M2	Coliformes totales M2
1	B	0	300	MP	0	0	12	190	-	-	-	-	0	154	96	>566	0	102	0	>300	1	>569	50	172	
2	A	12	199	44	300	0	>500	295	374	MP	NA	NA	11	>511	438	528	5	>505	7	136	54	94	22	253	
3	A	NA	NA	MP	NA	4	17	-	-	-	-	NA	NA	236	412	NA	NA	NA	17	69	43	139	NA	NA	
4	B	0	>633	9	100	0	0	15	215	0	0	17	85	0	0	604	-	-	-	-	2	64	276		
5	A	NA	NA	26	227	NA	NA	8	116	NA	NA	8	82	-	70	256	NA	NA	30	106	NA	NA	5	19	
6	B	MP	MP	MP	0	0	228	359	MP	MP	MP	0	0	169	188	0	32	53	140	25	>525	60	210		
7	A	0	240	22	78	5	24	57	413	0	0	57	96	1	385	NA	NA	-	-	-	-	0	137	56	332
8	B	11	320	8	141	0	0	21	112	MP	MP	MP	0	0	384	488	2	3	18	96	0	35	62	202	
9	B	NA	NA	8	65	0	0	149	179	MP	MP	MP	0	0	380	536	0	0	45	108	0	0	72	>572	
10	A	NA	NA	7	468	NA	NA	MP	MP	MP	1	77	-	-	312	524	0	NA	56	128	4	564	43	171	
11	A	NA	NA	9	49	NA	NA	4	47	NA	NA	MP	MP	>500	>748	-	31	50	NA	NA	NA	NA	48	140	
12	B	NA	NA	13	72	0	2	22	235	-	-	-	-	0	32	43	0	0	21	217	18	302	62	205	
13	A	NA	NA	31	97	NA	NA	67	>567	NA	NA	92	344	>730	>1715	-	NA	NA	MP	MP	NA	NA	48	280	
14	B	NA	NA	12	148	0	4	48	>548	0	1	38	486	0	>648	1100	-	NA	NA	MP	NA	NA	48	280	
15	A	NA	NA	15	63	NA	NA	13	>513	NA	NA	35	252	NA	NA	18	42	-	-	-	NA	NA	53	307	
16	B	NA	NA	MP	MP	0	0	72	>572	0	0	120	269	0	>500	>1000	0	1	79	>579	0	0	153	>653	
17	B	NA	NA	4	150	NA	NA	23	232	0	0	46	>546	0	0	NA	NA	-	-	-	-	0	0	60	285
18	A	NA	NA	19	427	NA	NA	23	77	NA	NA	29	>529	7	12	NA	NA	-	-	-	-	MP	MP	38	>500
19	B	15	52	73	92	0	0	320	566	MP	MP	MP	MP	-	-	166	>666	1	4	94	185	25	174	81	297
20	B	MP	MP	MP	0	2	116	388	MP	MP	MP	MP	1	2	738	1003	0	4	21	211	9	89	53	279	
21	A	0	>500	18	202	0	>500	10	90	0	0	15	66	0	272	27	268	-	-	-	-	0	>500	MP	MP
22	B	MP	MP	MP	3	21	10	16	>516	NA	NA	5	>505	NA	NA	78	>578	-	-	-	-	2	163	50	>300
23	B	NA	NA	32	85	0	0	MP	MP	2	352	NA	NA	2	>502	>1052	0	0	65	>565	4	20	41	131	
24	A	15	41	MP	MP	0	>500	14	74	-	-	-	-	1	>500	38	>538	0	>500	107	>607	MP	MP	16	>300
25	B	NA	NA	22	134	0	0	12	>512	-	-	-	-	NA	NA	30	135	MP	MP	12	>512	54	132	59	559
26	A	0	25	16	56	0	>500	NA	NA	NA	NA	-	-	0	37	NA	NA	0	0	NA	NA	0	200	NA	NA
27	B	NA	NA	55	431	MP	MP	45	186	0	0	46	146	-	-	>500	>766	0	1	37	62	1	2	57	>567
28	A	MP	MP	MP	2	268	254	545	-	-	-	-	-	6	>586	15	27	0	>500	37	91	58	130	13	28
29	B	0	0	30	91	0	0	13	>513	0	0	1	383	1	2	284	704	MP	MP	MP	MP	MP	MP	75	>575
30	A	37	>751	NA	NA	11	63	45	>545	0	588	199	412	0	>500	327	>873	0	>500	MP	MP	0	112	13	48
31	A	MP	MP	MP	MP	NA	NA	165	240	NA	NA	6	>508	-	-	308	>808	NA	NA	52	>552	NA	NA	252	456
32	A	1	39	5	69	MP	MP	54	>823	0	>500	26	>526	-	-	-	-	0	>872	81	>581	26	108	>500	>1000
33	B	NA	NA	84	>584	NA	NA	0	6	0	0	17	>517	-	-	-	-	0	4	13	>513	0	4	88	>588
34	B	0	0	MP	MP	0	0	MP	MP	0	0	16	34	-	-	-	-	0	0	19	71	0	62	33	82
35	A	NA	NA	MP	MP	NA	NA	3	>500	0	1	NA	NA	-	-	-	-	NA	NA	9	32	MP	MP	132	292
36	B	NA	NA	MP	MP	0	0	15	52	0	0	2	-	-	-	-	-	2	11	42	188	49	269	MP	MP

Anexo 8. Datos procesados in silico, obtenidos durante el diseño experimental
(Enero II - Abril)

Coef.	Grupo	Análisis Enero II				Análisis Febrero				Análisis Marzo				Análisis Abril			
		E.coli M1	Coliformes totales M1	E.coli M2	Coliformes totales M2	E.coli M1	Coliformes totales M1	E.coli M2	Coliformes totales M2	E.coli M1	Coliformes totales M1	E.coli M2	Coliformes totales M2	E.coli M1	Coliformes totales M1	E.coli M2	Coliformes totales M2
1	B	0	>500	30	118	0	>500	17	24	1	>500	23	150	24	116	34	>500
2	A	20	>500	44	146	104	>684	48	201	38	>538	50	246	67	>567	83	>583
3	A	50	>500	NA	NA	50	>500	NA	NA	MP	MP	13	241	NA	NA	59	483
4	B	28	84	NA	NA	1	2	15	>515	1	7	22	204	0	0	107	307
5	A	NA	NA	19	46	NA	NA	24	90	NA	NA	32	208	NA	NA	3	97
6	B	0	53	MP	MP	MP	MP	31	155	10	258	21	>521	4	504	141	729
7	A	0	>500	MP	MP	0	424	67	>567	0	>500	43	>543	0	>500	53	113
8	B	0	11	14	>500	0	11	14	>514	34	135	31	608	0	0	216	>716
9	B	0	2	41	>500	0	83	16	>516	NA	NA	27	378	NA	NA	76	652
10	A	0	0	NA	NA	3	385	MP	MP	0	>555	26	406	77	309	90	322
11	A	NA	NA	37	229	NA	NA	21	137	NA	NA	56	508	NA	NA	94	>594
12	B	11	223	29	185	25	385	2	18	1	5	24	304	0	14	209	>709
13	A	NA	NA	20	162	NA	NA	29	193	NA	NA	35	>535	NA	NA	184	>684
14	B	MP	MP	4	216	0	24	MP	MP	61	478	0	418	0	>500	172	>672
15	A	NA	NA	17	159	NA	NA	66	>556	NA	NA	29	389	NA	NA	200	273
16	B	0	0	40	431	1	5	49	92	41	>701	35	>684	2	>502	90	>590
17	B	9	223	24	>500	20	45	180	248	2	16	45	249	2	5	77	>577
18	A	7	279	32	120	0	1	20	138	18	54	NA	NA	0	0	82	234
19	B	0	45	138	>694	65	>680	74	>574	91	>647	150	>658	0	288	228	>628
20	B	1	92	MP	MP	16	92	0	113	1	>589	24	370	28	>526	67	>507
21	A	0	>500	80	136	0	>500	15	78	2	>502	14	53	0	29	293	663
22	B	0	103	17	175	0	>500	24	>524	0	323	24	428	1	>501	127	215
23	B	2	12	MP	MP	0	8	122	>522	115	640	49	103	1	285	90	330
24	A	NA	NA	33	305	60	>540	NA	NA	30	39	NA	NA	73	>573	48	312
25	B	0	0	29	269	>600	>500	>700	>500	NA	NA	0	2	0	0	71	>571
26	A	22	128	NA	NA	0	0	NA	NA	0	344	NA	NA	4	29	NA	NA
27	B	0	0	21	74	0	1	82	272	0	0	27	269	0	0	95	145
28	A	0	0	NA	NA	2	67	17	161	NA	NA	31	351	0	1	NA	NA
29	B	0	0	1	257	0	2	5	265	0	0	3	>503	1	2	22	>522
30	A	90	>500	NA	NA	51	>682	33	204	24	218	23	613	246	373	48	316
31	A	NA	NA	51	133	NA	NA	71	>571	NA	NA	214	714	NA	NA	100	>600
32	A	0	314	33	90	8	>548	25	>525	41	>541	17	217	28	>528	54	526
33	B	0	35	33	>500	1	1	83	>583	0	1	14	196	12	>512	101	>601
34	B	0	1	43	376	0	>965	20	206	0	13	51	>551	0	3	158	434
35	A	23	146	MP	MP	NA	NA	23	146	NA	NA	12	332	NA	NA	100	262
36	B	4	14	29	>500	16	103	8	189	3	>503	8	91	25	31	116	165

Anexo 9. Clasificación de los Coliformes totales y *E. coli* en las fuentes de agua según la Organización Mundial de la Salud.

Número de coliformes totales en 100 mL de agua (UFC)	Observación
0.0	Cumple con las normas de la OMS
1.0 -10.0	Riesgo bajo para la salud
10.0-100.0	Riesgo alto
100.0-1000.0	Riesgo muy alto

Fuente: (WHO 1997)

		Sanitary inspection risk score (susceptibility of supply to contamination from human and animal faeces)			
		0-2	3-5	6-8	9-10
<i>E. coli</i> classification (as decimal concentration/100)	< 1				
	1-10				
	11-100				
	> 100				

Low risk: no action required	Intermediate risk: low action priority	High risk: higher action priority	Very high risk: urgent action required
------------------------------	--	-----------------------------------	--

^a Where there is a potential discrepancy between the results of the microbial water quality assessment and the sanitary inspection, further follow-up or investigation is required.

Anexo 10. Mapa Satelital de la comunidad de Santa Marianita.



Anexo 11. Tabla utilizada para SPSS del subgrupo control que realiza algún TANDAS

Mes del muestreo	Grupo de Estudio	Agua de consumo	Concentración promedio de <i>E. coli</i> en el agua entubada (ufc/ 100 mL)	Agua de consumo	Concentración promedio de <i>E. coli</i> en el agua tratada (ufc/ 100 mL)
Noviembre	Subgrupo control	Agua entubada	106	Agua tratada	2
Diciembre			91		2
Enero			66		15
Febrero			28		24
Marzo			25		49
Abril			95		54

Anexo 12. Decisión estadística para prueba T relacionada del subgrupo control que realiza algún TANDAS

<p>1. Hipótesis</p> <ul style="list-style-type: none"> • H0: No existe diferencia significativa entre la media de los valores de ufc de <i>E. coli</i> en las muestras de agua entubada y las muestras de agua posterior a su tratamiento. • H1: Si existe diferencia significativa entre la media de los valores de ufc de <i>E. coli</i> en las muestras de agua entubada y las muestras de agua posterior a su tratamiento. <p>2. Decisión estadísticas</p> <p>P valor: 0.077 > α: 0.05 → Se Rechaza H1 y se acepta H0.</p>

Anexo 13. Tabla utilizada para SPSS del subgrupo experimental que utiliza el FCN.

Mes del muestreo	Grupo de Estudio	Agua de consumo	Concentración promedio de <i>E. coli</i> en el agua entubada (ufc/ 100 mL)	Agua de consumo	Concentración promedio de <i>E. coli</i> en el agua tratada (ufc/ 100 mL)
Noviembre	Subgrupo experimental	Agua entubada	64	Agua filtrada	0
Diciembre			198		0
Enero			51		5
Febrero			60		9
Marzo			33		23
Abril			126		6

Anexo 14. Decisión estadística para prueba T relacionada del subgrupo Experimental que utiliza el FCN.

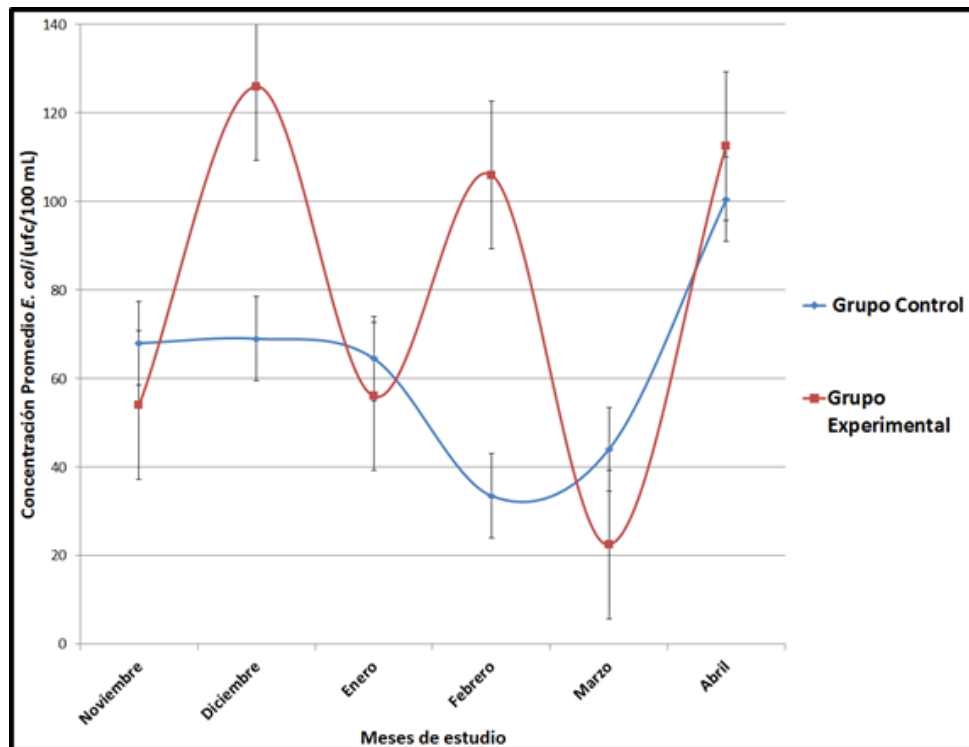
3. Hipótesis

- H0: No existe diferencia significativa entre la media de los valores de ufc de *E. coli* en las muestras de agua entubada y las muestras de agua filtradas a través del filtro de agua de cerámica negra.
- H1: Sí existe diferencia significativa entre la media de los valores de ufc de *E. coli* en las muestras de agua entubada y las muestras de agua filtradas a través del filtro de agua de cerámica negra. .

4. Decisión estadísticas

P valor: $0.035 < \alpha: 0.05 \rightarrow$ Se Rechaza H0 y se acepta H1.

Anexo 15. Evolución de la concentración promedio de *E. coli* en el agua entubada de ambos grupos a lo largo de los 6 meses de estudio.



Anexo 16. Tabla utilizada para el programa SPSS para el agua entubada del Grupo control y experimental

Mes del muestreo	Grupo de Estudio	Agua de consumo	Concentración promedio de <i>E.coli</i> (ufc/ 100 mL)
Noviembre	Grupo Control	Agua entubada	68
Noviembre	Grupo Experimental		54
Diciembre	Grupo Control		69
Diciembre	Grupo Experimental		126
Enero	Grupo Control		65
Enero	Grupo Experimental		55
Febrero	Grupo Control		34
Febrero	Grupo Experimental		106
Marzo	Grupo Control		44
Marzo	Grupo Experimental		23
Abril	Grupo Control		101
Abril	Grupo Experimental		113

Anexo 17. Decisión estadística para prueba T de muestras independientes para el agua entubada de ambos grupos que tratan.

1. Hipótesis

- H0: No existe diferencia significativa entre la media de los valores de ufc de *E. coli* del agua entubada de las familias control con respecto a las familias experimentales.
- H1: Si existe diferencia significativa entre la media de los valores de ufc de *E. coli* del agua entubada de las familias control con respecto a las familias experimentales

2. Decisión estadísticas

P valor: 0.420 > α : 0.05 → Se Rechaza H1 y se acepta H0.

Anexo 18. Valores promedio de *E. coli* a lo largo de los seis meses en los 4 subgrupos resultantes al final del estudio.

Mes del muestreo	Grupo de Estudio	Concentración Promedio <i>E. coli</i> (ufc/100 mL)	Desviación Estándar
Noviembre	Subgrupo. Control (Hogares que no tratan el agua de consumo)	30	37,05
Diciembre		47	47,43
Enero		63	48,59
Febrero		39	19,74
Marzo		63	75,3
Abril		106	68,26
Noviembre	Subgrupo. Control (Hogares que tratan el agua de consumo)	2	2,42
Diciembre		2	2,98
Enero		15	21,37
Febrero		24	39,99
Marzo		49	82,97
Abril		54	84,16
Noviembre	Subgrupo. Experimental (Hogares que no usan el filtro)	44	44,5
Diciembre		54	33,9
Enero		61	38,2
Febrero		162	195,2
Marzo		12	17
Abril		99	39,6
Noviembre	Subgrupo. Experimental (Hogares que usan el filtro para tratar el agua de consumo)	0	0
Diciembre		0	0,6
Enero		5	7,2
Febrero		9	17,7
Marzo		23	36,5
Abril		6	9,9

Anexo 19. Tabla utilizada para el programa SPSS para el análisis de la diferencia entre tratamientos para los subgrupos control y experimental que tratan el agua

Mes del muestreo	Grupo de estudio	Agua de consumo	Concentración promedio de <i>E.coli</i> (ufc/ 100 mL)
Noviembre	Subgrupo Control	Agua tratada	2
Noviembre	Subgrupo Experimental	Agua Filtrada	0
Diciembre	Subgrupo Control	Agua tratada	2
Diciembre	Subgrupo Experimental	Agua Filtrada	0
Enero	Subgrupo Control	Agua tratada	15
Enero	Subgrupo Experimental	Agua Filtrada	5
Febrero	Subgrupo Control	Agua tratada	24
Febrero	Subgrupo Experimental	Agua Filtrada	9
Marzo	Subgrupo Control	Agua tratada	49
Marzo	Subgrupo Experimental	Agua Filtrada	23
Abril	Subgrupo Control	Agua tratada	54
Abril	Subgrupo Experimental	Agua Filtrada	6

Anexo 20. Decisión estadística para pruebas T de muestras independientes para diferencias entre tratamientos del subgrupo control y experimental

1. Hipótesis

- H0: No existe diferencia significativa entre la media de los valores de ufc de *E. coli* en las muestras de agua filtrada en el grupo experimental con respecto al agua tratada por otros métodos en el subgrupo control.
- H1: Sí existe diferencia significativa entre la media de los valores de ufc de *E. coli* en las muestras de agua filtrada en el grupo experimental con respecto al agua tratada por otros métodos en el subgrupo control.

2. Decisión estadísticas

P valor: $0.036 < \alpha: 0.05 \rightarrow$ Se Rechaza H0 y se acepta H1.

Anexo 21. Abreviaturas

AdV / HAdV	Adenovirus / Adenovirus humano
Alfa (α)	Nivel de error
CAP	Conocimiento, aptitudes y prácticas
CEISH	Comité de Ética en Investigación con Seres Humanos
CG	Copias genómicas
<i>E.coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
ENAS	Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento
ETA	Enfermedad transmitida por agua y alimentos
EPMAPS	Empresa pública metropolitana de agua potable y saneamiento de Quito
EV	Enterovirus
FAO	Food and Agriculture Organization
FCN	Filtro de Cerámica Negra
GAD	Gobiernos autónomos descentralizados
H1	Hipótesis alternativa
H0	Hipótesis nula
HWT	Tratamiento domiciliario del agua
ICAITI	Instituto Centro Americano de Tecnología Industrial
ISO	Organization for Standardization
MSP	Ministerio de Salud Pública
NaDCC	Trocloseno sódico
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMS / WHO	Organización Mundial de la salud / World health Organization
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OPS	Organización Panamericana de la Salud
PBS	Tampón fosfato salino
PDOT	Plan de Desarrollo Y Ordenamiento Territorial
PET	Tereftalato de polietileno
PFP	Potters for Peace

pH	Potencial de hidrógeno
PyV	Poliomavirus
qPCR	Reacción en cadena de la polimerasa cuantitativa
SENAGUA	Secretaría Nacional del Agua
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
S/cm	Siemens
TANDAS	Tratamientos de agua a nivel domiciliario y su almacenamiento seguro
TDS	Sólidos totales disueltos
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia

