

Análisis de Filtros Caseros como Técnica de Potabilización del Agua en el Sector Rural
Colombiano

Presentado por: Nubia Esperanza Ibarra Peñaranda Cód. 27722899

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

14 de abril de 2016.

Análisis de Filtros Caseros como Técnica de Potabilización del Agua en el Sector Rural
Colombiano

Presentado por: Nubia Esperanza Ibarra Peñaranda Cód. 27722899

Asesora de tesis: Sandra Milena González Rincón

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

14 de abril de 2016.

Tabla de Contenido

Introducción.....	7
Resumen en Español.....	9
Abstract.....	10
Capitulo I	
1. Generalidades.....	12
1.1 Estado del arte de la Investigación.....	17
1.2 Identificación del problema de Investigación.....	24
1.3 Formulación de la hipótesis de Investigación.....	24
1.4 Sistematización del Problema.....	24
1.5 Objetivos.....	28
1.6 Justificación.....	29
Capitulo II	
2. Cuerpo del Trabajo	
2.1 Clases y Composición de los Sistemas de Filtración caseros.....	29
2.2 Mejoramiento de las Características Microbiológicas del Agua.....	36
2.3 Mejoramiento de las Características Fisicoquímicas del Agua.....	42
2.4 Condiciones que garantizan el buen funcionamiento de los sistemas de filtración casera.....	44
2.5 Actividades Complementarias para Mejorar la Calidad del Agua Filtrada.....	45
2.6 Métodos de Tratamiento en Presencia de Metales y otras Sustancias Químicas presentes en el Agua.....	49
3. Conclusiones.....	56
4. Recomendaciones.....	57
5. Referencias Bibliográficas.....	61
6. Anexos.....	74

Lista de Tablas

Tabla 1. Tasa de filtración promedio para los sistemas de filtración casera.....	34
Tabla 2. Porcentajes de remoción de bacterias obtenidos con los diferentes sistemas de filtración caseros.....	38
Tabla 3. Porcentajes de remoción de compuestos químicos obtenidos mediante los diferentes sistemas de filtración caseros.....	42

Lista de Imágenes

Imagen 1. Esquema de un desarenador en planta y en perfil.....	20
Imagen 2. Corte transversal de un filtro lento casero.....	23
Imagen 3. Filtros de vela cerámica de fabricación casera.....	31
Imagen 4. Composición de los sistemas de filtración casera.....	32
Imagen 5. Corte transversal de un filtro de cerámica.....	33
Imagen 6. Filtro lifeStraw.....	35
Imagen 7. Filtro de arcilla cocida para eliminación de flúor.....	52

Lista de Diagramas

Diagrama 1. Métodos de tratamiento de acuerdo a la calidad del agua.....	14
Diagrama 2. Métodos de tratamiento en presencia de metales pesados.....	16
Diagrama 3. Métodos de tratamiento en presencia de turbiedad.....	46

Introducción

El consumo de agua contaminada constituye un serio problema de salud pública, puesto que, este líquido, es un vehículo de transmisión de patógenos humanos tales como bacterias, virus, protozoos, helmintos (Samboni et al., 2007). A nivel mundial el 80% de las enfermedades infecciosas y parasitarias gastrointestinales se asocian, de manera directa, a la ingesta de agua contaminada y saneamiento básico, cada año se dan 4.000 millones de casos de diarrea de los cuales 1.8 millones terminan en muertes, la mayoría son niños (UNICEF, 2004). Enfermedades relacionadas con el agua son de particular preocupación en los países con un alto número de personas con VIH SIDA, porque constituyen un gran riesgo debido a su estado de inmunosupresión (Fogden y Wood., 2009). La contaminación química también es causa frecuente de enfermedad, pero sus efectos en la salud surgen después de muchos años e inclusive puede ser intergeneracional. En algunos países como India, China, Bengala occidental, se ha reportado agua para consumo humano contaminada con arsénico (Chakraborti et al., 2011), fluoruro (Singh et al., 2007), pesticidas (Suthar., 2011) y fármacos (Health and Water., 2011). A nivel mundial la distribución de agua se centra en 97.5% en los mares (agua salada), y tan solo un 2.5%, es agua dulce. De este porcentaje casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra congelada en los glaciares (Comisión Nacional de agua México, 2011).

Se ha comprobado que entre más gente tenga acceso al agua potable, aumentan las tasas de crecimiento económico mediante la mejora de la salud y la educación (Fogden y Wood., 2009). En la actualidad, Colombia presenta un déficit de potabilización de agua en zonas rurales, lo que conlleva a una frecuente adquisición de EDA's (enfermedad diarreica aguda). Debido a los altos costos económicos, no es factible la implementación de sistemas de potabilización y distribución

de agua, por esa medida se debe acudir a otras alternativas como son los métodos de cloración con almacenamiento seguro, electrocoagulación (Restrepo et al., 2006), desinfección con rayos ultravioleta (desinfección-UV), pasteurización, ebullición, tratamiento con ozono y la utilización de filtros caseros de agua (CYTED, 2013). El método de cloración o desinfección del agua es una estrategia buena a gran escala, sin embargo es costosa para pueblos y comunidades rurales pequeñas (Gadgil, 1998). La adición de hipoclorito de sodio al agua, elimina la mayoría de microorganismos presentes en el agua, no obstante niveles muy elevados podrían generar riesgos para la salud (Pérez et al., 2012). La utilización de los rayos ultravioleta (rayos del sol) constituye un método efectivo para la inactivación de microorganismos si se realiza correctamente, este requiere de un tiempo de exposición de 6 horas consecutivas o más, la gran desventaja es que depende de los factores ambientales y de la turbidez del agua (Lerma, 2010). La desinfección-UV también puede desarrollarse por el uso de lámparas UV, por lo tanto tiene como desventaja que requiere electricidad y mantenimiento de las lámparas. El método de ebullición permite la eliminación o inactivación de los microorganismos presentes en el agua, la desventaja reside, en que para aplicar este método se requiere gran cantidad de combustible, el agua tratada por este método no modifica sustancialmente los componentes químicos y es susceptible a nuevas contaminaciones (Gadgil, 1998).

Los filtros caseros podrían fabricarse con facilidad, de manera artesanal, con diferentes materiales que se tienen a la mano como, arcilla, aserrín, arroz, arena, resina halógena, plata coloidal, zeolitas, carbón activado, nitrato de plata etc. Cada uno de estos materiales cumple una función específica en la remoción de microorganismos y en el mejoramiento de las características fisicoquímicas del agua permitiendo la separación, inactivación y retención de

microorganismos y sustancias químicas que se encuentran presente en el agua obteniendo agua segura, apta para consumo humano (Mwabi et al., 2011).

La ventaja de utilizar filtros caseros radica en que son económicos, de fácil transporte e implementación, no requiere fuentes de energía eléctrica, están compuestos de un material duradero y resistente, los repuestos son económicos, lo cual facilita su manejo y utilización resolviendo el problema de potabilización del agua a corto plazo (Mwabi et al., 2011).

El objetivo de la realización de la presente monografía, es elaborar una recopilación de los diferentes sistemas de filtración caseros, determinando las ventajas y desventajas que presenta en cuanto a la remoción de microorganismos y sustancias químicas, y que puedan ser empleados en el sector rural colombiano, como una alternativa fácil y económica de potabilización que permita la obtención de agua segura para el consumo humano.

Resumen

El consumo de agua contaminada constituye un serio problema de salud pública. Se ha estudiado e implementado diversos métodos para desinfectar el agua. Uno de ellos es la utilización de sistemas de filtración casera, los cuales tienen como ventaja, la facilidad de fabricación, utilización y economía. Entre los filtros caseros más utilizados se encuentran: el filtro de vela de cerámica (CCF), cubo (BF), bioarena (BSF), bioarena modificado (MBSF), poroso impregnado con plata coloidal (SIPP), el matriz estructurado con carbón activado (FME), filtro xilema (FX), filtros de membrana (FM). Existe evidencia científica que demuestra que los filtros caseros remueven microorganismos con una eficiencia superior al 90% (Mwabi et al., 2011). No obstante, se han evidenciado diferencias en la remoción de sustancias químicas de acuerdo al tipo de filtro utilizado. Se ha reportado mayores porcentajes de remoción de calcio, arsénico, magnesio y fosfatos, por filtros BSF. Por otro lado los filtros CCF, han logrado un mayor porcentaje de reducción de hierro. Los filtros SIPP han sido más efectivos en la eliminación de los nitratos del agua. También se ha observado que condiciones como la limpieza, desinfección y almacenamiento seguro, son factores críticos que afectan las tasas de filtración, evitan la contaminación y aumentan la vida útil de los filtros. Se logró concluir mediante esta revisión que los sistemas de filtración, utilizados de la manera adecuada, constituyen una fuente de tratamiento de agua segura y de bajo costo, para mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales que no tienen acceso a fuentes de agua potable.

Palabras claves: agua, tratamiento, microorganismos, filtración, remoción.

Abstract

The consumption of contaminated water is a serious public health problem. Have been studied and implemented various methods to disinfect the water. One of them is the use of filtering systems homemade, which have as advantage, the ease of manufacture, use and economy. Among the most used homemade filters are: the filter of sailing of ceramics (TLC), hub (BF), bioarena (BSF), bioarena modified (MBSF), porous impregnated with colloidal silver (SIPP), the array structured with activated charcoal (FME), filter xylem (FX), membrane filters (FM). There is scientific evidence that demonstrates that the homemade filters remove microorganisms with an efficiency higher than 90% (Mwabi et al., 2011). However, there have been differences in the removal of chemicals according to the type of filter used. It has been reported higher percentages of removal of calcium, arsenic, magnesium and phosphates, by filters BSF. On the other hand the filters CCF, have achieved a higher percentage of reduction of iron. SIPP filters have been more effective in the elimination of nitrates in water. In addition, it was observed that conditions such as cleaning, disinfection and safe storage, are critical factors that affect the rates of filtration, prevent pollution and increase the life of the filters. Through this review was concluded that the filtration systems, used correctly, constitute a source of safe water treatment and low-cost, to improve the quality of life of the rural communities that do not have access to safe water.

Key words: water, treatment, microorganisms, filtration, removal.

Capítulo I

1. Generalidades

El agua es el constituyente más importante del organismo humano y del mundo en el que vivimos. Se considera que el agua es un solvente universal, debido a su capacidad para disolver o dispersar la mayoría de sustancias con las que tiene contacto, sean estas sólidas, líquidas o gaseosas, y de formar con ellas iones, complejos solubles e insolubles, coloides o simplemente partículas dispersas de diferente tamaño y peso. Es esta propiedad la que permite que el agua se contamine fácilmente con sustancias tanto de origen natural como antropogénico. (Organización Panamericana de la Salud “OPS”, 2005)

Por otro lado, la contaminación de los recursos hídricos superficiales, es un problema cada vez mayor, debido a que este recurso se usa como cloacas para el destino final de residuos líquidos y sólidos de origen doméstico, agrícola, minero e industrial. Estas descargas son las principales responsables de la alteración de la calidad de las aguas naturales, haciendo que su potabilización se torne costosa (OPS, 2005).

Por otra parte debe tenerse presente que el acceso al agua potable permite elevar el nivel en la calidad de vida de una población, ya que genera beneficios económicos para la sociedad y reduce significativamente las tasas de morbilidad y mortalidad en niños menores de 5 años como consecuencia de enfermedades diarreicas agudas (EDA) (Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico– CRA, 2005).

- **realidad colombiana en materia de acceso de agua potable en el sector rural.**

En Colombia existe una enorme brecha entre el servicio de agua potable en el área urbana comparada con el sector rural, el acceso de agua de consumo que cumpla con parámetros mínimos de calidad, de este último, es un poco complicada ya que la cobertura de acueducto en el sector rural es muy bajo, por no afirmar que es casi inexistente en algunas zonas del país, por causas tales como: el alto costo que tendría la construcción, operación y mantenimiento de una planta de tratamiento de agua potable, ya que en las veredas las viviendas se encuentran dispersas y distantes unas de otras, por lo que el trazado de las tuberías sería muy costoso, además de la topografía del terreno, presencia de zonas montañosas, fuertes pendientes, zonas boscosas, y otras condiciones del terreno y del área que haría muy dispendioso el trazado de tuberías para el funcionamiento de un acueducto rural, además la densidad poblacional en el sector rural es baja, lo que ocasionaría que el servicio de agua potable fuera muy costoso para sus usuarios, un costo que la mayoría de habitantes del sector rural no estaría en capacidad de pagar.

“En la actualidad, Colombia presenta un déficit de potabilización de agua en zonas rurales, lo que conlleva a una frecuente adquisición de enfermedades diarreicas. Debido a los altos costos económicos, no es factible la implementación de sistemas de potabilización y distribución de agua, por esa medida se debe acudir a otras alternativas como son los métodos de cloración con almacenamiento seguro” (Restrepo et al, 2006). *“Otras técnicas utilizadas para la potabilización del agua son desinfección con rayos ultravioleta (desinfección-UV), pasteurización, ebullición, tratamiento con ozono y la utilización de filtros caseros de agua”* (CYTED, 2013).

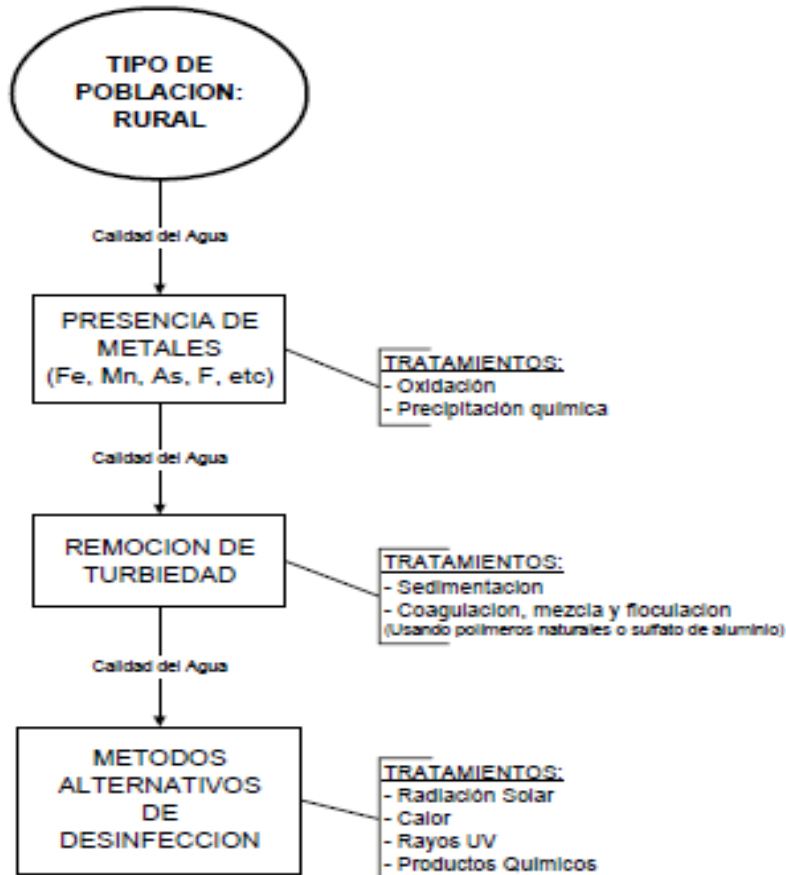
En el campo colombiano existen problemas para el acceso a fuentes seguras de agua, en su mayoría el suministro de agua potable no es continuo o no existe y por lo tanto se acude a extraer el preciado líquido directamente desde fuentes superficiales o subterráneas (las cuales pueden estar contaminadas con agentes microbiológicos, o sustancias químicas), adicionalmente a esto, el agua puede pasar por diferentes situaciones que generan aun mayor contaminación, ya que los pobladores la almacenan a nivel domiciliario en recipientes de cualquier tipo, con el fin de atender sus necesidades básicas de bebida, alimentación, aseo y otros. El criterio principal de selección del recipiente es su comodidad para la extracción y el acarreo del agua, antes que la conservación de su calidad bacteriológica.

“Diversos estudios demuestran que la calidad bacteriológica del agua en la fuente no es apta para bebida. Además la constante manipulación domiciliaria realizado para su extracción desde los recipientes de almacenamiento, conlleva a una posterior contaminación y al consiguiente deterioro de su calidad microbiológica, aumentando de esta manera la probabilidad de que el agua se convierta en vehículo transmisor de enfermedades gastrointestinales, principalmente entre la población que no cuenta con servicios adecuados de disposición de excretas”

(Organización Panamericana de la Salud OPS, 2005).

Existen algunas técnicas de tratamiento para mejorar la calidad del agua, que pueden ser aplicadas a nivel domiciliario (ver diagrama 1), las cuales dependerán de las características que presente esta, como es el caso de la presencia de contaminantes inorgánicos en el agua, metales pesados y que presentan cierta dificultad en su remoción.

Diagrama 1. Métodos de tratamiento de acuerdo a la calidad del agua



Fuente (OPS, 2005)

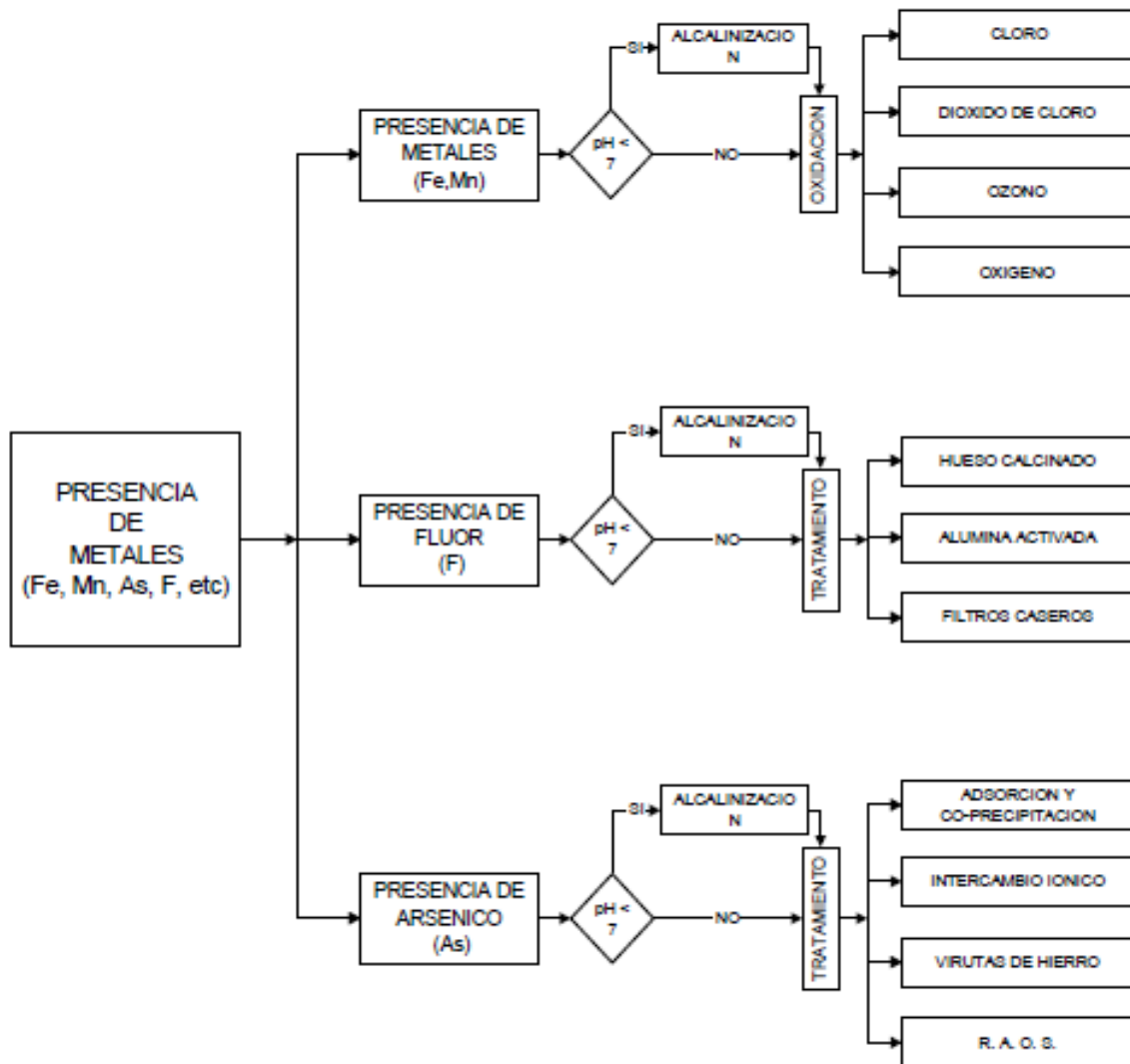
- **mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero.**

“Existen diversos métodos que se pueden utilizar a nivel casero para mejorar la calidad del agua, poniendo especial atención en la desinfección porque en zonas rurales es, en muchos casos, el único tratamiento que recibe el agua de consumo, además de los problemas que ocasionan los contaminantes inorgánicos (metales pesados), y en donde los métodos convencionales de tratamiento no son efectivos en todos los casos o requieren de una gran capacidad técnica y

económica (ver diagrama 2). La forma química en la que estos se encuentren y el pH del agua son factores críticos que si no se toman en cuenta y no se controlan adecuadamente durante el proceso de tratamiento, pueden hacer fracasar el método”. (OPS, 2005)

Cuando se identifiquen contaminantes inorgánicos muy tóxicos en concentraciones altas o estos sean de difícil remoción, como factor de seguridad, debería considerarse la búsqueda de otras fuentes alternas que no los contengan.

Diagrama 2. Métodos de tratamiento en presencia de metales pesados



Fuente (OPS, 2005)

1.1 Estado del Arte de la Investigación

La población rural Colombiana, enfrenta una situación crítica por la falta de acueducto, por lo tanto miles de personas consumen agua de pozos y ríos contaminados, exponiéndose así a adquirir enfermedades (El tiempo, 2015).

Por otra parte y de acuerdo a los resultados entregados en el censo nacional agropecuario (CNA), realizado en el 2015 sobre condiciones de vida de la población residente en las áreas rurales dispersas, los resultados obtenidos demuestran que la proporción de hogares que no tienen servicio de acueducto es del 56,9%, y sin acceso a alcantarillado es del 94%, siendo los departamentos del Guainía, la Guajira, Guaviare, Arauca y Vichada, los que cuentan con mayores problemas de cobertura de estos servicios. (La República, 2015)

Una de las conclusiones obtenidas en el censo nacional agropecuario, es que uno de los parámetros que más influyó en la determinación del índice de pobreza multidimensional (IPM), fue la falta de alcantarillado en el sector rural representado con un 94%. (La República, 2015)

Por lo tanto, la baja cobertura de alcantarillado en el sector rural, da como resultado que las aguas servidas sean vertidas a cuerpos de agua superficial sin ningún control y sin un adecuado tratamiento previo, generando la contaminación de fuentes de abastecimiento de agua de muchos pobladores. El problema de la contaminación del agua en el sector rural no es solo por presencia de materia orgánica, altos niveles de turbiedad y microorganismos patógenos, sino que también se pueden encontrar contaminantes químicos como metales pesados, plaguicidas, entre otros.

Esta situación es muy compleja en el sector rural debido a que la mayoría de los cuerpos de agua de captación en estas áreas son superficiales y utilizan sistemas antiguos para su conducción como son canales abiertos de tierra por donde baja el agua, la cual es tomada a través de

mangueras y transportada hasta las diferentes viviendas, estos cuerpos de agua pueden contaminarse con aguas residuales provenientes de las casas ubicadas aguas arriba de los diferentes puntos de captación, al igual que la escorrentía de aguas contaminadas con heces fecales provenientes de cocheras, galpones, potreros, al igual que la contaminación por lixiviación de agroquímicos como plaguicidas, herbicidas, fertilizantes, entre otros.

“El estado Colombiano, está buscando herramientas que permitan aumentar la cobertura en la prestación del servicio de agua potable en el sector rural y es por eso que se ha elaborado el título J del RAS, el cual contiene las Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural, con el fin de aplicar las tecnologías más viables desde el punto de vista costo efectividad y que sean sostenibles a través del tiempo, para promover el desarrollo rural y aumentar la calidad de vida de la población” (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010).

“El contenido de este Título está enmarcado en la política pública del sector de agua y saneamiento que maneja el Ministerio de medio ambiente, la cual está contenida en los documentos Conpes 3383, Metas de Desarrollo del Milenio a 2015, Visión Colombia II Centenario: 2019 y Lineamientos de Política de Agua Potable y Saneamiento Básico para la Zona Rural de Colombia. Allí se tiene previsto que para el año 2019 cuando la República de Colombia celebra su segundo centenario, las metas de cobertura para el servicio de acueducto y alcantarillado urbano serán del 100%; para el servicio de acueducto rural y otras soluciones de abastecimiento de agua serán del 82.2%; y el servicio de alcantarillado rural incluidas soluciones individuales del 75.2%”. (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010)

“En el título J del RAS, Se da especial énfasis a las tecnologías alternativas costo-efectivas y sostenibles, como solución especial para aquellos casos donde en la zona rural, el desarrollo de proyectos basados en procedimientos de diseño y construcción convencionales, no son factibles técnica y económicamente debido a la distribución espacial de las viviendas, la cual se puede dar de diferentes maneras en el territorio colombiano y cuyo principal indicador es la densidad de población, que se determina en términos del número de habitantes rurales por hectárea. Esta variable es de gran importancia en la toma de decisiones, para la implementación de una alternativa colectiva, para el tratamiento del agua en el sector rural, ya que entre más baja sea su concentración (baja densidad poblacional) resulta más costosa la implementación de un acueducto y alcantarillado, por lo que se hace necesario el estudio de alternativas individuales”.

(RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010)

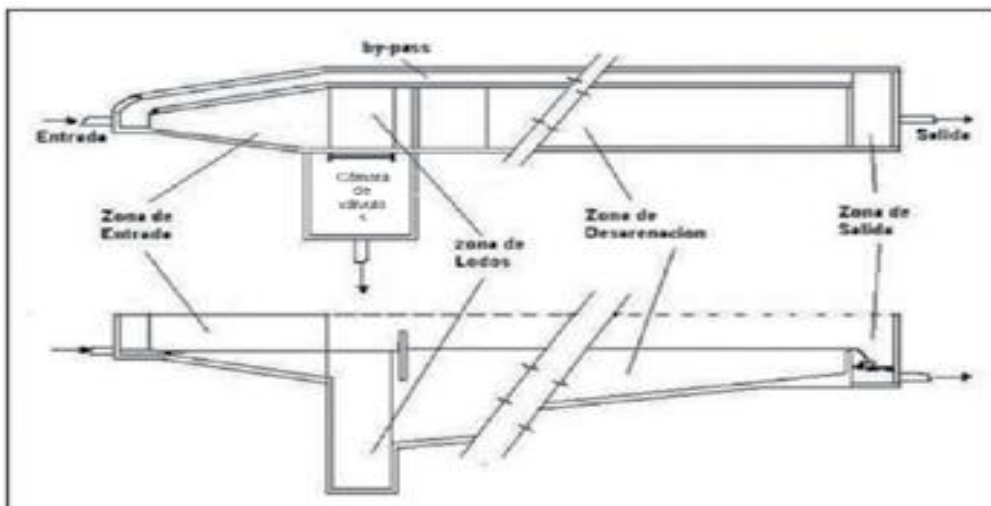
“Algunas de las recomendaciones hechas por el título J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, RAS 2010, para el pre-tratamiento del agua de consumo humano en el sector rural, a través de la aplicación de procedimientos sencillos y prácticos que permitan mejorar las características físicas del agua cruda eliminando el material flotante, los sólidos suspendidos y los sólidos sedimentables para los casos de captación de agua superficial como solución individual, las etapas que abarca son las siguientes”:

- Cribado: El proceso recomendado para hacerle un tratamiento integral a estas aguas comienza por retener el material flotante con una malla o criba, que impida el ingreso de contaminantes ya sea a la bocatoma, canal de aducción, tanque de almacenamiento o cualquier estructura utilizada para almacenar el agua de consumo de la vivienda. Si se dan condiciones favorables, otra alternativa de cribado que puede llevar a cabo en el sitio de captación la siembra de especies vegetales acuáticas o subacuáticas cuyas raíces y tallos

sirvan para filtrar el agua de ingreso a la aducción. (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010)

- Sedimentación simple: es un tratamiento secundario que solo procede para soluciones individuales si existe el riesgo de que los sólidos sedimentables obstruyan la tubería de aducción. Esta situación de turbiedad se presenta especialmente en ríos o quebradas de régimen turbulento que en temporada de lluvias pueden arrastrar una apreciable concentración de partículas sedimentables como gravilla, arena y lodo. En este caso se recomienda construir una pequeña estructura hidráulica que se puede construir en mampostería de piedra o ladrillo y cemento. El dimensionamiento de un desarenador para una captación que no exceda de 8 m³ diarios, puede reducirse a una estructura simple de 4 metros de largo, 60 centímetros de ancho, con una profundidad entre 40 y 80 centímetros que facilite la extracción manual de los lodos sedimentados. (modelo de desarenador ver figura 1). (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010).

Imagen 1. Esquema de un desarenador en planta y en perfil.



Fuente: Título J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural. RAS 2010.

- Clarificación: “Existen aguas superficiales y subterráneas que tienen características físicas notables de turbiedad y color originados por partículas suspendidas muy pequeñas o de tamaño coloidal que no se precipitan por sedimentación simple. Esta característica no solo deteriora la calidad física del agua sino que también representa un riesgo de contaminación microbiológica por parásitos, bacterias o virus patógenos que se protegen en esas partículas en suspensión. Existen procesos sencillos que se pueden aplicar en la casa para la clarificación del agua, estas técnicas consisten en la utilización de sustancias químicas con propiedades coagulantes, como el alumbre o sulfato de aluminio, que es un compuesto químico comercial, muy práctico de usar para clarificar el agua cuando se siguen unas recomendaciones muy precisas. Los miembros de la familia deben recibir una capacitación por parte de un técnico en saneamiento o un promotor de saneamiento básico rural para aplicar el procedimiento de clarificación con estas sustancias químicas, que incluya aforo de recipientes para preparar la mezcla y su dosificación adecuada, para no incurrir en sobredosis o equivocaciones en el procedimiento que puedan alterar la calidad del agua con riesgo para la salud”. (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010)

“También existen muchos componentes de origen vegetal como almidones, glucógenos, celulosas y proteínas que tienen propiedades coagulantes o floculantes, la toxicidad de estos polímeros naturales por lo general es mínima o inexistente, es por este motivo que vale la pena considerarlos, para su uso en los procesos de clarificación a nivel de vivienda rural dispersa. Entre los polímeros naturales que tienen propiedades coagulantes o floculantes están: las pencas de la tuna (*Opuntia schumannii* Webb) o cactus, especie originaria de la cordillera oriental colombiana; las algas pardas marinas de donde se extrae el alginato de

sodio; los almidones que se extraen de los granos o tubérculos del maíz, el trigo, la papa y la yuca; y la corteza del algarrobo”. (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010)

“El procedimiento para clarificar el agua con cactus consiste en cortar cubos de 5 centímetros de lado de la penca (hoja del cactus) para machacarlas sobre piedras planas y luego verter el producto machacado, o mucílago, a razón de 5 gramos (1/2 cucharadita) en un recipiente con 20 litros de agua turbia. Se agita el agua con una paleta de madera durante 1 minuto y se deja sedimentar por espacio de 2 horas para utilizar el volumen superior de agua ya clarificado para después filtrarlo a través de una tela limpia y retener el material flotante. Otro procedimiento muy sencillo de clarificación con pepas de durazno y habas, en zonas donde estos frutos se cosechan, es secar cualquiera de estas semillas, molerlas, tratar de obtener polvo y adicionar medio gramo de cualquiera de estos productos por cada litro de agua a tratar. Esto se puede hacer en una jarra de vidrio, se agita en forma circular el agua durante 1 minuto con una paleta y se mantiene el agua en reposo durante 2 horas para que sedimenten las partículas al fondo del recipiente para posteriormente utilizar la parte superior del volumen de agua después de pasarlo por un filtro de papel o tela tupida”. (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010)

- Filtración: consiste en un proceso físico que busca mejorar el color del agua, al retener los sólidos en suspensión presentes en ella. *“Consiste en pasar el agua a través de unas capas de material poroso o granular (se recomienda ubicar esta estructura junto a la vivienda). Este filtro se puede construir en mampostería de ladrillo, de forma rectangular, que podría ser de 0,70 x 0,70 m de base y 1,00 m de altura para llenarlo de grava y arena (Este filtro no*

debe usarse para fines de almacenamiento y debe estar cubierto con una tapa preferiblemente con malla que retenga las hojas de los árboles pero permita el paso de la luz). El medio filtrante consiste de una capa de grava o piedra redonda con un tamaño aproximado de 2 a 3 centímetros de diámetro que se coloca en el fondo con un espesor que no sobrepase los 15 centímetros. A continuación se coloca una capa de 15 centímetros de gravilla o piedra delgada con un tamaño aproximado de 1 a 1,5 centímetros de diámetro y por encima de esta una capa de arena lavada de río de 40 centímetros de espesor con granos de tamaño entre 0,2 y 0,5 milímetros de diámetro. Se deben instalar dos tubos en la parte superior, uno de ellos para el manejo de excesos, y debe mantener un nivel de rebosamiento de 5 centímetros por debajo del borde superior del tanque, este debe estar conectado a un canal de desagüe, para el aprovechamiento del agua en actividades diferentes al consumo humano. El segundo tubo debe estar conectado a la tubería de aducción. Y en el fondo del filtro se debe instalar una tubería perforada, para conectar la tubería de conducción de agua filtrada. Para mayor claridad en el diseño de este tanque de filtración Ver la imagen 2". (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010)

Imagen 2. Corte transversal de un filtro lento casero



Fuente (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010)

1.2 Identificación del Problema de Investigación

La baja cobertura de agua potable en el sector rural, hace necesaria la evaluación de diferentes alternativas de potabilización que sean eficientes en la remoción de factores físicos químicos y microbiológicos y que sean viables desde el punto de vista costo beneficio. Debido a que en Colombia la mayoría de habitantes del sector rural no tienen acceso al agua potable, por lo que deben abastecerse de los cuerpos de agua superficial que se encuentran expuestas a diferentes factores de contaminación, como son las aguas servidas de viviendas, galpones, cocheras, potreros, escorrentía y lixiviación de productos agroquímicos producto de actividades de fumigación, fertilización entre otras, constituyendo un riesgo para la salud de las personas que consumen de esta agua sin un tratamiento previo.

1.3 Formulación de la Hipótesis de Investigación

Los filtros caseros constituyen una opción viable desde el punto de vista económico, para el tratamiento del agua en el sector rural colombiano, con un alto nivel de eficiencia en la remoción de parámetros físico-químicos y microbiológicos.

1.4 Sistematización del Problema

“En Colombia el suministro de agua potable y las soluciones de saneamiento básico en zonas rurales estuvieron a cargo de la Nación hasta la década de los ochenta, momento en el cual

pasaron a ser responsabilidad de las administraciones municipales a partir de la descentralización política administrativa” (CONPES 3810, 2014).

“Acorde con lo anterior, las acciones para asegurar la provisión de agua potable y saneamiento básico en zonas rurales han quedado en cabeza de los municipios. La baja capacidad institucional de los municipios se refleja en la inadecuada provisión de agua potable y saneamiento básico en las zonas rurales. Según proyecciones con base en el Censo DANE 2005, la población del país en el año 2013 alcanzó los 47,1 millones de habitantes, de los cuales 11,2 millones (23,8%) se ubican en la zona rural, en su mayoría en las regiones Andina (46%), Caribe (23%) y Pacífica (22%). A su vez, el 23% de la población rural se concentra en áreas nucleadas y el 77% en áreas dispersas (De acuerdo con el DANE, en la zona rural se distinguen dos clases de asentamientos: los Centros poblados o población nucleada, concentrada en caseríos o conjuntos de por lo menos 20 viviendas separadas por paredes, muros, cercas o huertas y el segundo se denomina población dispersa constituido por fincas y viviendas dispersas, separadas, entre otros, por áreas cultivadas, prados, bosques, potreros, carreteras o caminos)”. (CONPES 3810, 2014)

“En cuanto a la calidad del agua, cerca del 58,8% de la población colombiana en el año 2012 consumió agua potable. El Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA), promedio en la zona urbana fue de 13,2 %, correspondiente a nivel de riesgo bajo y en zona rural alcanzó 49,8 % clasificado en nivel de riesgo alto” (INS, 2012)

Los principales problemas estructurales, identificados frente a la problemática de falta de suministro de agua potable y saneamiento básico en la zona rural, y que deben ser intervenidos para incrementar las inversiones en esquemas sostenibles y generar estrategias de intervención, son:

- **“Baja articulación intersectorial:** actualmente existen diferentes programas enfocados al sector de agua potable y saneamiento básico en el sector rural, financiados y ejecutados por diferentes entidades nacionales y territoriales. Estos programas requieren una articulación especial y con continuidad en el tiempo, para generar los impactos necesarios para el desarrollo rural integral y así mejorar la calidad de vida de la población”. (CONPES 3810, 2014)
- **“Baja capacidad institucional de los municipios:** se evidencia a través de la baja inversión en el sector rural, en los planes de desarrollo municipales no se incluyen planes específicos orientados a atención de dichas zonas y por lo tanto, no se asignan los recursos requeridos. Y por otro lado en la mayoría de los casos, los gobiernos locales priorizan los proyectos de agua potable y saneamiento básico en centros urbanos, por razones técnicas, políticas y porque se caracterizan por tener un mayor impacto, debido a que las soluciones atienden un mayor número de personas”. (CONPES 3810, 2014)
- **Esquemas de suministro de agua potable y saneamiento básico que no garantizan la sostenibilidad de las inversiones:** Parte de esta situación se debe al alto número y dispersión de prestadores de servicios de acueducto y saneamiento básico, causando que el servicio sea insostenible desde el punto de vista económico, ya que para poder operar requieren mayor asistencia técnica, incrementar el costo del servicio, de esta manera no se garantiza la continuidad en el tiempo de la prestación del servicio.
Igualmente se desconoce el número de población dispersa del sector rural que cuenta con soluciones individuales de agua potable y saneamiento básico. (CONPES 3810, 2014)
- **Dificultades en la estructuración, ejecución e implementación de proyectos en el área rural:** esta situación está relacionada con la baja disponibilidad de infraestructura para el

suministro de agua potable, debido a la inexistencia y deficiencia de estudios y diseños, bajo cumplimiento de requerimientos técnicos, disponibilidad de predios y servidumbres, bajo nivel de titulación de tierras, que generan cuellos de botella en el trámite de predios y servidumbres, así como dificultades para otorgar disponibilidad de presupuesto municipal para su adquisición. (CONPES 3810, 2014)

- **Debilidad en la gestión de aspectos ambientales que dificultan el suministro de agua potable y saneamiento básico:** una de las grandes causas de este problema son la baja calidad y los conflictos de uso del agua, debido a que muchos de los cuerpos de agua superficial son utilizados para la descarga de aguas residuales, sin un tratamiento previo que garantice la calidad necesaria para ser utilizada por otras personas para sus necesidades básicas. A demás se presenta una reducción significativa de la oferta hídrica por la sobreutilización del recurso, que no garantiza el caudal ecológico para preservar la disponibilidad del recurso en el futuro. (CONPES 3810, 2014)
- **Conflictos en el uso de la infraestructura.** Existen sistemas concebidos inicialmente para riego (distritos de riego) o para actividades, tales como, ganadería, el beneficio de café o cultivos de palma, que de manera complementaria se utilizan para consumo humano; en cuyos casos las condiciones técnicas y las características de calidad del agua no son las adecuadas, y potabilizarla puede generar conflictos por su uso en las diferentes actividades a las cuales se destina el agua. (CONPES 3810, 2014)
- **Inadecuado almacenamiento de agua y disposición de aguas residuales domésticas.** El inadecuado almacenamiento de agua para consumo humano y doméstico, así como la falta de un adecuado sistema para el manejo y disposición de aguas residuales domésticas al interior de las viviendas, pone en riesgo la salud de la población ubicada en las zonas rurales, en

especial los menores de 5 años quienes son más vulnerables a adquirir enfermedades asociadas al consumo de agua contaminada (EDA) propensos a contraer enfermedades vehiculizadas por el agua. (CONPES 3810, 2014)

1.5 Objetivos

1.5.1 objetivo general.

- Elaborar una revisión actualizada sobre los filtros caseros más eficientes en cuanto a la remoción de parámetros físicos químicos y microbiológicos, que representan una alternativa viable desde el punto de vista económico, para la potabilización del agua en el sector rural colombiano.

1.5.2 objetivos específicos.

- Desarrollar una revisión bibliográfica sobre los diferentes filtros caseros utilizados como sistemas de potabilización.
- Verificar el nivel de eficiencia de los diferentes sistemas de filtros caseros, en cuanto al nivel de remoción microbiológica y físico química del agua tratada.
- Revisar de acuerdo a la información consultada, la viabilidad costo beneficio de la implementación de filtros caseros frente a otras técnicas de potabilización del agua en áreas rurales.

1.6 Justificación

La elaboración de este documento, permite realizar una revisión actualizada sobre alternativas de tratamiento del agua en el sector rural, diferente a los acueductos veredales, que pueden ser costosos en cuanto a su construcción, operación y mantenimiento. Por tal motivo la investigación sobre la implementación de filtros caseros en el sector rural, como un sistema de potabilización primario, constituye una alternativa de solución muy viable y efectiva desde el punto de vista de costo-beneficio, ya que es una técnica eficiente en cuanto a la remoción microbiológica y fisicoquímica, son de fácil construcción, operación, transporte y mantenimiento, además que desde el punto de vista económico, tiene un precio inferior frente a otras técnicas de potabilización como son plantas de tratamiento de agua potable, la cloración, la luz ultravioleta, ozonización, entre otras.

Capítulo II

2. Cuerpo del Trabajo

2.1 Clases y Composición de los Sistemas de Filtración Caseros

A nivel mundial, se han diseñado diferentes sistemas de filtración caseros. Dentro de los sistemas de filtración más comunes se encuentran los filtros de bioarena (BSF), filtros de bioarena modificados (MBSF), filtros cubos (BF), filtros de vela de cerámica (CCF), el filtro poroso impregnado de plata coloidal (SIPP), el filtro de matriz estructurada con carbón activado (FME), filtro xilema (FX), filtro de membrana (LifeStraw Family).

- Los filtros BSF: Han sido fabricados generalmente con una capacidad de almacenamiento de 25 L de agua, con diferentes capas de materiales. La primera capa de la parte inferior está constituida por grava (5 cm) con un tamaño de partícula de 7.5 mm,

seguido por una segunda capa de 5 cm de arena (tamaño de partícula 0.95 mm. Una tercera capa está compuesta de zeolita con un espesor de 2.5 cm y la última contiene arena muy fina de 0.3 mm (espesor 2.5 cm). Se ha determinado que la zeolita tiene una alta eficiencia en eliminación de químicos y bacterias indicadoras en agua residuales. Una vez ensamblado el filtro se procede a lavar el sistema con agua hasta alcanzar una turbidez menor de 1 unidades nefelométricas de turbidez (UNT), después de la medición. Este dispositivo es capaz de filtrar 171 L/h (Mwabi et al., 2011).

➤ El filtro de bioarena modificado (MBSF): A diferencia del filtro BSF, contiene una capa de arena recubierta con óxido de hierro, la cual permite calentar el agua por reacción exotérmica, eliminando un mayor número de microorganismos y materiales en suspensión (Ahammed y Komal., 2011).

➤ Los filtros BF: Han sido fabricados comúnmente mediante el empleo de dos cubetas o baldes (imagen 3). La primera cubeta contiene una capa de 2 cm de grava y una capa de arena fina de 5 cm. La parte inferior de la primera cubeta contiene perforaciones de pequeños agujeros que permiten el paso del agua hacia una segunda cubeta que envuelve la primera y sirve como recipiente para recoger el agua filtrada que sale por medio del grifo. La capacidad de filtración es de 167 L/h (Mwabi et al., 2011).

➤ Filtros caseros de vela cerámica: Estos pueden ser fabricados en la vivienda utilizando dos baldes de 20 litros cada uno, los cuales se colocan uno sobre la tapa del otro, de manera que el balde superior contenga las dos velas filtrantes. La base del balde superior y la tapa del balde inferior, se perforan dos agujeros coincidentes, donde se insertan las espigas de las velas filtrantes. Entre la base del balde superior y la tapa del balde inferior se colocan anillos de plástico coincidentes con las espigas de las velas con el fin de darle mayor rigidez y evitar la

fuga de agua. Al balde inferior se le instala un grifo a unos 3 centímetros sobre el fondo, para extraer lateralmente el agua filtrada. (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010)

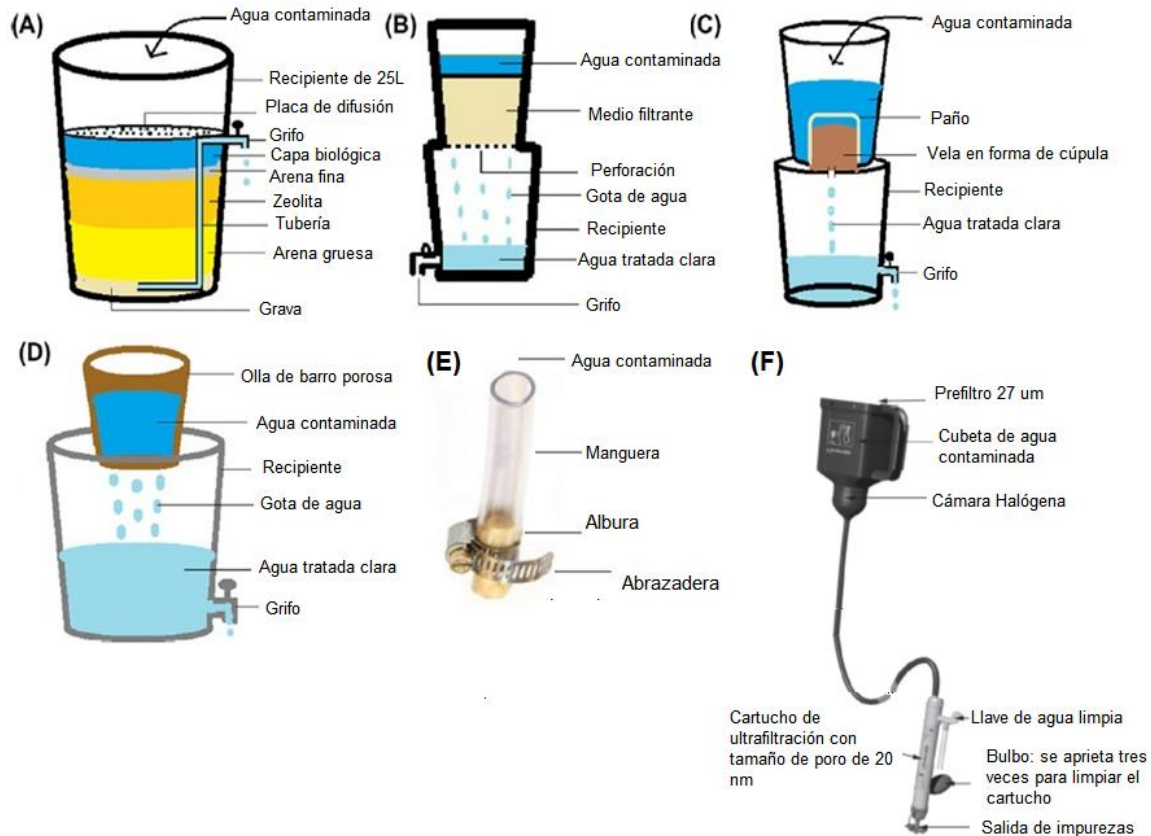
Imagen 3. Filtros de vela cerámica de fabricación casera



Thomas F. Clasen. London School of Hygiene & Tropical Medicine. Keppel St., London WC1E 7HT, United Kingdom. Tomado de (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010)

➤ Los filtros CCF: Están constituidos por moldes cilíndricos huecos asegurados al fondo de un recipiente (velas cerámicas ver imagen 3), los cuales son fabricados con arcilla mezclada con un material combustible como el aserrín, cáscaras de arroz o de café y en algunos casos se le adiciona plata coloidal (figura 3). Una vez se funden estos materiales funcionan en forma de red de poros finos (0.6 - 3 μm) que va a servir de filtro. La eliminación de los patógenos se da por medio de procesos físicos como filtración mecánica y adsorción. Este filtro tiene una capacidad de filtración de 6.4 L/h y se presume que tiene una eficacia hasta del 100% si se adiciona plata coloidal. La plata coloidal actúa como agente antimicrobiano (Centre for Affordable Water and Sanitation Technology CAWST, 2010).

Imagen 4. Composición de los sistemas de filtración casera. Filtro de bioarena (A), filtro cubos (B), filtros de vela de cerámica CCF (C), el filtro poroso impregnado de plata coloidal SIPP (D), filtro xilema (E), filtro de membrana (F).



Ahammed y Komal., 2011

- El filtro SIPP: Es fabricado de arcilla de color marrón e impregnado con nitrato de plata, después de la cocción de la olla de barro. Este filtro tiene la capacidad de filtrar 3.5L/h. El nitrato de plata funciona como antimicrobiano evitando la proliferación bacteriana al interior del filtro ver figura 4, (Mwabi et al., 2011).

Imagen 5. Corte transversal de un filtro de cerámica



Fuente (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010)

- El filtro de matriz estructurada: Está compuesto principalmente por carbón activado el cual absorbe el yodo residual y demás compuestos químicos, permitiendo mejorar principalmente el sabor del agua. Además ayuda a la remoción de microorganismos (Gerba y Naranjo; 2000).
- Estudios realizados por Boutilier et al., 2014, ha probado la eficacia que tiene la madera de pino en la filtración de agua usando el xilema, un tejido vegetal lignificado de conducción que transporta líquidos de una parte a otra de las plantas vasculares. Es un sistema rápido, fácilmente disponible y económico. El filtro consiste en una rama de pino (sin corteza), la cual es pegada a un tubo de manguera plástica y ajustada mediante una abrazadera metálica. Aproximadamente 3 cm³ de albura pueden filtrar el agua a razón de 0.16L/h, suficiente para satisfacer las necesidades de agua potable de una persona.

Tabla 1. Tasa de filtración promedio para los sistemas de filtración casera

Sistema de filtración casera	Tasa del filtración (L/h)
Bioarena (BSF)	171
Cubos (BF)	167
Vela cerámica (CCF)	6.4
filtro poroso impregnado de plata coloidal (SIPP)	3.5
filtro xilema (FX)	0.16
Filtro de membrana (LifeStraw Family).	9

➤ El Filtro LifeStraw Family: Es un sistema de tratamiento de agua producido por Vestergaard Fransen S.A. (Lausanne, Switzerland) que utiliza la ultrafiltración mecánica y la gravedad para tratar agua con calidad microbiológica desconocida. El sistema está diseñado para operar sin electricidad, ni pilas u otra fuente de energía. Está compuesto por un balde donde se agrega el agua contaminada. El balde contiene un pre-filtro con tamaño de poro de 80 micras, el cual elimina las partículas más gruesas. El agua después pasa por una cámara de halógenos que libera bajos niveles de cloro para evitar se forme biopelículas en la manguera y en la entrada al cartucho. También poseen una manguera de plástico de un metro de longitud, la cual aumenta la fuerza de gravedad produciendo suficiente presión en el cartucho logrando un alto flujo de agua. La manguera conduce el agua a un cartucho de plástico de 26 cm de largo x 3 cm de diámetro, el cual contiene hollow-fibras con un tamaño de poro de 20 nm, que retiene bacterias, virus, parásitos y partículas de polvo fino, por ultrafiltración (Clasen et al., 2009). También posee una llave azul que permite la salida de agua purificada y cuenta con un bulbo o pera que permite realizar la limpieza del cartucho de ultrafiltración por retrolavado, lo cual mantiene la eficiencia constante el filtro. La suciedad y las impurezas pueden ser desechadas mediante un desagüe (Clasen et al., 2009). El LifeStraw Family filtra alrededor de 9 L/h y puede llegar a filtrar al menos 18000 L de agua antes de cumplir su vida útil,

brindando mayor seguridad y comodidad al usuario en cuanto a cantidad de agua disponible diariamente. El filtro presenta mayores tasas de filtración que los filtros de olla cerámica y de vela cerámica impregnado con plata coloidal, aunque tiene la limitación de no contar con almacenamiento seguro del agua filtrada, condición con la que si cuentan los otros sistemas. Si asumimos que el grupo familiar está conformado por 5 personas, ello equivaldría a proporcionar 2L de agua por persona por día durante al menos 5 años, sin reemplazar ninguna de sus partes. El sistema de filtración también tiene como ventaja que cuando las tasas de filtración disminuyen cada una de las piezas pueden ser limpiadas y mantenidas. Cuando las piezas no funcionan, la unidad completa puede ser reemplaza por una nueva (ver imagen 6).

Imagen 6. Filtro lifeStraw



Fuente: Nubia Ibarra Peñaranda

2.2 Mejoramiento de las Características Microbiológicas del Agua

La principal característica común entre los sistemas de filtración casera es la alta capacidad de remoción de microorganismos que presentan. Estudios realizados en Nigeria por Plappally y colaboradores en 2011, determinaron la eficacia de los filtros de olla cerámica, en cuanto a remoción de microorganismos presente en el agua.

En el análisis microbiológico emplearon una cepa ATCC de *Escherichia coli* (W3110), la cual se cultivó en tubos con caldo nutritivo a 37°C durante 18 a 24 h. Cuatro mililitros de este cultivo en fase estacionaria se mezclaron en 4 L de agua purificada estéril, produciendo una suspensión pre filtrada que contenía de 10^6 a 10^7 células/mL. Los cuatro litros pre-filtrados se vertieron en el filtro. Los resultados permitieron evidenciar una remoción de *E. coli* del 97.7% (tabla 2).

En un estudio realizado a una comunidad de aproximadamente 360 personas en el área rural de Bolivia, consistió en emplear filtros de olla cerámica impregnada con plata coloidal durante seis meses.

El filtro estaba constituido por recipiente plástico de 15 litros, con válvula de metal, para la distribución del agua. Contenían un poro de cerámica de 0.2 μm y fueron distribuidos de forma aleatoria en 50 hogares de esta comunidad, una vez entregado el filtro, se realizó un muestreo inicial del agua con fines de registro.

El tiempo de duración según el fabricante era de 50.000 L dependiendo la frecuencia de la limpieza. Para el análisis microbiológico se recogieron muestras de 100 mL de agua en recipientes estériles, conservando las muestras a una temperatura entre 4 y 10°C y se analizaron entre un lapso de tiempo de cuatro horas. Como controles se analizaron muestra de agua de los hogares que carecían del sistema de filtración.

El agua recolectada se analizó por la técnica de filtración por membrana, en cajas de Petri con agar selectivo para entero bacterias a 44 ± 0.5 °C durante 18 h. Pasado el tiempo de incubación, se procedió a realizar el recuento del número de colonias.

Este estudio se realizó durante seis meses. Los resultados obtenidos de los hogares provisto del filtro dieron 0 coliformes termotolerantes/100 mL y en los hogares control se encontró 3000 coliformes termotolerantes /100 mL; se procedió a aplicar los filtros en todos los hogares dando como resultado el 100% de las muestras estaban libres de coliformes termotolerantes durante los seis meses.

Estos resultados muestran que los filtros olla cerámica permiten mantener la calidad microbiológica del agua potable y pueden ser utilizados en las comunidades rurales (tabla 2) (Clasen et al., 2004).

Por otro lado, investigaciones realizadas por Mwabi, y colaboradores en el 2011, emplearon cepas ATTC de *S. typhimurium*, *E. coli* O157:H7, *V. cholerae* y *S. dysenteriae*. La obtención de las concentraciones bacterianas iniciales se realizaron utilizando 20 L de agua desionizada estéril, inoculada con un cultivo de cada bacteria patógena entérica en un erlenmeyer de 100 mL con caldo nutritivo (incubado a 37 ± 1 °C durante 5 ± 1 h y a 100 ± 10 rpm). Con la finalidad de conocer las concentraciones bacterianas se usó la técnica de recuento de células viables en placa, realizando diluciones seriadas en base 10, en solución salina isotónica estéril, obteniéndose una concentración de 10^5 UFC/mL para cada bacteria. Las concentraciones de las bacterias antes y después de la filtración se cuantificaron por el método de filtración de membrana, usando placas de agar selectivo (APHA et al., 2001). Los resultados indicaron que los filtros BF, BSF, CCF y SIPP, mostraron un rendimiento del 99 % para la remoción de *S. dysenteriae*. La remoción más baja para eliminar *E. coli*, fue obtenida por el filtro BF con un 97 %. El SIPP presentó el mejor

porcentaje de remoción para *Vibrio cholerae* con un 100%, mientras que para *S. typhimurium* y *Escherichia coli* obtuvo un 99 % (tabla 2).

Tabla 2. Porcentajes de remoción de bacterias obtenidos con los diferentes sistemas de filtración caseros

Microorganismo	Filtro	Remoción	Autor
<i>Escherichia coli</i>	CCF	97.7%	Plappally y colaboradores., 2011
	CCF	98 %	Mwabi y colaboradores., 2011
	CCF	100 %	Clasen y colaboradores., 2004
	BSF	98 %	Mwabi y colaboradores.,2011
	BSF	91.5 %	Ladeira y colaboradores. 2005
	BSF	90 %	Ahammed y Komal., 2011
	SIPP	99 %	Mwabi y colaboradores., 2011
	BF	97 %	
	MBSF	99.3%	Ahammed y Komal., 2011
	FX	99.9%	Boutilier et al., 2014
	FM	99.99%	Clasen et al., 2009
<i>Vibrio cholerae</i>	BF	98 %	
	BSF	99 %	Mwabi y colaboradores. 2011
	CCF	99 %	
	SIPP	100 %	
<i>Salmonella typhimurium</i>	BF	98 %	
	BSF	98 %	Mwabi y colaboradores. 2011
	CCF	98 %	
	SIPP	99 %	
<i>Shigella dysenteriae</i>	BF	99 %	
	BSF	99 %	Mwabi y colaboradores. 2011
	CCF	99 %	
<i>Klebsiella terrigena</i>	SIPP	99 %	
	FME	99.9%	Charles y Naranjo., 2000
	C.		
<i>Esporas perfringens</i>	BSF	100 %	Ladeira y colaboradores. 2005
<i>Esporas Bacillus subtilis</i>	BSF	99.3 %	Ladeira y colaboradores. 2005

Fuente: Datos obtenidos de la estudios realizados por los investigadores mencionados. BSF bioarena, CCF vela cerámica, BF cubo, SIPP poroso impregnado de plata coloidal, MBSF bioarena modificado, FME matriz estructurado con carbón activado, FX filtro xilema y FM filtro de membrana.

En un estudio que se realizó en la ciudad de México por Robles y colaboradores en el 2010, evaluaron la eficiencia de la remoción bacteriana en filtros purificadores de agua. Para lo cual se evaluaron cien casas que contaban con sistema de distribución (acueducto) y un filtro purificador de agua.

Las muestras fueron tomadas en frascos estériles paralelamente del agua del grifo y del filtro. Para el análisis microbiológico se determinaron coliformes totales y fecales, por la técnica de filtración por membrana, utilizando el agar ENDO para los coliformes totales, a una temperatura de incubación de 35.5 °C y el medio mFC para los coliformes fecales a 44.5 °C, por un tiempo de 24 a 48 h.

Los resultados obtenidos mostraron que 29% de las casas muestreadas presentaban contaminación por coliformes totales y/o coliformes fecales. Concluyeron que el tiempo de uso del filtro no tenía nada que ver con la remoción de microorganismos debido a que un filtro de más de 10 años de uso, obtuvo mejor remoción que un filtro de 2 años de uso, lo importante radicaba en la periodicidad y el tipo de limpieza que se le suministraba al filtro.

Investigaciones realizadas en el 2005 por Ladeira y colaboradores, permitieron llevar a cabo la evaluación de la madurez de los filtros lentos de arena en cuanto a la eliminación de microorganismos. Para el estudio cada filtro contenía cinco capas de 0.15 m de espesor y carbón activado. Fueron alimentados con agua sintética, la cual contenía un número más probable de bacterias coliformes totales (NMP) de 10^5 a 10^6 /100 mL, *Escherichia coli*: 10^3 a 10^4 NMP/100 mL, esporas de bacterias anaerobias y *Clostridium perfringens* 10^1 a 10^2 UFC/100 mL, *Cryptosporidium*: 10^1 a 10^2 ooquistes/L; Giardia: 10^0 a 10^1 quistes/L.

En los estudios desarrollados se utilizó bentonita para lograr una turbidez mayor de 15 UNT, la infusión de yerba mate para producir color verdadero y el ácido sulfúrico 1 normal (N) para

ajustar el pH de 6.5 - 7.5. La evaluación de los filtros, se realizó bajo dos tipos de filtrados diferentes ($3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ y $6 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$), por duplicado, para un total de ocho filtraciones lentas, cuatro para cada filtro.

Estos filtrados se llevaron a cabo durante dos ocasiones; una al principio cuando el filtro no estaba completamente maduro, y otra después de la estabilización (tabla 2).

Los análisis de coliformes totales y *Escherichia coli*, se llevaron a cabo mediante la técnica de sustrato cromogénico utilizado en el medio de cultivo Colilert®. Para las bacterias heterótrofas, se realizó recuento en placa de células viables. El análisis de esporas de bacterias anaerobias y bacterias aeróbicas, se llevó a cabo mediante la técnica de filtración por membrana,

respectivamente, utilizando el MCP-agar modificado y azul de tripano agar con 1% de almidón.

Los resultados obtenidos durante el experimento determinaron un porcentaje de eliminación de 91.5% para *E. coli*, para otros coliformes fecales 93.2 %, las bacterias anaeróbicas y esporas de *C. perfringens*, mostraron un comportamiento mucho más uniforme, detectado solo al principio del análisis; las bacterias aeróbicas como esporas y *B. subtilis*, a pesar de que se eliminan en gran medida aún se encuentra presente después de la filtración (tabla 2).

Ahmed y Komal en el 2011, realizaron un estudio con la finalidad de evaluar el desempeño del filtro de bioarena modificado con arena recubierta de óxido de hierro. La investigación consistió en comparar el rendimiento del filtro de arena modificado (MBSF) con el filtro de arena convencional (BSF), en términos de su eficiencia en la eliminación de bacterias y turbidez bajo diferentes condiciones de funcionamiento. Los filtros fueron operados bajo las mismas condiciones, variando la temperatura del agua en un intervalo de 26 a 34 °C y empleando dos muestras de agua, agua de grifo al cual se le añadió la bacteria *E. coli* (ATCC 4157) y el agua natural de un río de Surat India.

Para obtener la concentración, se empleó la técnica de recuento en placa en Agar MacConkey y la del número más probable para coliformes total y fecales. Además se empleó el caldo lauril triptosa en la fase presuntiva y para la confirmación de coliformes totales y fecales se empleó el caldo bilis verde brillante.

El caudal natural presentó una turbidez 10.0 ± 1.2 UNT; coliformes fecales de 365 ± 251 NMP/100 mL, pH 8.4 ± 0.4 y el agua de grifo con bacteria *E. coli* presentó una turbidez 14.7 ± 4.3 UNT; *Escherichia coli* 3850 ± 736 UFC/mL y un pH 7.9 ± 0.3 . Los resultados obtenidos durante el experimento permite evidenciar que el BSF presentó una remoción 90% y el MBFS 99.3% para coliformes totales y fecales (tabla 2).

En estudios realizados por Gerba y Naranjo en el 2000, se evaluaron tres unidades de filtración portátil de matriz estructurada con carbón activado, en cuanto a su capacidad de eliminación de *Klebsiella terrigena*, poliovirus de tipo 1, rotavirus y *Cryptosporidium parvum*. Cada unidad fue monitoreada con una cantidad de organismos de prueba de 0, 94, 190, 227, 284, 340, y 378 UFC/mL. El sistema permitió eliminar bacterias, virus y oocistos de *Cryptosporidium parvum* en un 99.99% (tabla 2). Estos sistemas son capaces de reducir significativamente los microorganismos patógenos en un período relativamente corto, los resultados demuestran que esta tecnología de matriz estructurada con carbón activado es capaz de remover microorganismos en altas concentraciones en el agua.

Se demostró que el filtro xilema puede eliminar el 99.99% de *E. coli* del agua por filtración a presión impulsada simple (Boutilier et al., 2014).

Por otra parte del filtro de membrana fue evaluado con respecto a la remoción de bacterias como *E. coli*, virus como el colifago MS2, parásitos como *Cryptosporidium parvum* que son microorganismos comúnmente encontrados en agua no tratada que producen enfermedades. Los

resultados evidenciaron una remoción de 99.9999% de *E. coli*, 99.999% de colifago *MS2* y 99.99% de ooquistes del parásito *Cryptosporidium parvum* (Clasen et al., 2009).

2.3 Mejoramiento de las Características Fisicoquímicas del Agua

Se han realizado diferentes investigaciones donde se ha podido evidenciar el desempeño de los sistemas de filtración caseros para mejoramiento de las características fisicoquímicas del agua para su potabilización. Entre estos estudios se encuentra el realizado por Mwabi, y colaboradores en el 2011. Ellos evaluaron 4 filtros caseros BF, BSF, CCF y SIPP. Para el proceso de eliminación de químicos, utilizaron soluciones madres creadas con agua desionizada estéril (20 L) con magnesio a una concentración de 0.4 g/L, calcio 0.0006 g/L, hierro 0.0001 g/L, fosfatos 0.08 g/L, nitratos 1.0 g/L y fluoruro 0.01 g/L. El contaminante químico que tuvo mayor remoción en la filtración, en todos los sistemas, fue fluoruro, con un 99.9% y el de menor fue magnesio con 26 y 56%. Se encontró que la eliminación de calcio es más eficiente en el filtro BSF con un 90.6% (tabla 3).

Tabla 3. Porcentajes de remoción de compuestos químicos obtenidos mediante los diferentes sistemas de filtración caseros

Autor	Filtros		Remoción en porcentaje (%)						
			F-	Ca	Fe	Mg	NO ₃ ⁻	PO ₄	As
Mwabi, y colaboradores. 2011	Vela	cerámica	99.9	77.8	95.2	26.6	84.0	24.0	35.8
	(CCF)								
	Cubo (BF)		99.9	71.5	75.3	56.8	94.7	51.3	27.9
	Poroso	de	99.9	79.2	54.9	39.6	38.1	69.8	97.4
	impregnado	plata							
	(SIPP)	coloidal							

	Bioarena (BSF)	99.9	90.6	64.2	57.2	18.6	39.3	68.9
Mahlangu y colaboradores. 2012	Poroso impregnado de plata coloidal (SIPP)	43.5	56.3	88.7	66.7	N/D	N/D	53.9

F-: fluoruro, Ca: calcio, Fe: hierro, Mg: magnesio, NO₃: nitrato, PO₄: fosfatos, As: arsénico, N/D: no determinado.

La eliminación de las altas concentraciones de calcio es importante, ya que el calcio contribuye a la dureza del agua. El filtro CCF logró el mayor porcentaje de reducción de hierro con un 95.2% mientras que el filtro SIPP fue más efectivo en la eliminación de los nitratos del agua (Mwabi et al., 2011).

Por otro lado Mahlangu y colaboradores en el 2012, estudiaron la eficiencia que tiene el filtro poroso impregnado de plata coloidal (SIPP), con el fin de ser utilizados en zonas rurales del sur de África. Para la evaluación del filtro, se emplearon muestras de agua sintética y del medio ambiente.

El agua sintética fue elaborada agregando 200 mg/L de calcio, 100 mg/L de Magnesio, 5 mg/L de hierro, 10 mg/L de arsénico y 5 mg/L de fluoruro.

Para la evaluación del agua ambiental se recogieron muestras de pozos y de río de tres provincias de Suráfrica (Gauteng, Mpumalanga y Noroeste), las cuales fueron clasificadas de acuerdo a su turbidez.

Los resultados indicaron que el filtro SIPP, mostró una alta tasa de reducción de los analitos químicos analizados (F, Mg, Ca, NO₃, Fe, As) además que redujo la turbidez en más de un 50% (tabla 3).

Sin embargo Mahlangu y colaboradores 2012, obtuvieron porcentajes de remoción de compuesto químicos diferentes a los reportados por Mwabi y colaboradores 2011 con el filtro SIPP utilizando la misma metodología. Ellos concluyeron que las diferencias entre los resultados obtenidos con la misma clase de filtro, obedecían al proceso de fabricación, el cual es artesanal, lo cual hace que haya gran variabilidad en el mejoramiento de las características fisicoquímicas del agua.

2.4 Condiciones que Garantizan el Buen Funcionamiento de los Sistemas de Filtración

Casera

Los 5 pasos en que se basa el funcionamiento de los sistemas de filtración son: protección en la fuente, sedimentación, filtración, desinfección, y el almacenamiento seguro del agua (OMS, 2006).

- El primer paso consiste en proteger la fuente de captación del agua para consumo humano, de factores de contaminación como son las aguas residuales procedentes de letrinas, galpones, cocheras, escorrentía proveniente de potreros o cultivos que pueden estar contaminadas con agroquímicos, pesticidas, fertilizantes, entre otros. La protección de cuerpos de agua superficial es algo difícil por lo que se requiere de la construcción de estructuras cerradas e impermeables, como los tanques de recolección, que deben ser construidos en concreto, con las medidas necesarias para facilitar las actividades de mantenimiento, instalar una tapa que impida el contacto directo con animales.
- La utilización de sistemas de sedimentación permiten reducir la turbidez presente en el agua, para su posterior proceso de filtración.
- La eficiencia de los sistemas de filtración y la vida útil de los mismos, depende de la regularidad con la que se realizan las actividades de mantenimiento, la cual es muy sencilla,

una vez que se observa que la velocidad con que pasa el agua por el material filtrante ha disminuido, debe realizarse las actividades de limpieza indicadas para cada tipo de filtro, por ejemplo si es un filtro de arena, el procedimiento a seguir es remover una capa de arena de 2 o 3 cm. de espesor, esta arena debe ser repuesta inmediatamente después de lavarla o con arena nueva que se encuentre limpia.

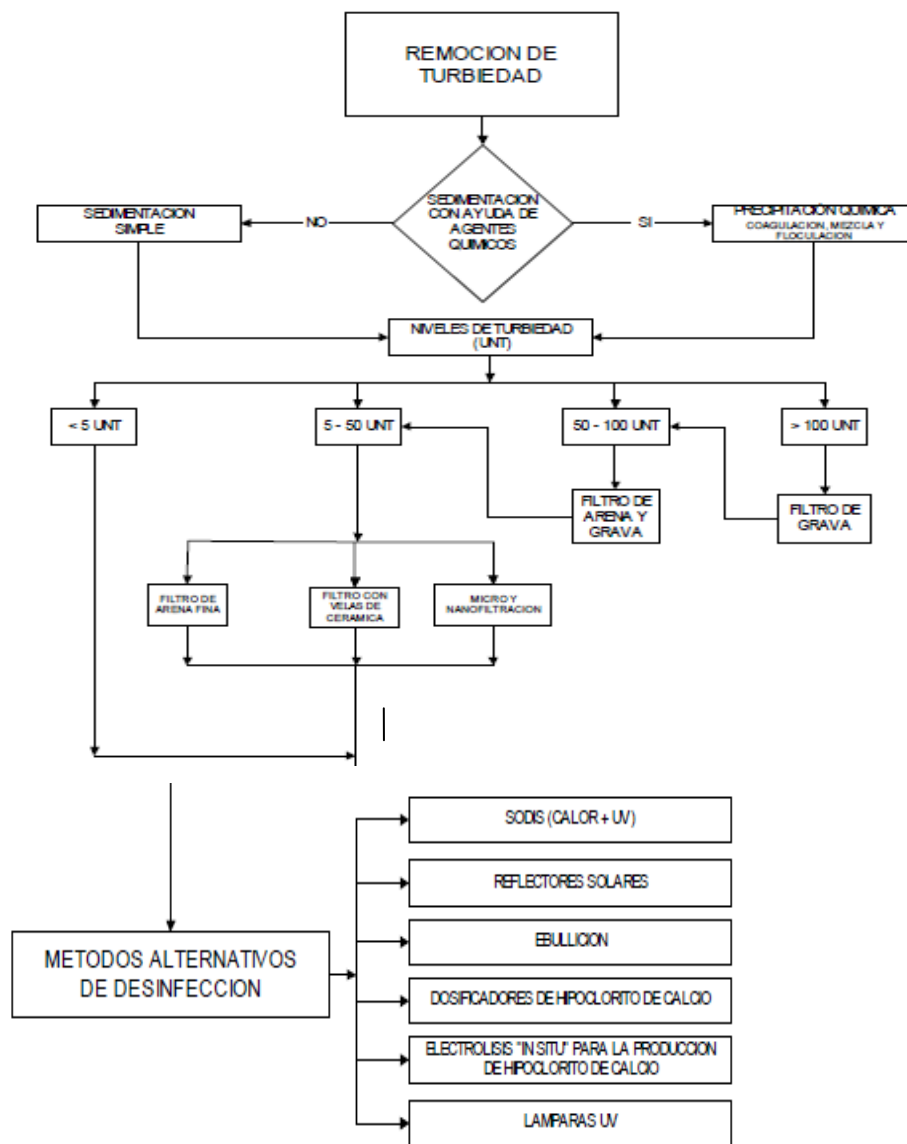
- Para asegurar la calidad del agua filtrada y evitar su posterior contaminación se puede recurrir a la utilización de cloro, y utilizar envases limpios y con tapa hermética que permita el almacenamiento seguro del agua filtrada.
- Igualmente a través de la consulta realizada, se identifica que la eficacia de cualquier modelo de filtro, dependerá en gran medida del grado de capacitación y educación sanitaria que reciban los potenciales usuarios de estos sistemas, para que verdaderamente se logre asegurar la calidad de agua para consumo humano.

2.5 Actividades Complementarias para Mejorar la Calidad del Agua Filtrada

A pesar de los procedimientos apropiados de retención, desarenado, sedimentación y filtración utilizando cualquiera de los filtros mencionados anteriormente, es necesario, someter el agua (especial para la que se va a usar para bebida y cocción de alimentos en la vivienda rural), a un procedimiento final de desinfección, con la cual se busca eliminar cualquier microorganismo patógeno (Las bacterias que producen las diarreas, la disentería, el tifo y el cólera; Los protozoarios o parásitos que producen la amibiasis y la Giardiasis; Los virus que producen la hepatitis infecciosa y la poliomielitis; Los trematodos que producen el áscaris o lombrices intestinales), que haya logrado superar las fases anteriores. (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010). Igualmente debe aplicarse

técnicas que ayuden a reducir la turbiedad del agua (ver diagrama 3), no solo por aspectos estéticos del agua, también para evitar que los sólidos en suspensión presentes sirvan de escondite a los microorganismos presentes en el agua, reduciendo la efectividad de los procesos de desinfección, ya que las partículas causantes de la turbidez protegen físicamente a los microorganismos del contacto directo con el desinfectante.

Diagrama 3. Métodos de tratamiento en presencia de turbiedad



Fuente (OPS, 2005)

A continuación se presentan algunas recomendaciones para la desinfección del agua en el sector rural:

- Desinfección doméstica del agua a través de la cloración: Se realiza con compuestos derivados del cloro, que por ser oxidantes y altamente corrosivos, poseen gran poder destructivo sobre los microorganismos presentes en el agua y pueden ser recomendados, con instrucciones de manejo especial, como desinfectantes a nivel de la vivienda rural. Como son: el hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio.
- Para realizar una dosificación segura del hipoclorito primero se debe identificar, la concentración de cloro activo con la que se compró este producto, de tal manera que la cantidad que se vaya a aplicar, se debe diluir previamente en agua, utilizando un balde plástico con la medida señalada en su interior, para facilitar la dosificación, la cual debe buscar un cloro residual libre entre 0.5 y 1.0 mg/L, después de 30 minutos de aplicado. (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010)
- Otra alternativa para la desinfección casera del agua, consiste en aplicar blanqueador de ropa regular sin aroma, que corresponde a hipoclorito de sodio, con concentración de cloro activo al 5,25%. Llenando la tapa de este envase con 10 cm³ de líquido blanqueador se puede desinfectar el agua previamente clarificada, y almacenada en un tanque domiciliario de 500 litros. El cloro debe ser añadido con agitación. (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010)
- “El generador de cloro *in situ* es un equipo de patente, que se conecta a una fuente de energía y tiene 2 electrodos que se sumergen en un balde plástico que contiene agua con

sal de cocina diluida en una concentración al 3%. Después de un tiempo de electrólisis, la salmuera va produciendo una solución de hipoclorito de sodio y volúmenes pequeños de gas hidrógeno.

Aun cuando ésta no es una solución casera o a nivel de vivienda rural dispersa, Se puede utilizar en pequeñas comunidades campesinas, que disponga de un puesto de salud central o dispensario comunal dotado de instalación eléctrica.

Allí debe haber una persona debidamente entrenada, que maneje el proceso de electrólisis y producción del desinfectante, el envasado de la porción domiciliaria y su entrega controlada, a la persona adulta encargada y entrenada, de la aplicación del hipoclorito en el hogar”. (RAS, TÍTULO J, Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural, 2010).

- Métodos alternativos de desinfección: Las altas temperaturas tienen un marcado efecto sobre todas las clases de microorganismos. A altas temperaturas las células vegetativas mueren debido a la desnaturalización de las proteínas y la hidrólisis de otros componentes. En el agua, las bacterias mueren entre los 40 y los 100°C, mientras que las algas, protozoarios y hongos lo hacen entre los 40 y los 60°C. Las esporas requieren condiciones de calor mucho más rigurosas para destruirse: 120°C en calor húmedo (vapor) durante 20 min o 170°C en calor seco durante 90 min, (Hooper, 1987, consultado en OPS, 2005).
- Desinfección solar del agua (SODIS): Es una solución simple, de bajo costo y ambientalmente sostenible para el tratamiento de agua para consumo humano a nivel doméstico en zonas rurales de Colombia. El agua para consumo humano se obtiene exponiendo al sol por algunas horas el agua contaminada en botellas de plástico

transparente de politereftalato de etileno (PET). Esta técnica es ideal para desinfectar pequeñas cantidades de agua con baja turbiedad. Se llenan las botellas, con agua contaminada y posteriormente se exponen a la luz solar hasta que la temperatura del agua supere los 50°C. Es posible mejorar la eficacia del tratamiento si las botellas de plástico se exponen a la luz solar mediante superficies reflectoras como hojas de zinc, de aluminio o hierro corrugado. (OPS, 2005)

2.6 Métodos de Tratamiento en Presencia de Metales y otras Sustancias Químicas Presentes en el Agua

De acuerdo a lo señalado en el diagrama 2, unos de los factores claves para el tratamiento del agua con presencia de metales pesados, es controlar el pH (generalmente $\text{pH} > 7$), a través de un proceso de alcalinización. La alcalinidad es importante en el tratamiento del agua porque reacciona con coagulantes hidrolizable (como sales de hierro y aluminio), y también puede interferir en el proceso de desinfección. Además, este parámetro tiene incidencia sobre el carácter corrosivo que pueda tener el agua y, cuando alcanza niveles altos, puede tener efectos sobre el sabor (OPS, 2005).

La alcalinización es un proceso en la cual se adiciona un álcali (por lo general, cal - CaO), cuando se tratan aguas ácidas o se quiere modificar el pH y así optimizar los procesos de coagulación.

También se ha descrito que a través del control del pH, se logra la remoción de otras sustancias tales como:

- *Bario*: Por otro lado, un control adecuado del pH en la planta de ablandamiento del agua mediante cal puede lograr una remoción de 90% del bario (OPS, 2005).

- *Boro*: Estudios realizados en plantas piloto han demostrado gran eficiencia de remoción de boro en los procesos de ablandamiento cal-soda a pH 8,5–11,3 (98%) y, en menor grado, en la coagulación con sulfato férrico (OPS, 2005).
- *Cadmio*: Se ha encontrado que los procesos de coagulación remueven el cadmio, pero una variable importante es el pH. Al usar sales de aluminio y regular el pH (7.5), es posible la remoción de 90% de cadmio en aguas turbias (OPS, 2005).
- *Remoción de hierro y manganeso*: La remoción del hierro es relativamente fácil a través de los procesos comunes de remoción de la turbiedad. La remoción del manganeso se realiza formando sales insolubles, para lo cual, en muchos casos, es necesario el uso de oxidantes y un pH alto (8,5 a 10,0). Un problema de la remoción del hierro y el manganeso, consiste en que estos se pueden acumular en los sistemas de distribución, transmitir sabor y olor al agua, darle color, interferir en la determinación del residual de cloro y provocar manchas en la ropa y en los sanitarios (OPS, 2005).

Una técnica recomendada para la eliminación de altas concentraciones de hierro (mayor de 5 mg/L), es a través de procesos de aireación-filtración. El equipo usado en este proceso incluye comúnmente un aireador, un tanque de retención y filtros. Dependiendo de las características del agua cruda puede ser necesario un tiempo de reacción hasta de algunas horas después de la aireación.

Las principales desventajas del proceso de aireación-filtración son el costo inicial alto, y el requerimiento de un tiempo de retención y tratamiento químico adicionales si la concentración de Mn soluble del agua a tratar es mayor a 1 mg/L.

- *Métodos de aireación*: La aireación se efectúa mediante caídas de agua en escaleras, cascadas, chorros y también aplicando el gas a la masa de agua mediante aspersión o

burbujeo. Se usa en la remoción de hierro y manganeso, así como también de anhídrido carbónico, ácido sulfhídrico y sustancias volátiles, para controlar la corrosión y olores.

En la aeración, el hierro se puede oxidar, pero en la remoción del manganeso, la aeración sola no es suficiente. (OPS, 2005)

- Presencia de flúor en el agua: Si la concentración del flúor en el abastecimiento de agua de una comunidad, supera el nivel permitido, es esencial considerar medidas remediadoras para combatirlo. Existen dos opciones disponibles: el tratamiento central del agua en la fuente y el tratamiento del agua a nivel casero. Para la remoción de flúor a nivel casero tenemos, los siguientes métodos:

➤ **filtros caseros de Intercambio iónico de bajo costo.**

En el distrito de Anuradhapura, Sri Lanka, en el año de 1994, se llevó a cabo un estudio de campo para remoción de flúor con filtros caseros de intercambio iónico, como técnica de adsorción de bajo costo. (OPS, 2005)

El medio filtrante es arcilla rica en hierro cocida a baja temperatura, con un tamaño de grano entre 16 y 8 mm (ladrillo o tabique molido), y un espesor de lecho de 50 cm. Ésta contiene además silicatos, aluminatos y hematita. Sobre la arcilla se coloca una capa de 5 cm de espesor de carbón vegetal, como el de cáscara de coco, para remoción de olores y encima de ésta una tercera capa de 5 cm de gravilla de río con tamaño de grano entre 1 a 2 cm con el fin de mantener el lecho en su lugar. (OPS, 2005).

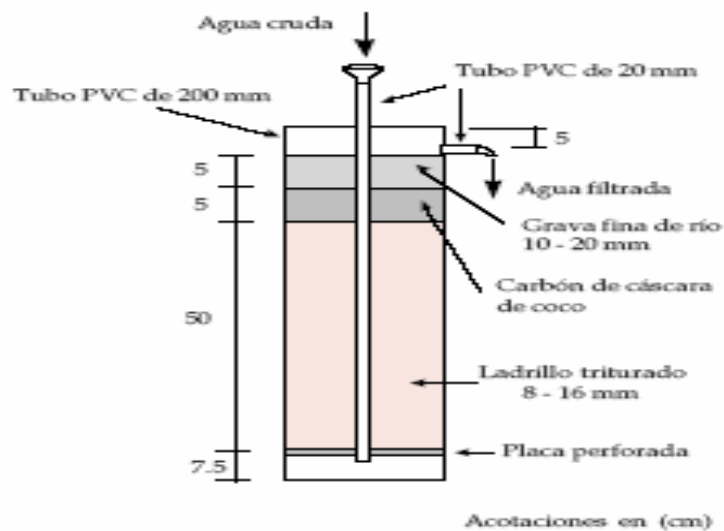
El filtro tiene una capacidad de 16 litros y trabaja con flujo ascendente intermitente y puede reducir los fluoruros en las aguas subterráneas de 4 mg/l, hasta menos de 1 mg/l. Cuando la arcilla se sumerge en agua por varias horas, sus minerales se convierten a oxihidróxidos de

hierro, aluminio y sílice, que tienen la capacidad de intercambiar sus hidroxilos por los fluoruros contenidos en el agua.

La principal característica de este filtro es que debe ser operado por lotes para dar a cada volumen de agua cruda el tiempo de contacto o retención necesario para la adsorción de los fluoruros.

Durante las pruebas en campo, los filtros se operaron de la siguiente manera: recolección de 10 litros de agua filtrada por la mañana después de un tiempo de retención de 16 horas y 5 litros por la tarde con un tiempo de retención de 8 horas. Los filtros operaron eficientemente los primeros días y en el transcurso del tiempo fueron bajando su eficiencia. La vida útil del medio filtrante es de dos a tres meses dependiendo del nivel de fluoruros en el agua cruda. Después de agotarse el material, los usuarios pueden remplazarlo por uno nuevo de manera sencilla. Las ventajas de esta unidad son el bajo costo de fabricación, disponibilidad de medio filtrante altamente poroso y fácil operación y mantenimiento por los usuarios. (OPS, 2005).

Imagen 7. Filtro de arcilla cocida para eliminación de flúor.



Fuente (OPS, 2005).

- **Remoción de arsénico presente en el agua de consumo humano:** Las tecnologías para la remoción de arsénico se basan en uno proceso fisicoquímico o en la combinación de varios. Los métodos más conocidos de tratamiento de agua para remover arsénico se clasifican en:
 - a) Procesos de coagulación y precipitación,
 - b) Intercambio iónico,
 - c) Adsorción en lechos granulares de materiales que retienen arsénico.

Para todos los procesos mencionados anteriormente se requiere de una oxidación completa de arsénico (As) (III). Por lo tanto cualquier tecnología de remoción incluye a la oxidación como pre tratamiento. Para la oxidación del As (III) a As (V), se puede utilizar: el oxígeno atmosférico, hipoclorito y permanganato.

- **Adsorción y coprecipitación:** La coagulación es un método efectivo en la remoción de arsénico. En este método se adiciona un coagulante, como pueden ser cloruro de aluminio o cloruro férrico, y se mezcla aproximadamente por un minuto. El hidróxido de Aluminio o el férrico forman los micro-flocs (coagulación). El arsénico también se une a los flocs (adsorción). Subsecuentemente se sedimenta y filtra (coprecipitación) separando así los flocs, junto con el arsénico que fue adsorbido. (OPS, 2005)

“Los coagulantes que son comúnmente usados son Alumbre, $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$; cloruro férrico, $FeCl_3$; y sulfato férrico, $Fe(SO_4)_3 \cdot 7H_2O$. Las sales férricas son comparativamente más eficientes en un rango de pH entre 6,0 y 8,5. La alumbre es más efectiva en un rango de 7,2 – 7,5. En ambos casos, As (III) no se remueve eficazmente, pero el As (V) si se remueve. Por tal motivo es importante la oxidación como pre tratamiento en la remoción de arsénico”. (OPS, 2005)

- **Unidad de tratamiento con dos cubos:** La unidad consiste en dos cubos, cada uno con capacidad de 20 litros. El agua contaminada con arsénico se vierte dentro del cubo superior. Se agrega el producto químico y se revuelve vigorosamente con un palo por uno o dos minutos. Luego se revuelve suavemente para la floculación por otros dos a tres minutos. El agua mezclada se deja reposar para que sedimente por cerca de dos horas. El producto químico agregado es una mezcla del coagulante (ejemplo: alumbre, cloruro o sulfato férrico) y oxidante (ejemplo: permanganato de potasio, hipoclorito de calcio) en forma de polvo.

Después de sedimentar, los dos tercios superiores de agua flotante del primer cubo se vierten suavemente en el segundo cubo. El segundo cubo contiene un filtro de arena y tiene un tubo de desagüe inferior perforado conectado con un grifo externo.

El agua del cubo pasa a través de la arena del filtro, que quita los micro-flocs restantes. La arena del filtro debe ser limpiada mínimo una vez por semana. También se necesita de capacitación en la operación y mantenimiento del sistema y en la prevención de contaminación bacteriológica del agua. (OPS, 2005)

- **Virutas de Hierro:** Básicamente el agua a tratar, idealmente saturada en oxígeno, se hace escurrir en un contenedor donde se encuentra hierro metálico en forma de lana, o viruta. Los productos de corrosión (siendo el $\text{Fe}(\text{OH})_3$ predominante), precipitan en forma de pequeñas partículas coloidales que lentamente se aglomeran y poseen la capacidad de retener arsénico por adsorción. La mayor parte del hierro oxidado con arsénico, puede ser separado posteriormente por filtración.

Las ventajas más relevantes de este proceso son: No se requiere de productos químicos, solo de hierro comercial de calidad corriente en forma de lana, residuos de la industria

metalmecánica (viruta) o similar. Fácil operación. Residuos férricos de alta densidad, lo que facilita su disposición final. (OPS, 2005)

- **Remoción de arsénico asistida por luz solar (RAOS):** RAOS busca generar el floculo de hidróxido de hierro por oxidación solar de sales de hierro en presencia de citrato y de aire. El citrato se agrega en forma de jugo de limón al agua (que generalmente ya posee hierro) contenida en botellas plásticas que se exponen al sol por algunas horas. Durante la noche las botellas se colocan en posición vertical. Así, el hierro y el arsénico flocculan y el agua purificada se filtra a través de simples paños textiles, o algodón. (OPS, 2005)
- Este método de tratamiento es de muy bajo costo y de fácil manejo para remover el arsénico presente en las aguas naturales de zonas rurales, haciendo a estas aguas aptas para consumo humano.

3. Conclusiones

- A través del presente trabajo de revisión bibliográfica, se logra concluir que los filtros caseros independiente de su composición, filtro de vela de cerámica (CCF), cubo (BF), bioarena (BSF), bioarena modificado (MBSF), poroso impregnado con plata coloidal (SIPP) y el matriz estructurado con carbón activado (FME)., eliminan microorganismos por encima del 90%, constituyendo una fuente de tratamiento de agua segura y de bajo costo, siendo una alternativa para mejorar la calidad de vida de las comunidades rurales que no tienen acceso a agua potable.
- En cuanto a la verificación del nivel de eficiencia en el mejoramiento de las características fisicoquímicas, se concluye que los estudios consultados, presentaron una gran variabilidad dependiendo de la sustancia química que se intentó remover. Es decir que cada sistema de filtración evaluado puede ser utilizado dependiendo del tipo de agua a tratar. Para aguas duras, se recomienda utilizar el filtro de BSF, ya que este filtro presenta una gran remoción de calcio, arsénico, magnesio y fosfatos. Para aguas con alto contenido de hierro se recomienda utilizar el filtro CCF, el cual logró el mayor porcentaje de reducción de hierro, mientras para agua contaminada con altas concentraciones de nitratos se recomienda utilizar el filtro SIPP.
- A través del desarrollo del presente trabajo se logra identificar la viabilidad económica que posee la implementación de los filtros caseros como técnicas individuales para la potabilización del agua en el sector rural colombiano (frente a otras técnicas más costosas como son los acueductos veredales), ya que su elaboración, operación y mantenimiento son de bajo costo.

4. Recomendaciones

- Para aumentar la eficiencia y eficacia de los filtros caseros en la remoción de contaminantes físico químicos y microbiológicos, se puede complementar el proceso, implementando técnicas de floculación y coagulación, utilizando polímeros de origen vegetal como almidones, glucógenos, celulosas y proteínas, como son la tuna, las algas pardas marinas, los almidones del maíz, el trigo, la papa, la yuca, la corteza del algarrobo, las pepas de durazno y habas. Y por último implementar la fase desinfección, utilizando blanqueador de ropa, utilizado la dosis recomendada 10 cm^3 , en 500 litros de agua. Y en zonas rurales de población nucleada utilizar generadores de hipoclorito in situ, contando con la respectiva asistencia técnica de un promotor rural en saneamiento entrenado en esta técnica de electrolisis y que se encargue de la capacitación de los pobladores, para que realicen el procedimiento en sus casas de manera segura, evitando incurrir en sobre dosis del producto que pueda representar un riesgo para la salud humana.
- El estado colombiano debe articular sus programas y proyectos, y los esfuerzos individuales de las diferentes instituciones que adelantan proyectos y programas encaminadas, a mejorar la calidad de vida de la población rural, como son aumento de la cobertura del agua potable, con el fin de reducir la brecha social y la inequidad que se presenta entre el sector urbano y rural.
- Para mejorar la calidad de vida de la población rural, y reducir la brecha y la inequidad social que existe entre el sector rural y urbano, el gobierno nacional, departamental y municipal, debe anudar esfuerzos para garantizar el acceso y el aumento de la cobertura de agua potable para la población rural, que ayude a

mejorar la calidad de vida de las personas, reduciendo el riesgo que existe de contraer enfermedades transmitidas por el consumo de agua contaminada, reducir los índices de morbilidad y mortalidad especialmente en población vulnerable como niños menores de 5 años y adultos mayores. A su vez se mejora la economía de las familias campesinas, ya que al reducir el riesgo de enfermedades transmitidas por el agua, se reduce el número de horas que se dejan de laborar por las incapacidades que generan estas enfermedades. Igualmente se reducen los gastos médicos derivados de estas enfermedades.

- Deben realizarse un estudio exhaustivo que identifique el porcentaje de población rural nucleada y dispersa, con el fin de identificar las necesidades y alternativas para el tratamiento del agua, ya sea a través de soluciones individuales o soluciones colectivas como son el diseño de plantas de tratamiento de agua en el sector rural.
- Se requiere una mayor articulación intersectorial, de las entidades que adelantan programas orientados a mejorar la calidad de vida en el sector rural, con el fin de fortalecer los programas y garantizar la continuidad en el tiempo de los mismos.
- Designar mayores recursos al sector rural, para impulsar programas de mejoramiento del agua potable y el saneamiento básico, con la respectiva fiscalización de los recursos con el fin de que estos sean ejecutados de manera honesta y eficiente.
- Debe garantizarse el cuidado y preservación de las fuentes hídricas, a través de programas de reforestación, compra de predios en los nacimientos de agua, con el fin de garantizar su preservación para la población actual y futura, al igual que se

garantice el caudal ecológico, para el desarrollo de otras especies que dependen de este valioso recurso.

- Aumentar la asistencia técnica en el sector rural con el fin de enseñar a las personas prácticas sencillas para el almacenamiento seguro del agua, sedimentación, clarificación del agua a través de la utilización de coagulantes o floculantes de origen natural, filtración, y cloración del agua, como técnica individual para el manejo del agua.
- Realizar un seguimiento, control y vigilancia a los prestadores de servicios de agua potables y saneamiento básico en el sector rural, con el fin de garantizar la idoneidad y la calidad en la prestación del servicio, garantizando el suministro de agua potable, que cumpla con los parámetros de calidad de agua potable establecido en el decreto 1575 de 2007. Igualmente debe controlarse la proliferación de prestadores de servicio de agua potable en el sector rural, ya que esto es contraproducente en la buena prestación del servicio de agua potable, ya que muchos operadores prestando el mismo servicio a un grupo pequeño de usuarios reduce la capacidad económica de los mismos, aumenta los costos de funcionamiento y baja la calidad y eficiencia en la prestación del servicio.
- Mantener actualizada, disponible y articulada, la información referente a la calidad del agua en el sector rural, con el fin de dar solución y establecer las estrategias necesarias para mejorar la calidad del agua en el sector rural colombiano, haciendo énfasis y priorizar los casos de mayor riesgo.

- Aumentar la participación de la comunidad en la definición de alternativas y soluciones individuales o colectivas, para el tratamiento del agua potable en el sector rural colombiano.
- Establecer alianzas estratégicas con diferentes entidades nacionales e internacionales (universidades, ONG), con el fin de realizar estudios confiables que evalúen la eficiencia y eficacia, en la remoción microbiológica y físico química de contaminantes, por parte de diferentes filtros caseros. Con base en estos resultados establecer, cuales son más recomendados (por su mayor eficiencia en la remoción de contaminantes), para su implementación como técnica individual de potabilización del agua en el sector rural colombiano.
- Debe involucrarse a la población rural, en la selección de los procesos de planeación, selección, diseño, construcción, administración, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento, dirigidos a población nucleada, para que las personas se apropien de estos sistemas, los quieran, ayuden en su cuidado para garantizar su preservación a través del tiempo.
- Es importante que se realicen investigaciones donde se pueda determinar porcentaje de remoción de virus por filtros caseros, ya que existen muy pocos estudios, que contemplan estos análisis y existe una gran prevalencia de enfermedades gastrointestinales producidas por virus.

5. Referencias Bibliográficas

Ahammed M, & Davra K. (2011). Performance evaluation of biosand filter modified with iron oxide-coated sand for household treatment of drinking water. *Desalination* 276:287–293.

Bhatt SM, Shilpa. (2015). Operational Procedures and Reliability for Safe Drinking Water. *J Bioremed Biodeg* 6:(1).1-3.

Bielefeldt, A.R., Kowalski, K., & Summers, R.S. (2009). Bacterial Treatment Effectiveness of Point-Of-Use Ceramic Water Filters. *Water Research*. (43)14: 3559-3565.

Boutilier MSH, Lee J, Chambers V, Venkatesh V, & Karnik R. (2014). Water Filtration Using Plant Xylem. *PLoS ONE* 9(2): e89934. doi:10.1371/journal.pone.0089934.

Campbell E [Internet]. (2005). Study on Life Span of Ceramic Filter Colloidal Silver Pot Shaped (CSP) Model. Disponible en:
<http://www.potterswithoutborders.com/2011/06/study-on-life-span-of-ceramic-filter-colloidal-silver-pot-shaped-csp-model/>. Consultado Octubre del 2014

Center for Affordable Water and Sanitation Technology [CAWST] [Internet]. (2010). Hojas Informativas para el tratamiento de agua a nivel domiciliar y su almacenamiento seguro: Filtro de Vela de Cerámica, Filtros de velas cerámica, Filtro de membrana. Disponible en: <http://resources.cawst.org/es/asset/hoja->

informativa-filtro-de-cer% C3% A1mica-tipo-olla-detallada_. Consultado Enero del 2014.

Chakraborti D1, Das B, Rahman MM, Chowdhury UK, Biswas B, Goswami AB, Nayak B, Pal A, Sengupta MK, Ahamed S, Hossain A, Basu G, Roychowdhury T, Das D. (2009). Status of groundwater arsenic contamination in the state of West Bengal, India: a 20-year study report. *Mol Nutr Food Res.* 53(5):542-51.

Comisión Nacional del Agua. Estadística del agua en México, Edición 2011. Gobierno Federal. Secretaria de medio ambiente y recursos naturales. Pág. 115.

Cole, J. (1982). Interactions between bacteria and algae in aquatic ecosystems, *ann. Rev. Ecol. Syst.* 13: 291-314.

CYTED. (2013). Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamiento de agua residuales domésticas. indicadores de contaminantes fecal en aguas. Red Iberoamericana de potabilización y depuración del agua. Capítulo 20. [En línea]. Consultado 15/09/2013. Disponible en:
http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf

Clasen T.F, Brown J, Collin S, Suntura O, & Cairncross S. (2004). Reducing diarrhea through the use of household-based ceramic water filters: a randomized, controlled trial in rural Bolivia. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 70(6): 651-657.

Clasen, T., García, G., Boisson, S., & Collin, SM. (2005). Household-based ceramic water filters for the prevention of diarrhea: a randomized, controlled trial of a pilot program in Colombia. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, (73)4:790–795.

Clasen T, Brown J, & Collin SM. (2006). Preventing diarrhea with household ceramic filter: Assessment of a pilot project in Bolivia. *International Journal of Environmental Health Research* 16(3): 231-239.

Clasen, T., & Boisson, S. (2006). Filtros de Cerámica para el Hogar para el Tratamiento de Agua para Beber en Respuesta a Desastres: Evaluación de un Programa Piloto en República Dominicana, *Práctica y Tecnología del Agua*. Tomo 1, No. 2, Publicaciones IWA.

Chakraborti D, Das B, Rahman MM, Chowdhury UK, Biswas B, et al. (2009). Status of groundwater arsenic contamination in the state of West Bengal, India: a 20-year study report. *Mol Nutr Food Res*. 53: 542-551.

Centre for Affordable Water & Sanitation Technology CAWST. (2010). Hoja Informativa para el Tratamiento de Agua a Nivel Domiciliar y su Almacenamiento Seguro: Filtro vela de Cerámica.

Elliott MA, DiGiano FA & Sobsey MD. (2011). Virus attenuation by microbial mechanisms during the idle time of a household slow sand filter. *Water Research* 45(14):4092-4102.

Elliott, M.A., DiGiano, F.A., Sobsey, M.D., (2011). Virus attenuation by microbial mechanisms during the idle time of a household slow sand filter. *Water Research* 45: 4092-4102.

Elliott, M.A., Stauber, C.E., Koksal, F., DiGiano, F.A., Sobsey, M.D. (2008). Reductions of E-coli, echovirus type 12 and bacteriophages in an intermittently operated household-scale slow sand filter. *Water Research* 42: 2662-2670.

Franz A. (2004). A performance study of ceramic candle filters in Kenya including tests for coliphage removal. Tesis de grado de Maestría en Ingeniería Civil y Ambiental. Massachusetts Institute of Technology. Disponible en:
<http://web.mit.edu/watsan/Docs/Student%20Theses/Kenya/AmberFranz-Thesis%205-18-05.pdf>.

Fogden J., & Wood G. (2009). Access to Safe Drinking Water and Its Impact on Global Economic Growth. HaloSource, Inc. 1631 220th St. SE, Suite 100, Bothell, WA 98021, USA.

Gadgil, (1998). Drinking water in developing countries. *Annual Review of Energy and the Environment* 23: 253–286.

Gerba, C., Naranjo, J., & Jones, E. (2008). Virus Removal from Water by a Portable Water Treatment Device. *Wilderness and Environmental Medicine*. 19: 45-49.

Gerba, C., & Naranjo, J. (2000). Microbiological water purification without the use of chemical disinfection. *Wilderness and Environmental Medicine*. 11:12-16.

Hoja informativa. La Protección del Agua Potable Inicia en Casa. [En línea]. Consultado el 03/10/2013. Disponible en <http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&frm=1&sou>.

Health P, Water E (2011). Pharmaceuticals in Drinking-water. *World Health*. 50: 600-603.

Jenkins MW, Tiwari SK, & Darby J. (2011). Bacterial, viral and turbidity removal by intermittent slow sand filtration for household use in developing countries: Experimental investigation and modeling. *Water Research*; 45(18):6227-6239.

Jenkins, M.W., Tiwari, S., Darby, J., Nyakash, N., Saenyi, W., & Langenbach, K. (2009). The BioSand Filter for Improved Drinking Water Quality in High Risk Communities in the Njoro Watershed, Kenya. Research Brief 09-06-SUMAWA. Global Livestock Collaborative Research Support Program. University of California, Davis.

Lantagne DS [Internet]. (2001). Investigation of the Potters for Peace Colloidal Silver-Impregnated Ceramic Filter. Report 1: Intrinsic Effectiveness. Report 2: Field investigation. Disponible en

<http://web.mit.edu/watsan/Docs/Other%20Documents/ceramicpot/PFP-Report1-Daniele%20Lantagne,%2012-01.pdf> Consultado Noviembre del 2014.

Loo, S.L., Fane, A., Krantz, W., & Lim, T.T. (2012). Emergency water supply: A review of potential technologies and selection criteria. *Water Research* (46), 3125-3151.

Mahmood, Q., Ali Baig, S., Nawab, B., Nawaz, M., Pervez, A., & SaimaZeb, B. (2011). Development of low cost household drinking water treatment system for the earthquake affected communities in Northern Pakistan. *Desalination*. 273: 316-320.

Mwabi, J.K., Adeyemo, F.E., Mahlangu, T.O., Mamba, B.B., Brouckaert, B.M., Swartz, C.D., Offringa, G. Mpenyana-Monyatsi, L., & Momba, M.N.B. (2011). Household water treatment systems: A solution to the production of safe drinking water by the low-income communities of Southern Africa. *Physics and Chemistry of the Earth* (36) 1120-1128.

Ministerio de Protección Social, & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2007). Resolución 2115 de 2007: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá D.C. República de Colombia.

Ministerio de Salud y Protección Social [Internet]. (2013). Informe Nacional Calidad de Agua para Consumo Humano Julio 2007 – Diciembre 2011. Bogotá: MinSalud.

Disponible en:

<http://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/Informe%20Nacional%20Calidad%20de%20Agua%20Julio%202007%20a%20Diciembre%202011.pdf>. Consultado Diciembre del 2014.

Naranjo, J., & Gerba, C.P. [Internet]. (2008). LifeStraw® Family Filter Testing. Efficacy evaluation. Final report. Department of Soil, Water and Environmental Science.

The University of Arizona. Disponible en:

http://www.iwanagreen.com/pdf/Prueba_tecnica_LSF_Arizona.pdf Consultado en Noviembre del 2014.

Ladeira L y colaboradores. 2005. Amadurecimento de filtros lentos de areia e remoção de microrganismos indicadores de qualidade da água ao longo da profundidade do leito: uma avaliação em instalação piloto. Eng. Sanit. Ambient. vol.10 no.4 Rio de Janeiro Oct./Dec.

Lerma, D.A. (2012). Filtros cerámicos una alternativa de agua segura. Facultad de Ciencias Ambientales. Tesis de Maestría en Ecotecnología. Universidad Tecnológica de Pereira.

Martínez C. 2007. Conductive diamond electrodes for water purification. Mat. Res. vol.10 no.4

Mahlangu O, Mamba B, & Momba M. (2012). Efficiency of silver impregnated porous pot (sipp) filters for production of clean potable water. *Int. J. Environ. Res. Public Health*.

OPS. 2005. Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero. OPS/CEPIS/05.167.

Plappally A., Chen Haoqian., Ayinde W., Alayande. S. Usoro A., Friedman K.C., Dare E., Ogunyale T., Yakub I., Leftwich M., Malatesta K, Rivera R., Brown, L., Soboyejo A & Soboyejo W. (2011). Field study on the use of clay ceramic water filters and influences on the general health in Nigeria. *J Health Behav & Pub Health* 1(1): 1-14.

Plappally A.K. (2010). Theoretical and Empirical Modeling of Flow, Strength, Leaching and Micro-Structural Characteristics of V Shaped Porous Ceramic Water Filters. PhD Dissertation. The Ohio State University, Columbus, OH, USA.

Plappally A, Soboyejo A, Fausey N, Soboyejo W, & Brown L. (2010). Stochastic Modeling of Filtrate Alkalinity in Water Filtration Devices: Transport through Micro/Nano Porous Clay Based Ceramic Materials. *Journal of Natural and Environmental Sciences* 1(2): 96-105.

Plappally AK, Yakub I, Brown LC, Soboyejo WO, & Soboyejo ABO. (2009). Theoretical and Experimental Investigation of Water Flow through Porous Ceramic Clay Composite Water Filter. *Fluid Dynamics and Material Processing* 5 (4): 373-398.

Pérez Andrea, Amézquita Claudia, Torres Lozada. (2012). Identificación y priorización de peligros como herramientas de la gestión del riesgo en sistemas de distribución de agua potable. *Revista Ingeniería y Universidad*, Vol.16. número 2, páginas 450-466.

Pérez Jorge Arturo. (2013). Tratamiento de aguas. Universidad Nacional. Facultad de Minas, Capitulo 4. [En línea]. Consultado 06/09/2013. Disponible en:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/70/5/45 - 4 Capi 3.pdf>

Peter-Varbanets M, Zurbrügg C, Swartz C & Pronk W. (2009). Review. Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology. *Water Research*; 43(2):245-265.

Robles E. y colaboradores. 2010. Filtros purificadores de agua: evaluación de la eficiencia de remoción de bacteria. Universidad Nacional Autónoma de México. Cádiz 104 Col.

Restrepo A.P., Ruiz .A., Garcés L. F. (2006). La Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas. Vol 1 (2): 58-77.

Samboni N, Carvajal Y, Escobar J. (2007). Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista de Ingeniería e Investigación*. Vol. 27. Número 3, páginas 172-180.

Singh B, Gaur S, Garg VK. (2007). Fluoride in drinking water and human urine in Southern Haryana, India. *J Hazard Mater.*144(1-2):147-51.

Sobsey, M. (2002). *Managing Water in the Home: Accelerated Health Gains from Improved Water Supply*. WHO, Geneva. WHO/SDE/WSH/02.07.
http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/WSH02.07.pdf

Sobsey MD, Stauber CE, Casanova LM, Brown JM, & Elliott M.A. (2008). Point of Use Household Drinking Water Filtration: A Practical, Effective Solution for Access to Safe Drinking Water. *Environmental Science & Technology* 42(12):4261-4267.

Soler, W.; Durango, H., & Soler, P. (2010). Control microbiano de agua de mar mediante microfiltración Microbial control of seawater by microfiltration. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, Vol, 28, No. 2.

Simonis, J.J., & Basson, A.K. (2011). Evaluation of a low-cost ceramic micro-porous filter for elimination of common disease microorganisms. *JPCE* 36 (14–15), 1129–1134.

Simonis, J.J., Basson, A.K., (2012). Manufacturing a low-cost ceramic water filter and filter system for the elimination of common pathogenic bacteria. *Physics and Chemistry of the Earth* 50: 52, 269–276.

Suthar S (2011) Contaminated drinking water and rural health perspectives in Rajasthan, India: an overview of recent case studies. *Environ Monit Assess.* 173: 837-849.

Van Der Laan, H., Van Halem, D., Smeets, P.W.M.H, Soppe, A.I.A, Kroesbergen, J., Wubbels F, G., Nederstigt, J., Gensburger, I., & Heijman, S.G.J. (2014). Bacteria and virus removal effectiveness of ceramic pot filters with different silver applications in a long term experiment. *Water Research* (51) 47-54.

Walters, A. (2008). A performance evaluation of the lifestraw: a personal point of use water purifier for the developing world. Thesis - Master of Science in the Department of Environmental Sciences and Engineering. University of North Carolina at Chapel Hill. <https://cdr.lib.unc.edu/indexablecontent/uuid:45203e5b-9c32-4793-bb81-c52f8a7497fc>

Witt, Vicente; Reiff, Fred (1993). *La Desinfección del Agua a Nivel Casero en Zonas Urbanas Marginales y Rurales*. Washington, D.C. Publicaciones OPS. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/fulltext/repind55/desaguca/desaguca.html>

UNIFEC. Enfermedades comunes relacionadas con el agua y el saneamiento. Agua, saneamiento e higiene. [En línea]. Consultado el 15/02/2014. Disponible en: http://www.unicef.org/spanish/wash/index_wes_related.html

Witt V., y Reiff F. (1993). La desinfección del agua a nivel casero en zonas urbanas marginales y rurales. Washington, D.C., OPS. Mayo.

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico– CRA). (2005). Una Primera Aproximación para Cuantificar los Beneficios Económicos Asociados a Incrementos en Cobertura y Calidad en el Sector de Acueducto y Alcantarillado en Colombia. Recuperado de <http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/32383933383036613231636236623336/revista15.pdf>

El tiempo. Ávila, C. (2015);¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia? Recuperado de <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/agua-potable-en-colombia-/15445939>

República de Colombia. Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2014). Documento CONPES 3810 “POLÍTICA PARA EL SUMINISTRO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO EN LA ZONA RURAL”. En línea <http://www.minvivienda.gov.co/conpesagua/3810%20-%202014.pdf>

Colombia. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO J. Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural / Vargas Liévano, Armando (Ed.). Bogotá, D.C. Colombia, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2010.

Instituto Nacional de Salud (INS). (2012). Estado de la Vigilancia de la Calidad del Agua para Consumo Humano en Colombia. Pág. 7.

Organización panamericana de la salud (OPS). (2005). Guía para el Mejoramiento de la Calidad del Agua a Nivel Casero. Lima, Perú.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2011). Caracterización Temática Servicios Públicos Domiciliarios. Recuperado de <https://www.dane.gov.co/files/sen/caracterizaciones/planificacion/CSP.pdf>

Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, Súper cifras, Fascículo No 1, 2, 3, 5 y 6; Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, “Estudio sectorial – Servicios públicos de acueducto y alcantarillado – 2002-2005”, Bogotá, 2006

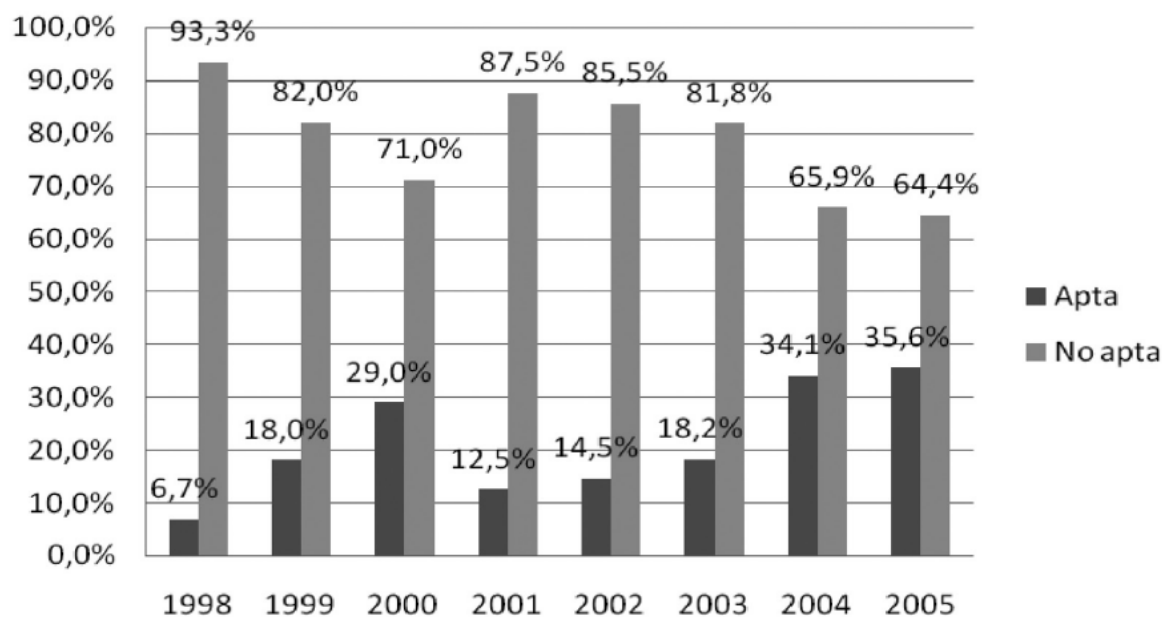
La Republica. (2015). Pobreza rural se debe a alcantarillado y educación, según el censo agropecuario. Recuperado de http://www.larepublica.co/pobreza-rural-se-debe-alcantarillado-y-educaci%C3%B3n-seg%C3%BAn-el-censo-agropecuario_303781

Anexo A. Meta de Aumento en Cobertura de Acueducto y Alcantarillado en Colombia Año 2015

Sector	1993	2003	Meta 2015
Urbano			
Acueducto	94,6 %	97,4 %	99,4 %
Alcantarillado	81,8 %	90,2 %	97,6
Rural			
Acueducto	41,1 %	66%	81,6 %
Alcantarillado	51 %	57,9 %	70,9 %

Fuente DNP, 2005

Anexo B. Evolución Agua Potable Tratada



Fuente: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, Supercifras, Fascículo No 1, 2, 3, 5 y 6
Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, “Estudio sectorial – Servicios públicos de acueducto y alcantarillado – 2002-2005”, Bogotá, 2006

Anexo C. Mortalidad Infantil por EDA's (enfermedad diarreica aguda), Por Consumo de Agua contaminada

Año	Defunciones población total	Defunciones población <1 año	Defunciones población entre 1 y 5 años
2001	171.210	14.178	3.395
2002	183.553	14.621	3.103
2003	187.432	15.367	3.125
2004	191.513	14.430	3.134
2005	188.849	12.511	2.913

Fuente: Datos INS – Vigilancia y Control en Salud Pública.