



**VERIFICACIÓN DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN DESCENTRALIZADO
DISEÑADO PARA LA VEREDA ALTO GUAPAYA, VISTA HERMOSA META:
REVISIÓN DE LITERATURA**

Joan Gabriel López Ojeda

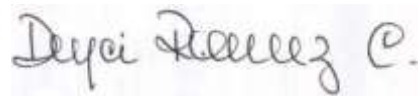
Pontificia Universidad Javeriana
Facultad de Ciencias, Departamento de Microbiología
Bogotá D.C, Colombia

2021

**VERIFICACIÓN DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN DESCENTRALIZADO
DISEÑADO PARA LA VEREDA ALTO GUAPAYA, VISTA HERMOSA META:
REVISIÓN DE LITERATURA**

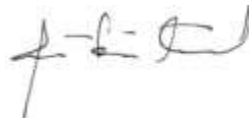
Joan Gabriel López Ojeda

APROBADO



Directora

Deyci Rocío Rodríguez Cordero, Microbióloga. M.Sc.
Grupo de Biotecnología Ambiental e Industrial (GBAI)
Facultad de Ciencias



Ana Karina Carrascal Camacho, Bacterióloga., M.Sc.
Departamento de Microbiología

Facultad de Ciencias

NOTA DE ADVERTENCIA

“La universidad no se hace responsable por los conceptos emitidos por sus alumnos en sus trabajos de tesis. Solo velará porque no se publique nada contrario al dogma y a la moral católica y porque las tesis no contengan ataques personales contra persona alguna, antes bien se vea en ellas el anhelo de buscar la verdad y la justicia”

Artículo 23 de la Resolución *n.º* 13 de Julio de 1946

AGRADECIMIENTOS

El ejercicio del conocimiento y de la escritura es un acto de esfuerzo, el cual está lleno de obstáculos altos y bajos, la universidad a la que pertenezco es sin lugar a duda un lugar de aprendizaje donde a veces se cae, pero la lección es siempre volver a levantarse. Sin embargo, en las caídas muchas veces no siempre logramos levantarnos solos para eso están la familia y los amigos.

En primer lugar, a mi madre Jinneth López y a mis abuelas Rosa Ojeda y Anabel López les agradezco de todo corazón su amor, comprensión, cariño el cual me impulsa a seguir adelante, incluso en los momentos en que más parezco alejado, su paciencia y su presencia son las que no me dejan rendirme en mis metas.

A mi directora Deyci Rodríguez por su disposición, enseñanza y orientación que me hizo formar parte de este proyecto tan valioso que no solo me llevo a la búsqueda de nuevo conocimiento, sino que me ayudo a entender muchas cosas sobre la realidad en que vivimos y por la cual hay que luchar.

Al proyecto PPU Alimento Vida y Habitación (12160010403100) por incluirme en este proyecto que me enseñó que el conocimiento no sirve de nada si no se comparte y se aplica para ayudar a los demás, demostrando así el camino de la paz y tolerancia que necesita nuestro país Colombia

Agradezco a mis amigos Alejandro Frasser, Juan David Gómez, Stefania Fernández, Diana Nadal, por su amistad, que, aunque muchas veces no se trata de hablar, la presencia y la escucha son lo que más aliviana el alma y ayuda a seguir adelante.

Por último, agradezco a Dios por su guía y amor mediante mis seres amados, que, aunque a veces me aleje de él sé que siempre me busca de diferentes maneras.

Tabla de Contenido

1. INTRODUCCIÓN	3
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	4
3. MARCO TEÓRICO	4
3.1. Demografía y Sistema hídrico en estudio.....	4
3.2. Microbiología del Agua	5
3.3. Bacterias.....	5
3.4. Coliformes y <i>Eschericia coli</i> indicadores de agua	5
3.5. Filtros como solución a la reducción microbiológica	6
3.6. Bio filtro de arena	6
3.7. Filtros de Carbón activado.....	7
3.8. Desinfección por cloro	7
3.9. Antecedentes normativos o regulatorios	7
3.10. Antecedentes Proyecto.....	8
4. OBJETIVO GENERAL	8
4.1. Objetivos Específicos	8
5. METODOLOGÍA	9
5.1. Diseño de la investigación.....	9
5.2. Población de estudio y muestra.....	9
5.2.1. Criterios de inclusión	9
5.2.2. Criterio de exclusión	9
5.2.3. Estrategias de búsqueda	9
5.3. Recolección y proceso de elegibilidad de la literatura	10
5.4. Metodología utilizada para el muestreo y análisis del agua de la vereda de Alto Guapaya 10	
5.5. Técnicas de análisis microbiológicos para agua	12
5.6. Acercamiento a la Comunidad.....	12
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
6.1. Características de la muestra para revisión de literatura	12
6.1.1. Tecnologías del prototipo del sistema de filtración descentralizado	14
6.1.2. Filtros de arena.....	14
6.1.3. Filtros de carbón activado	16
6.1.4. Cloración.....	18

6.1.5.	Análisis de las técnicas de tratamiento.....	19
6.2.	Verificación del Agua en Alto Guapaya.....	20
6.3.	Consideraciones de uso y mantenimiento de agua.....	23
6.3.1.	Contexto de la situación de la Vereda de alto Guapaya	24
6.3.2.	Protección de la fuente de agua.....	24
6.3.3.	Filtración y desinfección del agua.....	25
6.3.4.	Instructivo de mantenimiento de filtro purificador de agua.....	27
6.3.5.	Mantenimiento del prototipo del sistema de filtración descentralizado	27
6.3.6.	Desinfección del agua.....	28
6.3.7.	Desinfección solar.....	28
6.3.8.	Cloración.....	29
6.3.9.	Calor (hervir el agua)	29
6.3.10.	Almacenamiento del agua de forma segura.....	29
6.4.	Métodos de detección de microorganismos.....	30
6.4.1.	Método 1103.1: <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>) en Agua por Membrana de Filtración Usando Agar en Membrana -modificada para <i>Escherichia coli</i> Termo tolerante (mTEC Modificado).....	31
6.4.2.	Método 1603: <i>Escherichia coli</i> (<i>E. coli</i>) en Agua por Membrana de Filtración Usando Agar en Membrana -modificada para <i>Escherichia coli</i> Termo tolerante (mTEC Modificado) 32	32
6.4.3.	Método 1604: Coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> en agua por filtración de membrana utilizando una técnica de detección simultánea (medio MI).....	32
6.4.4.	Muestreo y recolección de agua 9060a Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23 rd Edition.....	33
6.4.5.	Técnica de Fermentación de tubos múltiples para coliformes totales 9221 B de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23 rd Edition	33
6.4.6.	Prueba de coliformes de presencia-ausencia (P – A) 9221D de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23 rd Edition	34
6.4.7.	Procedimiento de Filtrado de Membrana Estandarizado para Coliformes Totales 9222 B de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23 rd Edition.....	35
6.4.8.	Test de Enzima Sustrato para coliformes 9223B de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23 rd Edition	35
6.4.9.	Método Hach 10029 para Coliformes.....	36
6.7.	Visita Alto Guapaya.....	44
	BIBLIOGRAFÍA.....	47

Índice de Tablas

Tabla 1. Términos de referencia usados para rastrear información en bases de datos.....	10
Tabla 2. Muestras tomadas en la vereda Alto Guapaya.	20
Tabla 3. Conteo de colonias obtenidas a partir del análisis de Filtración por membrana	21
Tabla 4. Cantidad de indicadores permitidos por la Resolución n.º 2115 de 2007	30
Tabla 5. Comparación de métodos.....	37

Índice de Figuras

Figura 1. Caño Julio y Tubo de donde se transporta el agua. Fuente Deyci Rodriguez 2021	11
Figura 2. Tanque desarenador utilizado por la comunidad como tratamiento único del agua que se consume. Fuente Deyci Rodriguez 2021	11
Figura 3. Diagrama de Flujo de Selección de artículos	13
Figura 4. Distribución de los artículos por años (A) y Base de Datos (B).....	14
Figura 5. Fuga del tubo principal que lleva el agua a la comunidad. Fuente Deyci Rodriguez 2021	21
Figura 6. Conexión de agua hacia la escuela. Fuente Deyci Rodriguez 2021	21
Figura 7. Resultados de análisis microbiológicos del agua Grafica en UL del recuento obtenido a partir de la técnica de filtración por membrana	22
Figura 8. Pruebas de pH mediante kit de campo muestra 5. Fuente Deyci Rodriguez 2021	23
Figura 9. Pruebas de pH mediante kit de campo muestra 1. Fuente Deyci Rodriguez 2021	23
Figura 10. Filtro purificador de agua dado por los gobernantes del municipio	25
Figura 11. Diseño del Si. (A) Fase I: Filtro de arena, (B) Fase II: Cloración, (C) Fase III: Almacenamiento y (D) Fase IV: Carbón activado. (Rodriguez, 2020).....	26
Figura 12. Presentación de los niños y de la maestra a los niños de la comunidad	45
Figura 13. Explicación de las fases del ciclo del agua.....	45
Figura 14. Aprendizaje del ciclo del agua tercera fase precipitación	45

RESUMEN

El agua destinada para el consumo es indispensable para las diversas actividades que realiza el ser humano, no obstante, en lugares como la vereda de Alto Guapaya, ubicada en el municipio de Vista Hermosa - Meta (Colombia), se evidenció a través de actividades de campo realizadas en este lugar, que la vereda en mención no cuenta con un sistema de tratamiento que garantice que el agua destinada para el consumo de las personas que habitan este sector. Bajo esta premisa, teniendo en cuenta que en el 2020 en el Departamento de Diseño de la Pontificia Universidad Javeriana se planteó un prototipo de un sistema de filtración descentralizado en el que se utilizan tecnologías como la filtración con arena, la filtración con carbón activado y la cloración. Para esta investigación, se hizo una búsqueda y una revisión sistemática de literatura existente, con el propósito de analizar estas tecnologías y determinar si son las adecuadas para minimizar la presencia de indicadores microbiológicos; al hacer el análisis de la información recolectada se encontró que era apropiado usarlas en conjunto ya que cada uno suple deficiencias que tiene la otra, mostrando que teóricamente podrían asegurar la calidad microbiológica del agua.

Ahora, se ha considerado que no basta con poner en funcionamiento un prototipo de un sistema de filtración descentralizada como el planteado, el mismo, debe ser objeto de un mantenimiento periódico para que mantenga su eficiencia y eficacia en el tiempo, por consiguiente, se proponen lineamientos acerca del uso y mantenimiento del agua, el cual abarca estos tres ejes fundamentales: 1. Proteger la fuente de agua, 2. Filtrar y desinfectar el agua y 3. Almacenar el agua de forma segura.

Por último, se realizaron simultáneamente con la comunidad dos actividades denominadas: 1). Contextualización sobre el agua como parte importante del mundo y 2). Rompecabezas sobre el ciclo del agua, esto para sensibilizar a la comunidad sobre el uso y conservación del agua teniendo en cuenta el contexto en que ellos viven, resultando en un mejor cuidado del recurso y fuente de agua que se utiliza como suministro.

Palabras Clave: Agua segura o agua potable, calidad del agua, microorganismos, tecnologías de Tratamiento del agua.

ABSTRACT

The water intended for consumption is indispensable for the various activities carried out by the human being, however, in places like the village of Alto Guapaya, located in the municipality of Vista Hermosa - Meta (Colombia), it was evident through field activities carried out in this place, that the village in question does not have a treatment system that guarantees that the water destined for the consumption of the people who inhabit this sector. Under this premise, bearing in mind that in 2020 the Design Department of the Pontificia Universidad Javeriana proposed a prototype of a decentralized filtration system in which technologies such as sand filtration are used, activated carbon filtration and chlorination. For this research, a systematic search and review of existing literature was conducted, with the purpose of analyzing these technologies and determining whether they are adequate to minimize the presence of microbiological indicators; In the analysis of the information collected, it was found that it was appropriate to use them together as each of them fills in the deficiencies of the other, showing that theoretically they could ensure the microbiological quality of the water.

Now, it has been considered that it is not enough to put into operation a prototype of a decentralized filtration system such as the one proposed, the same, must be regularly maintained in order to maintain its efficiency and effectiveness over time, therefore, guidelines are proposed regarding the use and maintenance of water, which covers these three fundamental axes: 1. Protect the water source, 2. Filter and disinfect the water and 3. Store the water safely.

Finally, two activities were carried out simultaneously with the community: 1). Contextualization of water as an important part of the world and 2). Puzzles about the water cycle, this to sensitize the community about the use and conservation of water taking into account the context in which they live, resulting in a better care of the resource and source of water used as a supply.

Keywords: Safe water or drinking water, water quality, microorganisms, water treatment technologies.

1. INTRODUCCIÓN

El agua destinada para el uso de las actividades humanas, o el agua potable es indispensable a nivel mundial. La disponibilidad del agua es diferente en cada parte del mundo, y aunque todas las personas pudieran acceder a fuentes hídricas, es inaceptable que el agua no esté limpia y lista para su consumo. En especial en países en desarrollo, lugares en donde la disponibilidad del agua y el tratamiento de esta es limitado o inexistente. En este orden, es necesario precisar qué el concepto de agua limpia se refiere a que este líquido esté libre de contaminantes físicos, químicos y microbiológicos, de tal manera que puedan emplearse para actividades cotidianas como beberla, cocinar, lavar y cultivar, en consecuencia el agua debe estar libre de contaminantes y regulada por las leyes y autoridades de cada país (Pandit & Kumar, 2015).

El agua no potable o insalubre aún hoy en día representa más de la mitad de carga de enfermedades diarreicas a nivel mundial; en este sentido, a pesar de que se ha logrado avanzar para que un importante número de personas puedan acceder al agua, la que se proporciona no es siempre apta para el consumo humano. Incluso en lugares donde su uso es indispensable como son hospitales y escuelas como lo es la escuela ubicada en la vereda de Alto Guapaya (Organización Mundial de la Salud, 2019). Al respecto, es necesario tener en cuenta que, en el mundo aproximadamente 2000 millones de personas carecen del servicio de agua potable gestionado de forma segura, además, de esta cifra, unas 485000 personas, incluyendo niños, mueren a causa de infecciones asociadas a enfermedades intestinales (World Health Organization, 2019), como consecuencia del consumo de agua no salubre, posiblemente contaminada con heces, ya que se utilizan fuentes de agua no tratadas o que son impuras (Howard *et al.*, 2016).

En Colombia la calidad del agua se analiza por medio del Índice de Riesgo de Calidad del Agua (IRCA), este es un indicador para establecer la calidad del agua, y se determina por el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo; en Colombia el agua obtenida a partir de auto abastecedores cuenta con un nivel de IRCA alto del 50,15 %, estos auto abastecedores se refiere a fuentes de agua sin tratamiento, como lo son ríos, aljibes y pozos subterráneos (INCA, 2019). El agua de consumo de origen superficial no se considera apta para el consumo ya que pueden verse afectada por eventos climáticos y causar variación en parámetros físicos y químicos debido al arrastre de sustancias y sólidos que, sin un tratamiento previo, se corre el riesgo que la comunidad que la consume pueda llegar a enfermarse (Howard *et al.*, 2016).

Por consiguiente, para poder mejorar la calidad del agua en zonas en donde los sistemas de tratamiento son precarios o deficientes, la filtración se ha identificado como una tecnología simple y eficiente para el tratamiento de aguas en zonas rurales (Noubactep *et al.*, 2010), por tal razón la aplicación de un sistema de filtración en la comunidad de Alto Guapaya surge como una alternativa del *proyecto de planeación universitaria PPU: Alimento, Vida y Hábitat*, con el fin de ayudar a mejorar su suministro de agua e impacto de esta en la salud de la comunidad.

No obstante, es importante señalar que a pesar que desde el proyecto mencionado, se propuso como solución para esta comunidad un prototipo del sistema de filtración descentralizado, diseñado este por Rodríguez A (2020), el mismo aun no se encuentra validado, por tal razón se

realizó una búsqueda de literatura por medio de bases de datos disponibles en la Pontificia Universidad Javeriana, con el propósito de comprobar a través de referentes teóricos, los elementos y operación que involucra este prototipo para determinar si puede garantizar la calidad microbiológica del agua que se utilizara en esta comunidad una vez pueda ser implementado.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

El acceso al agua potable, es considerada por la Asamblea General de las Naciones Unidas como un derecho humano fundamental (ONU, 2010), sin embargo, el poco desarrollo de servicios de acueducto en zonas rurales y la insuficiente inversión, hace que haya todavía muchas personas sin este recurso y por ende se considera como un problema; según la OMS (2015), más de 663 millones de personas de las cuales, la mayoría viven en zonas rurales, no tienen acceso al consumo de agua potable (OMS/UNICEF, 2015). En Colombia, según estudios del Ministerio de Salud y Protección Social (2019), el IRCA en zonas rurales alcanzó el 31,1 % que significa un riesgo medio para la población ubicada en estos sectores para el año de 2017. Es importante resaltar que, en el departamento del Meta se obtuvo un porcentaje del 31,7% un poco más alto que la media nacional (Minsalud, 2019).

El agua en condiciones inadecuadas de potabilidad, debe recordarse que, puede ser vehículo transmisor de diferentes enfermedades de alto impacto para la salud pública, situación de la cual no es ajena la población del departamento de Meta, si se tiene en cuenta que, cuatro de sus municipios tienen un valor de IRCA de riesgo Alto y una incidencia de EDA (Enfermedad Diarreica Aguda) superior al 50% (CONPES, 2018), valores de referencia considerados de muy alto impacto según reportes del Instituto Nacional de Salud (Cuellar et al., 2018).

En el municipio de Vista Hermosa, según el Departamento Nacional de Planeación en el año 2018 (CONPES, 2018), se muestra que su IRCA supera el 57,6%, esto significa que el agua consumida en este municipio sigue sin ser apta para el consumo humano ya que está en un nivel de riesgo alto (Minsalud, 2019). En la vereda de Alto Guapaya de este municipio, el sistema de obtención de agua disponible para la comunidad no es suministrado ni brindado por una organización o persona, su acceso depende de un sistema hídrico natural como lo es el río Guejar, por lo que no es posible establecer un método para compararlo con el índice de riesgo de Calidad (IRCA); como consecuencia de estos inconvenientes, se diseñó un filtro que busca mejorar la calidad del agua que viene del caño Julio, esto para que sea apta para el consumo de esta comunidad, por lo que es necesario verificar si el agua que atraviesa el filtro, cumple con los parámetros microbiológicos establecidos en la Resolución n.º 2115 de 2007 del Ministerio de Salud y Protección Social.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Demografía y Sistema hídrico en estudio

Este estudio se realizó en la vereda de Alto Guapaya que pertenece al municipio de Vista Hermosa en el Departamento del Meta en Colombia. El municipio de Vista Hermosa comprende un terreno de 4749 km^2 en el cual habitan **25461** habitantes, registrados en el año 2017, de los cuales 16486 viven en zona rural (Para et al., 2018). Este municipio es atravesado por el río Guejar, el cual descende de la cordillera oriental donde se desarrolla un régimen trezado cuando atraviesa paisajes de terrazas; los drenajes recorren las áreas más planas; este río recorre los municipios de

San Juan de Arama, Mesetas, Vista hermosa y Puerto Rico donde desemboca en el río Ariari; este río según un documento de la Corporación para el Desarrollo Sostenible del área de Manejo Especial de la Macarena, presenta condiciones favorables de calidad en sus aguas, sin embargo, su principal afectación tiene que ver con la contaminación microbiológica, la cual no cumple con los parámetros microbiológicos de la Resolución 2115 de 2007 (Para *et al.*, 2018).

3.2. Microbiología del Agua

Las diferentes condiciones ambientales dan como resultado una comunidad microbiana única, por eso en cada sistema hídrico varía según el lugar, la fauna, la flora, condiciones climáticas, incluso la adición o eliminación de ciertos microorganismos puede afectar no solo la comunidad microbiana presente sino al sistema hídrico en general ya que los microorganismos modifican las condiciones del río (Vehiculizadas & Eva, 2015). Al emplearse como agua de consumo humano se necesita saber que microorganismos pueden llegar a habitar este ecosistema hídrico, ya que al ser tan variado se puede encontrar tanto organismo patógenos saprófitos. Al saber con qué tipo de microorganismos nos enfrentamos se puede identificar como tratar esta agua destinada para el consumo; dentro de los microorganismos más comunes que pueden llegar a ser patógenos se encuentran protozoarios, virus, y los más utilizados para ver la calidad del agua que son las bacterias (Percival *et al.*, 2013).

3.3. Bacterias

Los microorganismos patógenos bacterianos pueden residir en grandes cantidades en lagos, ríos y arroyos lo cual puede representar una amenaza para la salud humana. En el lugar de estudio que es en una quebrada se pueden encontrar microorganismos como *Pseudomonas aeruginosa*, coliformes fecales y no fecales que si bien no son patógenos directos pueden llegar a ser patógenos oportunistas, otros que sin son patógenos como *Campylobacter spp*, pueden llegar a infectar a cualquier animal o individuo que consume este recurso (Gabriel, 2011). El agua sin un tratamiento de potabilidad puede ser vehículo transmisor de diferentes bacterias de alto impacto para la salud pública, aun siendo un sistema hídrico con poca interferencia humana al que se estudia, puede transmitir patógenos bacterianos que pueden ser transmitidos por el agua debido a contaminación con materia fecal de animales u otros seres humanos. Dentro de los microorganismos patógenos que se pueden transmitir por el agua se encuentran, *Salmonella Typhi* responsable de la fiebre tifoidea, *Escherichia coli* y sus serotipos, posibles responsables de Enfermedad Diarreica Aguda (EDA) y bacterias patógenas cuya clasificación reciente fue nombrada como *Helicobacter pylori*, agente causal de la gastroenteritis (Doyle *et al.*, 2011).

3.4. Coliformes y *Escherichia coli* indicadores de agua

Los coliformes son microorganismos pertenecientes a la familia *Enterobacteriaceae* que incluye bacterias aerobias y anaerobias facultativas, son Gram negativas, que fermentan la lactosa y producen gas. Estos coliformes pueden estar en la naturaleza o pueden provenir de las heces de animales o humanos ya que estos naturalmente viven en el intestino y pueden pertenecer en la microbiota normal sin causar ninguna afección a su anfitrión e incluso ayudar a descomponer compuestos que ingerimos y alcanzar nutrientes que sin ellos no podríamos obtener (Doyle *et al.*, 2011); dentro de los coliformes de origen fecal más estudiados se encuentran a *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Citrobacter*. Los coliformes suelen ser indicadores útiles para

determinar la calidad del agua potable ya que su presencia en el agua puede indicar la contaminación fecal de animales de sangre caliente (Mutemi *et al.*, 2020a) (Shah & Rodriguez-Couto, 2019). *Escherichia coli* al poderse distinguir fácilmente entre otros coliformes, se utiliza como indicador de contaminación fecal ya que la presencia de coliformes no es garantía que sean fecales debido a que muchos coliformes son saprófitos, y por lo tanto la prueba con *E. coli* es una prueba que permite establecer con mayor certeza de que hay contaminación fecal. Cabe aclarar que los resultados de las pruebas de coliformes o de *E. coli*, no son signo de virus o quistes protozoarios pues las pruebas que permiten llegar a estas conclusiones son diferentes a las aquí señaladas.

3.5. Filtros como solución a la reducción microbiológica

El consumo de agua contaminada generalmente conduce a enfermedades como la diarrea que pueden causar aproximadamente 485.000 muertes por año en el mundo entero (WHO, 2019). Así pues, no puede desconocerse que la presencia de patógenos en el agua potable es un riesgo para la salud, esto en especial en lo que respecta a comunidades y poblaciones en sectores rurales en los que eventos adversos causados por el cambio climático, representan una amenaza por brotes de enfermedades infecciosas transmitidas por el agua (Andreoli & Sabogal-Paz, 2020), ya que al afectarse las fuentes de agua que llegan a las viviendas, las personas corren el riesgo de contraer enfermedades como la diarrea. Según Jadhav *et al.* (2015), los sistemas de tratamiento de agua doméstico pueden reducir el riesgo de adquirir enfermedades transmitidas mediante el agua, mejorar prácticas como la protección de las fuentes de agua y su almacenamiento de forma segura. En zonas rurales donde a veces no existe una planta para el saneamiento del agua, ni tampoco se disponen los recursos para su implementación de manera permanente, el tratamiento de agua doméstico se presenta como una alternativa, sin embargo, es necesario tener en cuenta que para optar por un sistema como el referenciado, y para que éste sea viable, debe tener características tales como ser accesible a cualquier persona, fácil de operar y mantener, así como ser aceptado por la comunidad o población (Dhiman Roy, 2015).

El uso de filtros para el mejoramiento de características físicas, químicas y microbiológicas del agua no es nuevo, sin embargo, su uso es común alrededor del mundo, pues se utilizan diferentes filtros como el de arena que, en estudios anteriores mostraron que eliminaban del 93% al 99% de bacterias coliformes en pruebas de laboratorio (Mutemi *et al.*, 2020a); otros filtros como los de cerámica con aditamentos como la plata puede llegar a tener efectos bactericidas y virucidas inactivando la replicación del ADN o inhibiendo funciones enzimática aunque los filtros son muy débiles (Lucier *et al.*, 2017); por otro lado, el carbón activado si bien no tiene una actividad antimicrobiana definida, si ayuda al mejoramiento del agua a nivel químico, disminuyendo o desapareciendo sustancias que en ciertas concentraciones pueden llegar a inhibir compuestos de cloro y ozono que se utilizan para la desinfección de microorganismos (D. Y. Zhang *et al.*, 2011).

3.6. Bio filtro de arena

La bio filtración de arena es recomendada por la Organización mundial de la salud como un tratamiento en su punto de uso (POU de sus siglas en inglés “*point of use*”), ya que, es una solución apropiada para el suministro de agua potable en hogares y comunidades donde no hay acceso a sistemas de agua corrientes (Verma *et al.*, 2017), el bio filtro de arena combina procesos físicos y

biológicos, los cuatro principales son (i) esfuerzo mecánico, (ii) sedimentación, (iii) adsorción y (iv) procesos biológicos (Singer *et al.*, 2017). Estos procesos biológicos se relacionan con la actividad microbiológica, hecha por microorganismos en la superficie o en la matriz del medio granular. Esta capa biológica se llama *schmutzdecke* y su función es retener, inactivar y degradar microorganismos. Esta capa biológica ha demostrado no solo tener efecto desinfectante sino de degradar contaminantes orgánicos que pueden llegar a causar mal sabor, olor, incluyendo la degradación de compuestos de origen antropogénicos tales como pesticidas, productos farmacéuticos y químicos industriales (Oh *et al.*, 2018) (Herschy, 2012) (Rodríguez, 2020).

3.7. Filtros de Carbón activado

El uso de adsorbentes en el tratamiento de aguas es uno de los métodos más utilizados para eliminar sustancias orgánicas (Satya Sai & Krishnaiah, 2005). El carbón activado o de sus siglas en inglés AC “*activate carbon*”, se forma por carbonización y activación a altas temperaturas, tiene una estructura de poros desarrollada y una excelente capacidad de adsorción. Su eficacia de adsorción está determinada por el volumen de poros desarrollados y su distribución en relación con el peso molecular de las sustancias orgánicas que sucede en los mesoporos y microporos grandes esto en los filtros de carbón activado granular (GAC) (Nowotny *et al.*, 2007). Después de cierto tiempo de funcionamiento, según la cantidad de materia orgánica y sustancias que pasen por él, se convierte en un filtro biológico de carbón activado (BAC), ya que se establece una comunidad de microorganismos al AC por adherencia y gracias al constante flujo de nutrientes va aumentándose. Cuando esta comunidad microbiana este completamente desarrollada, se eliminan contaminantes orgánicos y nutrientes orgánicos como amoníaco, fosfatos, metales por la combinación entre la adsorción del propio carbón activado y la degradación microbiana. Estos microorganismos también ayudan a prolongar la vida útil del propio AC ya que pueden llegar a bio regenerar el filtro por la acción de las enzimas extracelulares secretadas por las bacterias y otros microorganismos que interactúan con la materia orgánica adsorbida, lo que resulta en su liberación del sitio de adsorción y su utilización por microorganismos así, el AC recupera parte de su capacidad de adsorción y por lo tanto aumenta el tiempo de su vida útil (Korotta-Gamage & Sathasivan, 2017) (Boon *et al.*, 2011).

3.8. Desinfección por cloro

La desinfección del agua juega un papel importante en la reducción de microorganismos causantes de enfermedades graves transmitidos por agua, la destrucción e inactivación de patógenos microbianos es esencial en especial en lugares donde no se cuenta con una planta de tratamiento y por necesidad se utiliza fuentes de agua superficiales y subterráneas, para las actividades cotidianas de la población (Abbas *et al.*, 2015). Comúnmente implica el uso de agentes químicos reactivos a base de cloro, debido a su disponibilidad, facilidad de uso, rentabilidad, facilidad de verificación, y su eficacia para inactivar patógenos como bacterias y virus, además de que, el cloro persiste y protege contra la recontaminación en sistemas de distribución. Además de aplicarse a final del tratamiento para inactivar patógenos y evitar el rebrote de microorganismos (Du *et al.*, 2017).

3.9. Antecedentes normativos o regulatorios

Según el ordenamiento jurídico colombiano, establecido desde las leyes 205 y 216 de 2003 que establecen los objetivos del Ministerio de Ambiente y el Ministerio de la Protección Social se

considera que el agua potable es la que cumple con unas condiciones y características que permiten ser consumida por la población humana sin producir efectos adversos a la salud (Decreto n.º 1575 de 2007, art. 2). El Decreto 1575 de 2007 establece el monitoreo regular de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, en todo el país previniendo e informando sobre el agua que se utiliza para el consumo para evitar el incremento de riesgos para la salud humana. Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que, la Resolución n.º 2115 de 2007 señala las características, los instrumentos básicos y frecuentes del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para su consumo, complementando así lo propuesto por la Resolución n.º 1575 de 2007. Por tal motivo, en el desarrollo de la investigación de este trabajo, se siguen los lineamientos de la Resolución n.º 2115 de 2007 para la evaluación microbiológica del agua que se consume en la Vereda de Alto Guapaya,

3.10. Antecedentes Proyecto

El presente proyecto surge como necesidad de validar el prototipo de filtro de agua que hace parte del *proyecto de fortalecimiento de los procesos productivos, seguridad alimentaria y nutricional y habitabilidad del espacio territorial de capacitación y reincorporación de charras, San José del Guaviare*, PPU de las facultades de Ciencias y Arquitectura y diseño, para el mejoramiento de la calidad de vida de las personas de la comunidad de Alto Guapaya, propuso un prototipo de filtro para agua, que en esta investigación involucra el diseño un sistema de filtración descentralizado planteado en el trabajo de grado de Rodríguez Alejandra (2020). Este sistema de filtración consta de cuatro fases, que son: Fase (I) filtración con arena, Fase (II) clorador, Fase (III) almacenamiento y Fase (IV) filtro de carbón activado. Este filtro fue diseñado de tal forma que fuera de fácil construcción, operación y cuyo mantenimiento sea sencillo, para que así el uso del agua tratada por este medio pueda ser utilizada en diferentes actividades cotidianas como lo son: el aseo, la preparación de alimentos y actividades agrícolas que desarrollan al interior de la comunidad.

Por lo tanto, se busca comprobar si los materiales y las partes que componen el prototipo de sistema de filtración descentralizada se ajustan a las necesidades y al alcance de la comunidad, y, a su vez, para determinar, al menos desde lo teórico si su implementación tiene los elementos necesarios para mejorar la calidad del agua que pueden llegar a consumir las personas de la comunidad de Alto Guapaya, beneficiándolos así con una mejor calidad de vida, ya que se podría reducir los riesgos de adquirir enfermedades que afecten su salud.

4. OBJETIVO GENERAL

Verificar mediante referentes bibliográficos el uso de un prototipo a través de cual se implementa un sistema de filtración descentralizado, con el cual se garantice la calidad microbiológica del agua para su uso en la comunidad de la vereda Alto Guapaya (Vista Hermosa- Meta).

4.1. Objetivos Específicos

- Comprobar a través de referentes teóricos que el uso de diferentes tipos de tratamientos en conjunto en el prototipo del sistema de filtración descentralizado garantiza la calidad microbiológica del agua.
- Establecer lineamientos para el óptimo funcionamiento del sistema de filtración de agua descentralizado.

- Sensibilizar a la comunidad de Alto Guapaya sobre el cuidado del Agua y el uso del sistema de filtración descentralizado.

5. METODOLOGÍA

5.1. Diseño de la investigación

Revisión de literatura por medio de la cual se identificó, analizó y evaluó la literatura relevante y necesaria para determinar que el sistema de filtración descentralizado garantiza el agua en la vereda Alto Guapaya.

5.2. Población de estudio y muestra

Artículos científicos publicados entre los años 2011 y 2021 en los cuales se realizan estudios relacionados con las tecnologías utilizadas en el prototipo sistema de filtración descentralizado que diseñó Rodríguez A (2020). Las tecnologías de las cuales se hizo la revisión son: bio-filtro de arena, carbón activado y cloración en zonas rurales. Se buscó la información en las bases de datos Scopus, EBSCOhost, Proquest y ScienceDirect, incluyendo como tipos de publicaciones los artículos de revisión y artículos de investigación.

5.2.1. Criterios de inclusión

- Publicaciones que estaban en inglés o español
- Estudios con fecha de publicación entre 2011 y el 2020
- Publicaciones con intervenciones en las tecnologías ya especificadas.
- Artículos donde el objeto el tipo de tecnología de tratamiento haya sido en laboratorios o principalmente en zonas rurales.
- Artículos que en su título, resumen o palabras clave contuvieran alguna(s) de la(s) palabras con las cuales se hizo la búsqueda.
- Artículo en donde se referencie la eficiencia en la eliminación de contaminantes microbiológicos del agua,
- Artículo en donde se haya reportado el funcionamiento y mantenimiento del tipo de tecnología utilizada en el prototipo planteado.

5.2.2. Criterio de exclusión

- Publicaciones en idiomas diferentes al español o inglés
- Estudios publicados antes del 2010
- Reportes de congreso, estudios de casos, editoriales, cartas al autor y notas periodísticas

5.2.3. Estrategias de búsqueda

Los términos claves utilizados en el proceso de búsqueda fueron agrupados según los materiales de uso escogidos en el filtro con el fin de enriquecer la cadena de consulta con sinónimos y/o palabras claves. (Tabla 1)

Tabla 1. Términos de referencia usados para rastrear información en bases de datos

Tecnología	Términos claves
Sand filter	Bio filtration, Bio-sand filter, drinking water, water supply, use, maintenance, rural zone, water filtration, household scale, surface water, social technology.
Activated carbon filter	Activated carbon, biological activated carbon, bio filtration, Drinking water treatment, GAC, Water treatment process, Bacterial regrowth, Biodegradable organic matter, rural zone, use.
Chlorination	Chlorination, rural zone, Drinking water, Desinfection by products, pathogen destruction, Water treatment, Water quality, rural zone

5.3. Recolección y proceso de elegibilidad de la literatura

La recolección y elección de datos se hizo de la siguiente manera: 1) Cadenas de búsqueda teniendo en cuenta los términos claves (Tabla 1). 2) Utilización de operadores booleanos junto con truncamientos según corresponda, estableciendo descriptores de búsqueda. 3) Delimitación de referentes bibliográficos a partir de idioma y año.

La elegibilidad, se examinó mediante la verificación de títulos y resúmenes de documentos encontrados, determinado así, si se cumple los criterios de selección ya establecidos. Posteriormente los referentes que pasaron la primera revisión se examinaron de manera completa incluyendo título, resumen y el resto del texto. Los artículos escogidos a partir de la búsqueda bibliográfica se muestran en una tabla de conocimientos (Anexo 2) en el programa de Microsoft Office Word 2016 versión 16.0.5161.1000.

5.4. Metodología utilizada para el muestreo y análisis del agua de la vereda de Alto Guapaya

En complemento al primer objetivo se realizó un análisis del agua que consume la comunidad, con fin de comprobar que el sistema de filtración descentralizado respondería al problema de posible contaminación microbiana. En las zonas rurales de Colombia, la cobertura del servicio de acueducto no alcanza a cubrir la mayoría de zonas rurales, por tal motivo en sistema de obtención de agua por el que optó la comunidad de Alto Guapaya es a partir de una fuente de agua superficial, una quebrada que los habitantes la apodan caño Julio, como se ve en la **Figura 1**, el tubo que se ve en la parte derecha está conectado a un tanque desarenador que se ve en la **Figura 2**, este tanque desarenador es el único tratamiento de filtración que se observa para mejorar la calidad del agua que se dispone para el consumo y actividades cotidianas en esta comunidad



Figura 1.Caño Julio y Tubo de donde se transporta el agua. Fuente Deyci Rodriguez 2021



Figura 2. Tanque desarenador utilizado por la comunidad como tratamiento único del agua que se consume. Fuente Deyci Rodriguez 2021

El muestreo se hizo a partir de 5 lugares representativos, el lugar de captación previo al tratamiento filtración, decantación y conducción, punto de recepción en la escuela de la vereda, el salón comunal viviendas de los habitantes de la comunidad. Se recolectó una muestra de 100ml por triplicado teniendo en cuenta la temperatura el pH del agua en cada punto como se muestra en la tabla 2. Se tomaron volúmenes de 250 ml en recipientes estériles siguiendo el protocolo de toma de muestras (Rodger B. Baird, Andrew D: Eaton, 2017). Una vez recolectadas las muestras fueron llevados al laboratorio bajo condiciones de refrigeración para su posterior análisis.

Para el análisis de las muestras se escogió el método de filtración por membrana para la identificación simultánea de coliformes totales y *Escherichia coli*. Debido a la procedencia de las muestras (agua no potable) proveniente de una fuente de agua superficial (caño Julio) con un único

tratamiento captación, filtración rejilla y tanque desarenador, se tomaron muestras en frascos estériles y se conservaron bajo condiciones de refrigeración durante el transporte para su posterior análisis, se realizaron diluciones seriadas base 10 de las muestras hasta 10^{-3} utilizando agua peptonada. Las muestras diluidas se filtraron en un equipo de filtración por membrana por medio de una bomba de vacío en condiciones de esterilidad y posteriormente, con ayuda de pinzas estériles los filtros de nitrocelulosa (0.45 μm de poro) se colocaron en agar cromógeno Colinstant de la casa comercial Microinstant[®]. Las muestras se incubaron a 37°C por 24 horas y posteriormente se realizó el conteo de las colonias con características de crecimiento como Coliformes totales y *E. coli*.

5.5. Técnicas de análisis microbiológicos para agua

En complemento con el segundo objetivo específico, para los lineamientos para el óptimo funcionamiento del sistema de filtración se hizo una revisión de los métodos disponibles para análisis de calidad de agua con el fin de determinar el mejor método de análisis y así determinara la calidad del agua. Como referente nacional, se tomó en cuenta las técnicas utilizadas para diferentes tipos de muestras de agua avalados por la resolución 2115 de 2007 y el protocolo de procedimientos de pruebas microbiológicas alternativas (ATP) de la EPA para métodos de monitoreo de agua potable, agua ambiental, aguas residuales y lodos de aguas residuales para determinación del mejor método utilizado para analizar las muestras del agua utilizada en la comunidad de Alto Guapaya de Vista Hermosa, Meta.

5.6. Acercamiento a la Comunidad

Con el propósito de realizar sensibilización frente al buen uso del agua para la comunidad, de manera presencial se planearon actividades con los niños de la escuela de la vereda de Alto Guapaya, haciendo énfasis en el cuidado del agua, sobre los riesgos de no cuidarla y como conservarla. El Material (talleres) fueron enviados a la comunidad para su seguimiento y acompañamiento. Igualmente, se capacitó de manera presencial acerca del ciclo del agua e importancia de éste recurso el entorno.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Características de la muestra para revisión de literatura

Se recuperaron un total de ciento veintinueve (129) artículos potenciales relevantes de las bases de datos, de estos se omitieron un total de once (11) artículos repetidos en las bases de datos. De estos se excluyeron cincuenta y dos (52) que no cumplían los criterios de inclusión: bien porque el tema tratado pertenecía claramente a otras áreas, o porque en aquellos casos en los que podía haber cierta duda sobre el contenido del artículo. Se seleccionaron 32 estudios para revisar el texto completo, a los que se añadieron 2 procedentes de las referencias bibliográficas y que cumplían todos los criterios de inclusión, quedando al final 38 (el Anexo 1 contiene la lista completa de las referencias), según se puede observar en la **Figura 3**.

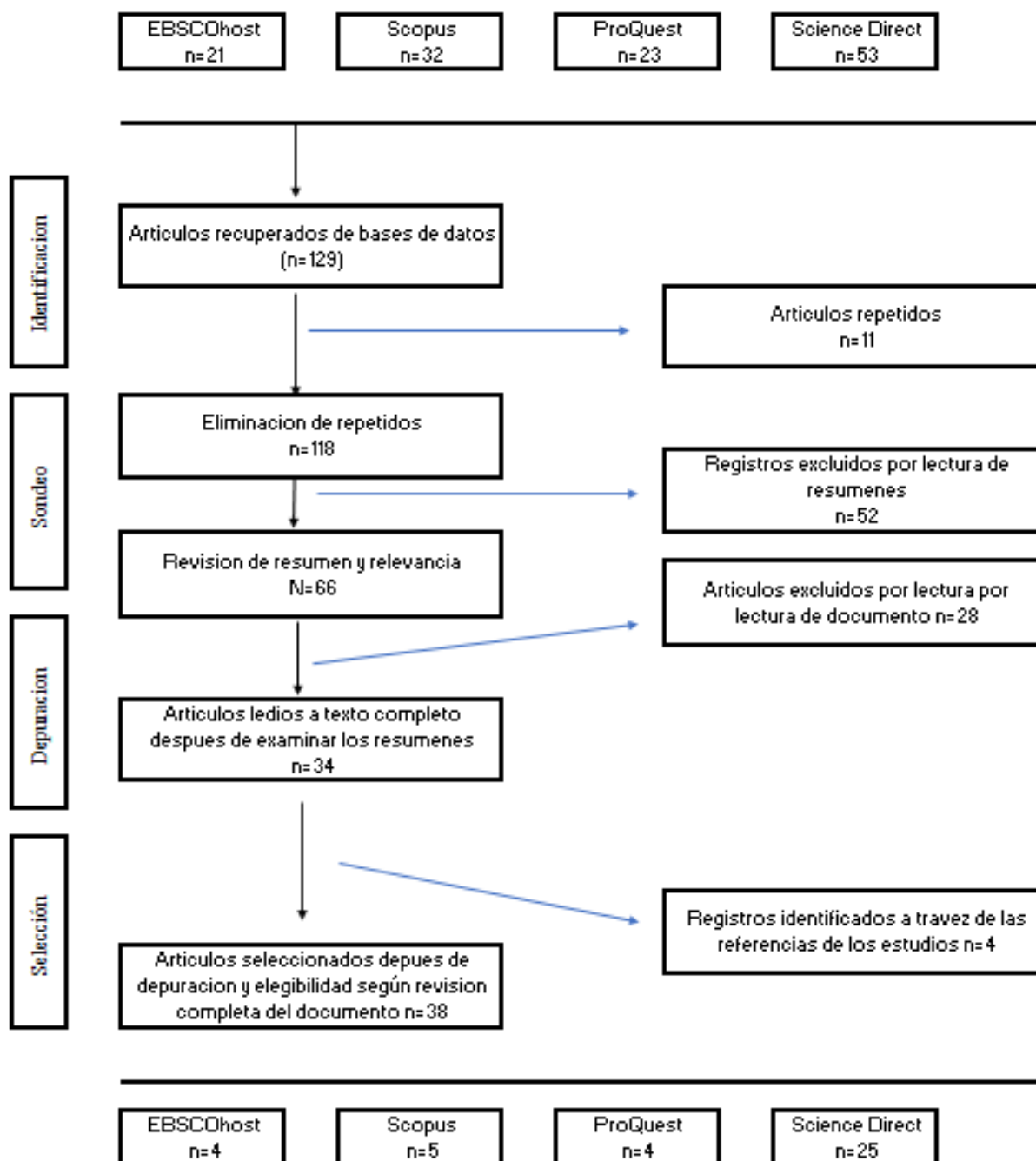


Figura 3. Diagrama de Flujo de Selección de artículos

De la totalidad de los artículos seleccionados (38), 4 fueron tomados de EBSCOhost (11%), 4 de Proquest (11%), 5 de Scopus (13%) y 25 de Science Direct (65%). El rango de años de los años fue de 2011-2021, donde el año 2020 fue donde se encontraron mayor cantidad de publicaciones con 15 artículos, seguida del año 2021 con 6 artículos (**Figura 4**).

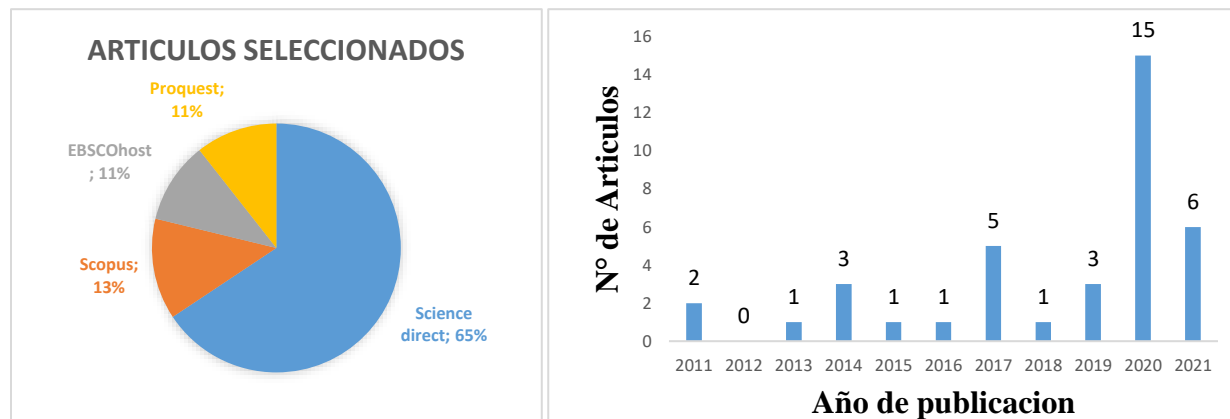


Figura 4. Distribución de los artículos por años (A) y Base de Datos (B)

6.1.1. Tecnologías del prototipo del sistema de filtración descentralizado

Con respecto a las tecnologías que serán utilizados en el prototipo sistema de filtración descentralizado (bio-filtración con arena, filtración con carbón activado biológicamente y cloración) propuesto por Rodriguez A (2020), a continuación, se hará un análisis sobre su aplicación y operación, haciendo énfasis en la reducción de indicadores microbiológicos, de tal manera que al final se pueda determinar si las tecnologías son óptimas y el diseño planteado podría llegar a disminuir en la incidencia de enfermedades intestinales o infecciosas que se transmiten a través del agua.

6.1.2. Filtros de arena

En la primera fase del prototipo del sistema de filtración descentralizada planteado por Rodríguez A. (2020), la primera tecnología utilizada es el filtro de arena lenta, el cual es descrito como una de las tecnologías de tratamiento descentralizado que es más eficaz para el tratamiento de agua potable, ya que el costo de construcción es bajo, los materiales por lo general están disponibles fácilmente en el mercado, y su implementación perdura en el tiempo, por lo que su uso en zonas rurales puede considerarse como una solución para para las personas que habitan estos sectores, pues es común que en estos lugares el único acceso al agua que se tenga es a aguas superficiales o subterráneas sin tratamiento (Mutemi *et al.*, 2020). Sin embargo, para que el bio-filtro funcione en óptimas condiciones es necesario que sea operado de manera adecuada, y además se le brinde el mantenimiento periódico que requiere tal manera que no se afecte la parte biológica (*schmutzdecke*) y por lo tanto reducir la eficacia en la reducción de sustancias químicas y microorganismos patógenos.

Este tipo de filtros de arena con medios granulares activos biológicamente generalmente tienen una base de hormigón o plástico llena del medio escogido esto según el modo de instalación y del transporte ya que el hormigón o cemento si bien pueden ser más resistentes que el plástico es más

fácil de trasladar e instalar, aunque su construcción se debe ajustar dependiendo de las características de la cantidad de agua a tratar (Vega Serrano, 2013). Esta base está llena ya sea arena o roca triturada con una capa de grava que se utiliza como base, estos están equipados con un tubo de descarga elevado para mantener una capa de agua sobre la superficie biológica.

La operación del filtro también depende del tipo del medio filtrante, por lo tanto el tamaño de los granos de arena influyen en los resultados esperados, debido a que al reducir el tamaño del grano del medio, se incrementa la eficiencia del filtro, la remoción de sólidos suspendidos totales que están correlacionados con la turbidez es mejor cuando se utiliza medios filtrantes más finos, sin embargo mientras menor sea el tamaño del grano, se requerirá una limpieza más frecuente del filtro (Verma *et al.*, 2017). La filtración con arena consiste en un conjunto de procesos fisicoquímicos y biológicos para el tratamiento del agua (Singer *et al.*, 2017) (J. Wang *et al.*, 2020), dentro de los procesos físicos incluyen la retención de partículas más grandes en los poros del medio filtrante y la adsorción que permiten la eliminación de materia orgánica y también algunos metales pesados tales como el hierro (Agrawal *et al.*, 2020) Por otra parte, los mecanismos biológicos incluyen la depredación donde los microorganismos se eliminan unos a otros en la biocapa, eliminación, muerte / inactivación natural debido a que se quedan atrapados en la arena por ser demasiado grandes o porque se quedan pegados a la arena y no tienen nutrientes disponibles en el medio filtrante para metabolizar (Pfannes *et al.*, 2015) (Napotnik *et al.*, 2021). Debido a la combinación de los procesos biológicos y físicos como señala Laisheng Liu *et al.* (2019), se muestra la eficiencia se dé la remoción de amoníaco-nitrógeno, fluoruros, Cu_2 , Fe_2 , Cu_2 , Mn_2 , Pb_2 , y por lo tanto también parámetros como la turbidez se disminuyen a más del 59% incluso en aguas residuales (Sabogal-Paz *et al.*, 2020) (Liu *et al.*, 2019).

En la capa superficial de la arena es donde se forma la capa biológica constituida por material de origen orgánico, conocido como *schmutzdecke* (Agrawal *et al.*, 2020), ésta se genera en el transcurso de *dos* semanas o más de un mes, dependiendo los niveles de microorganismos, nutrientes y oxígeno en el agua; los volúmenes y la frecuencia del agua de carga; y la temperatura ambiente (H. Wang *et al.*, 2014) (Guan *et al.*, 2020). Es aquí, donde se realizan los procesos biológicos. Este *schmutzdecke* o capa biológica está formado principalmente por algas y otras numerosas formas de vida, como plancton, diatomeas, protozoarios, rotíferas y bacterias contenidas en el agua problema, estos microorganismos digieren y degradan la materia orgánica contenida en el agua. Esta comunidad microbiana en los filtros depende de la composición de nutrientes del agua que fluye a través de los filtros, sin embargo, según estudios de Pycke Boon *et al.* (2019), dentro de estos microorganismos principales que se encuentran en filtros de arena lento están *Pseudomonas* spp., *Pedomicrobium* spp., *Nitrospira* spp., *Legionella* spp.,

La arena fina aquí actúa como medio filtrante ésta permite la formación de *schmutzdecke*, la capa de suciedad biológicamente activa juega un papel importante en la eliminación de patógenos o hace que en este tipo de filtros se puedan eliminar coliformes totales, *Escherichia coli* y *Cryptosporidium* sp. y quistes de *Giardia* sp. , entre otros indicadores de patógenos biológicos (de Souza *et al.*, 2021), en el estudio de Stanford Mutemi *et al.* (2021), se observa que hubo una eliminación del 30% de coliformes fecales al principio de la filtración, después de desarrollarse el *schmutzdecke* la eliminación aumento de manera constante hasta llegar al 99,2 %.

Cabe resaltar que otro factor que influye en la eliminación de microorganismos, es el flujo del agua y la cantidad de agua tratada, como se evidencia en el estudio de Young-Rojanshi *et al* (2014), donde sus resultados presentan la evidencia de que los biofiltros de arenas operados de manera continua y de manera intermitente eliminan de forma eficiente tanto *E. coli* como bacteriófagos. El mayor resultado fue con el bio-filtro de arena operado de forma continua donde se observa un resultado de eliminación de *E. coli* de 96% en comparación con el intermitente que obtuvo porcentaje de eliminación del 86% de *E. coli* (Young-Rojanschi & Madramootoo, 2014).

El momento cuando el *schmutzdecke* entra en período de maduración o aclimatación, es donde la eliminación de microorganismos y sustancias aumenta exponencialmente. Sin embargo, a medida que se acumulan los microorganismos, sólidos y otras sustancias que si bien aumenta la eliminación de microorganismos, se disminuye el caudal de salida y por lo tanto no produce suficiente agua para la comunidad que lo esté utilizando (Singer *et al.*, 2017). Es en este punto, donde es relevante realizar el mantenimiento de la superficie de la arena, los métodos comúnmente utilizados son (i) agitación de la superficie (también conocida como rastra húmeda); (ii) el método de agitación de 5 cm (SM); y (iii) el método de remoción de 5 cm.

Para este filtro se propone el método de remoción de 5cm de la capa superior del lecho, el cual se tiene en cuenta el cambio de la arena usada por una nueva última, teniendo en cuenta que esta arena nueva no tiene microorganismos estabilizados y por lo tanto no efectúa procesos de descontaminación biológica, se propuso raspar una capa adicional de 5 cm del sistema de filtración, y disponerla encima del nuevo material, esto con el objetivo de acelerar la maduración del filtro la arena, ya que al no hacerlo puede reducir las tasas de eliminación y como resultado, las tasas de eliminación de patógenos como *E. coli* pueden caer hasta un 85% (Singer *et al.*, 2017).

Por lo tanto, el uso de este filtro de arena es un acierto en el sistema de filtración descentralizado, ya que no implica un gran costo de construcción, no es un sistema complicado de utilizar ni de realizar mantenimiento, es un sistema que ayudara a reducir carga microbiológica como lo confirma Kennedy *et al.* (2013), donde se ha demostrado que con este tipo de filtros más la adición de desinfectantes químicos se puede lograr una reducción del 93-99,99% de coliformes fecales (FC) y *Escherichia coli* (Haig *et al.*, 2011) (Kennedy *et al.*, 2013), esta reducción llegaría a cumplir la normativa propuesta por la **Resolución n.º 2115 de 2007** proferida por el Ministerio del Medio Ambiente que trata sobre la reglamentación del agua de consumo.

6.1.3. Filtros de carbón activado

En la cuarta fase del prototipo del sistema de filtración descentralizada planteado por Rodríguez E. (2020) se encuentra la tecnología del carbón activado (AC), este se usa generalmente en el tratamiento de agua para consumo el cual es ampliamente utilizado e investigado, esto ya que captura iones metálicos, inorgánicos, orgánicos y tóxicos que contaminan fuentes de aguas. Los AC se encuentran en diferentes presentaciones comercialmente como en polvo (PAC), granulados (GAC) y dependiendo su uso con diferentes rangos de porosidad (Gilca *et al.*, 2020). El proceso de adsorción del AC depende principalmente de la superficie, el volumen y estructura de poros y la distribución del tamaño de los poros en relación con el peso molecular de la sustancia que este filtrando (Lu *et al.*, 2020). Por si solo el filtro de carbón activado no tiene la capacidad de eliminar

todo tipo sustancias orgánicas y tampoco eliminar todo tipo de microorganismos ya que éste va perdiendo su capacidad de adsorción a medida que se va acumulando la materia orgánica. Sin embargo, esto no es del todo malo ya que, también hay acumulación de microorganismos que ayudan en la degradación de contaminantes y prolongan la vida útil del carbón activado (Ross *et al.*, 2019).

En la filtración con GAC se adsorben fácilmente componentes orgánicos del agua, dependiendo de la cantidad de sustancias que este adsorba con el tiempo se va saturando con compuestos orgánicos formando una capa biológica; los microorganismos que se encuentran en esta capa biológica eventualmente llenan los poros y las superficies del AC con biomasa y bio-película, estos microorganismos presentes pueden degradar los compuestos atrapados convirtiéndolos en nutrientes (Korotta-Gamage & Sathasivan, 2017) (Abu Hasan *et al.*, 2020). La combinación entre los mecanismos de adsorción del carbón activado y la biodegradación de bacterias aumenta la remoción de contaminantes y sustancias orgánicas (Zhiteneva *et al.*, 2020). Al pasar por el filtro las sustancias se concentran en la superficie de GAC donde se encuentra en mayor medida la bio-película y los microorganismos, esto genera mayor tiempo de contacto entre los compuestos y los microorganismos y por lo tanto mayor tiempo de degradación esta biodegradación en la capa biológica induce una bio-regeneración del carbón activado y por lo tanto, aumentaría la vida útil del filtro a causa de que las enzimas provenientes de la desintegración celular y las secretadas por bacterias que liberan sitios de adsorción del CA impulsando la vida útil del filtro y su eficacia en la reducción de sustancias contaminantes (Korotta-Gamage & Sathasivan, 2017) (Piai *et al.*, 2020).

El sistema de carbón activado biológicamente (BAC) gracias a la degradación microbiana ha demostrado reducir compuestos nitrogenados, materia orgánica natural (NOM), fósforo, metales, compuestos fenólicos micro contaminantes de origen natural y antropogénicos como los de origen farmacéutico (ibuprofeno, lopermida) (García *et al.*, 2021) (Cuthbertson *et al.*, 2020) (McKie *et al.*, 2016). Por otra parte, el filtro tipo BAC *ha sido utilizado para la* degradación de subproductos del tratamiento con desinfectantes a base de cloro, que reacciona con la NOM, bromuros, yoduros, detergentes, pesticidas y productos farmacéuticos presentes en el agua formando variedad de productos que pueden llegar a producir malos olores, sabores e incluso estos subproductos de desinfección regulada (DBP) se han llegado a asociar a la generación de cáncer de vejiga, aborto espontáneo y defectos de nacimiento (Gilca *et al.*, 2020). Esta tecnología se puede usar antes y después del proceso de desinfección, esto debido a sus eficiencia en la biodegradación y la adsorción de fracciones pequeñas de NOMs y de DBPs, sin embargo las partículas NOM pueden llegar a ser precursoras de DBP y por lo tanto si el agua que se está tratando no tiene muchos contaminantes o pasa por pretratamientos para eliminar las partículas NOM se podría llegar a no tener la necesidad de utilizar químicos adicionales durante el tratamiento de desinfección (MacKeown *et al.*, 2020). Por otro lado, en el estudio de Amy Cuthbertson, *et al.* (2020), se mostró una reducción de DBP comparando un sistema de filtración solamente GAC con uno BAC después de un proceso de cloroaminación, el sistema de filtración BAC se mantuvo estable y logró eliminar la mayoría de compuestos de DBP como tricloroacetaldehído, bromodichloroacetaldehído, bromocloroacetamida y trihalometanos entre un 70 - 100% (Cuthbertson *et al.*, 2020) esto demuestra que su uso en los pasos finales de un tratamiento puede ser decisivo para considerar el agua tratada como segura.

Por lo tanto, el uso de BAC en el sistema de filtración descentralizada es un acierto ya que en combinación con el filtro de arena y la desinfección por cloro es efectivo para la eliminación de compuestos orgánicos e inorgánicos que puedan quedar después del tratamiento con los otros dos tipos de métodos, aseguran no solamente el olor y sabor del agua, sino que el agua sea segura para quienes la consuman (Organización Mundial de La Salud, 2011).

6.1.4. Cloración

En la segunda fase del prototipo del sistema de filtración descentralizada planteado por Rodríguez E. (2020), se utiliza la cloración como sistema para asegurar el agua de consumo microbiológicamente segura. El proceso de desinfección es una prioridad en cualquier sistema de tratamiento de agua, la reducción de microorganismo patógenos y no patógenos es una operación fundamental que disminuye la aparición enfermedades graves transmitidas por agua (OMS, 2011). Los desinfectantes químicos más comunes son a base de cloro (cloro dióxido de cloro, sales de hipoclorito) y que suelen ser de bajo costo, fácil manipulación y altamente efectivos frente a la inactivación de microorganismos no patógenos y patógenos, además de que impide su proliferación debido a que se mantienen concentraciones de cloro residual mientras esta en la red de distribución (Sikder *et al.*, 2020). Este proceso sin embargo puede llegar a dejar subproductos de la desinfección (DBP) que en algunos casos pueden llegar a provocar efectos adversos y riesgos en la salud humana (Gilca *et al.*, 2020), la combinación de materia orgánica (NOM) que se puede encontrar en al agua cruda y el cloro produce estos DBPs, no obstante, si el proceso no entra en contacto directo y se utiliza pretratamientos para disminuir la materia orgánica, se reduce en gran medida la generación de estos DBPs y por lo tanto reduciendo el riesgo otras estrategias de minimización de DBPs está el uso de filtración biológica y no biológica con medios filtrantes granulares como arena o carbón activado, donde de los precursores de DBPs y los DBP se eliminan por adsorción y/o actividad de los microorganismo presentes en los medios granulares (Mazhar *et al.*, 2020). Estos sistemas de filtración son utilizados antes y después del proceso de cloración en el sistema de filtración descentralizado para la vereda de Alto Guapaya.

Si bien este proceso avalado por la OMS y tiene estudios hechos en condiciones de laboratorio que lo certifican como tratamiento de agua eficaz para obtener agua segura microbiológicamente, la calidad del proceso de cloración y la formación de sus productos puede variar en según las características del agua a tratar como la turbidez, pH, y temperatura (Levy *et al.*, 2014), adicionalmente el evitar la contaminación con químicos antropogénicos como pesticidas, farmacéuticos y otros detergentes también reduce la formación de DBPs que pueden llegar a ser nocivos y muta génicos (Li *et al.*, 2021).

Por otra parte, el mecanismo de acción del cloro sobre las células bacterianas está relacionado con el daño oxidativo de las membranas, ADN, proteínas, aminoácidos, paredes celulares y lípidos, más exactamente como lo describe Ofori Isaac *et al.* (2017) la combinación de la inhibición de las actividades enzimáticas y el aumento de la permeabilidad celular que altera la integridad de la membrana citoplasmática es lo que causa la muerte celular y por lo tanto, reduce la viabilidad celular por lo menos en Gram negativos como *E. coli* (Ofori *et al.*, 2017). Sin embargo, la exposición requerida para la inactivación de microorganismos depende también del tipo de microorganismo ya que según Cheswick *et al.* (2020), especies como *Staphylococcus epidermidis*

son 10 veces más resistentes al cloro que *Escherichia coli*, incluso, el *Mycobacterium aurum* es 1000 veces más resistente que este mismo elemento.

En consecuencia, es necesario tener en cuenta cuatro factores abióticos con respecto al cloro, los cuales son: la concentración, el tiempo de exposición, la temperatura y el pH. En la práctica esto se logra con el concepto de “CT” el cual se refiere al tiempo de contacto suficiente para que ocurra la reacción y el tiempo de residencia del cloro en el agua y el desinfectante a un pH fijo (Cheswick *et al.*, 2020). Según la OMS se recomienda una concentración de cloro libre del 0,5mg/L, donde la concentración de cloro libre es de 0,5 mg / L, el tiempo de residencia es de 30 min y el pH del agua es inferior a 8 con turbidez ≤ 1 (OMS, 2011).

En conclusión, la implementación de un sistema de cloración con hipoclorito de calcio en la segunda fase del prototipo de Rodríguez A. (2020), resulta apropiado para los fines buscados, pues lograría disminuir e inclusive eliminar microorganismos patógenos, el uso de tabletas de cloro en el sistema de filtración descentralizado es idóneo ya que como se demuestra en el estudio de D. Orner Kevin *et al.* (2017), además de eliminar microorganismo en el clorador, mantenía una concentración de cloro residual apropiada para evitar el crecimiento de bacterias patógenas como *E. coli*, *Salmonella Typhi* (Orner *et al.*, 2017), por consiguiente se podría llegar a cumplir los parámetros microbiológicos propuestos en la **Resolución n.º 2115 de 2007** del Ministerio del Medio Ambiente.

6.1.5. Análisis de las técnicas de tratamiento

El prototipo del sistema de filtración descentralizado propuesto por Rodríguez A. en 2020, se divide en cuatro fases de las cuales 3 son la tecnología evaluada, incluye filtración por medio granular con arena, cloración por medio de pastillas y filtración con carbón activado en membrana. Cada una de estas tecnologías gracias a su fácil adquisición, fácil uso, mantenimiento y sinergia entre si son apropiadas en el prototipo para el uso de la comunidad de Alto Guapaya.

De acuerdo a la búsqueda de referentes bibliográficos la filtración por medio de bio-arena logra retener partículas pequeñas, elimina y degrada sustancias químicas, compuestos orgánicas y microorganismos que pueden estar presentes en el agua, además la formación del *schmutzdecke*, que aumenta su capacidad de adsorción y eliminación de microorganismo patógenos se convierte en parte importante del tratamiento (Siwila & Brink, 2019), sin embargo, este tratamiento tiene la deficiencia de no poder eliminar la totalidad de microorganismos presentes, además, no tiene manera de evitar contaminación posterior al tratamiento. Es en este último aspecto, es en donde la cloración juega un papel importante, pues al ser un método de desinfección que puede lograr eliminar la mayoría de los de los microorganismos que quedaron posterior al tratamiento de filtración con arena y debido a los subproductos que se generan, mantienen la inocuidad del agua evitando la re contaminación (Mazhar *et al.*, 2020) debido a que en la fase de almacenamiento todavía hay cloro residual que ejerce un tiempo de contacto más largo, hasta el momento en que pase por el tratamiento con carbón activado que es el momento en que el que se puede consumir el agua.

Por último, el uso de carbón activado se describe como un tratamiento que logra eliminar subproductos de la desinfección, y ya que en la fase 2 del prototipo se realiza el proceso de

cloración es acertado debido a que podría llegar a eliminar los subproductos más tóxicos provenientes de la desinfección con hipoclorito de calcio, además que mejora el sabor y el color del agua para su consumo (Gilca et al., 2020).

Cabe resaltar que la eficiencia de sistema de filtración depende del cuidado y mantenimiento que la comunidad tenga con el prototipo, ya que el agua se podría contaminar con la acumulación de impurezas químicas y microbiológicas dentro de los filtros, reduciendo la cantidad del agua que se pueda obtener del sistema además de estar contaminada (Alsulaili *et al.*, 2020). Por otra parte, los materiales usados en la construcción del sistema de filtración son de fácil adquisición, transporte e instalación, y como se demuestra en la literatura, no presentan riesgo para el sistema, además de que incluso las tuberías de cloruro de polivinilo suelen estar cubiertos con una chaqueta de fibra de vidrio, plástico negro, cinta negra, o papel de aluminio, evitando el crecimiento de algas, que de otra manera podrían interferir con el proceso (Verma *et al.*, 2017).

6.2. Verificación del Agua en Alto Guapaya

Los indicadores microbiológicos de calidad de agua son organismos que tienen un comportamiento similar a microorganismos patógenos, tanto su procedencia, como concentración, su hábitat y reacción a factores externos que pueden llegar incluso a ser iguales en ciertos caso (Ríos-Tobón *et al.*, 2017), el género *Escherichia* en Colombia, según el Decreto 1575 de 2007 (Ministerio de la protección social, 2007). La mayoría de los microorganismos en el agua potable tratada son relativamente inofensivos, sin embargo, pueden surgir brotes de enfermedades asociados a muestras de agua tratada debido a un tratamiento de agua comprometido (Deshmukh *et al.*, 2016). En el recorrido al sistema de distribución del tubo principal se encontraron fugas y conexiones que pueden llegar a ser defectuosas, por tal razón se hicieron 5 muestreos en el mes de abril de 2021 cerca a temporada de lluvias para analizar la presencia de indicadores microbiológicos, como se observa en la **Tabla 2**. están los lugares de muestreo, el número de réplicas y la temperatura y pH del agua que se recolecto en los puntos de muestreo.

Tabla 2. Muestras tomadas en la vereda Alto Guapaya.

Nº Muestra	Punto de muestreo	Temperatura °C	pH	Réplicas
1	Caño julio	24	7,5	3
2	Tanque Escuela	25	7,5	3
3	Salón Comunal	25	7,5	3
4	Casa 1	30	7,2	3
5	Casa 2	30	6,8	3



Figura 5. Fuga del tubo principal que lleva el agua a la comunidad. Fuente Deyci Rodriguez 2021



Figura 6. Conexión de agua hacia la escuela. Fuente Deyci Rodriguez 2021

Todas las muestras recolectadas en la vereda de Alto Guapaya estaban contaminadas microbiológicamente, los valores obtenidos excedían el valor establecido por la **Resolución n.º 2115 de 2007** p, tal como se puede corroborar en los datos de la **Tabla 3**. En este sentido, de los cinco lugares muestreados, se observa presencias coliformes totales y en 4 de las 5 muestras la presencia de *Escherichia coli*, esto indica un deterioro en la calidad del agua por el crecimiento bacteriano o contaminación durante o posteriormente al tratamiento con el tanque desarenador. Si bien los coliformes también se pueden encontrar en entornos naturales y no son prueba definitiva que hubiera contaminación fecal (Saxena *et al.*, 2015), son prueba de que el sistema de tratamiento adoptado no es suficiente para eliminar los microorganismos presentes en el agua del caño Julio.

Tabla 3. Conteo de colonias obtenidas a partir del análisis de Filtración por membrana

Muestra	Recuento UFC/100ml Coliformes	Desviación estándar	Coefficiente de variación	Recuento UFC/100ml <i>E. coli</i>	Desviación estándar	Coefficiente de variación
1	$3,8 \times 10^3$	655,74	17,25	1×10^2	100	100
2	$3,4 \times 10^3$	866,03	25,47	1×10^2	57,73	173,21
3	$3,3 \times 10^3$	793,73	24,05	> 100	0	0
4	$4,6 \times 10^3$	360,56	7,84	3×10^2	100	33,33
5	$7,0 \times 10^3$	550,76	7,83	4×10^2	100	10

Por otra parte, el crecimiento de *E. coli* es prueba de que hubo contaminación de origen fecal, tal como se muestra en la **Figuras 5 y 6** que solo hubo un lugar donde no hubo presencia de *Escherichia coli*, con respecto a la muestra 2 y 3 hay una reducción de *Escherichia coli* y una muy baja de coliformes fecales, esto puede deberse al tanque desarenador, fugas de agua durante el sistema de distribución, entre otros factores ambientales; que si bien no cumple una función de filtración biológica y su función es retener aceites y compuestos y sustancias y podría afectar la calidad del agua como se demuestra en el estudio de Ávila de Navia Sara *et al.* (2016), hay una pequeña reducción de concentración de microorganismo después de pasar por el desarenador. De acuerdo con la comunidad la frecuencia de mantenimiento del acueducto Caño Julio es semanal.

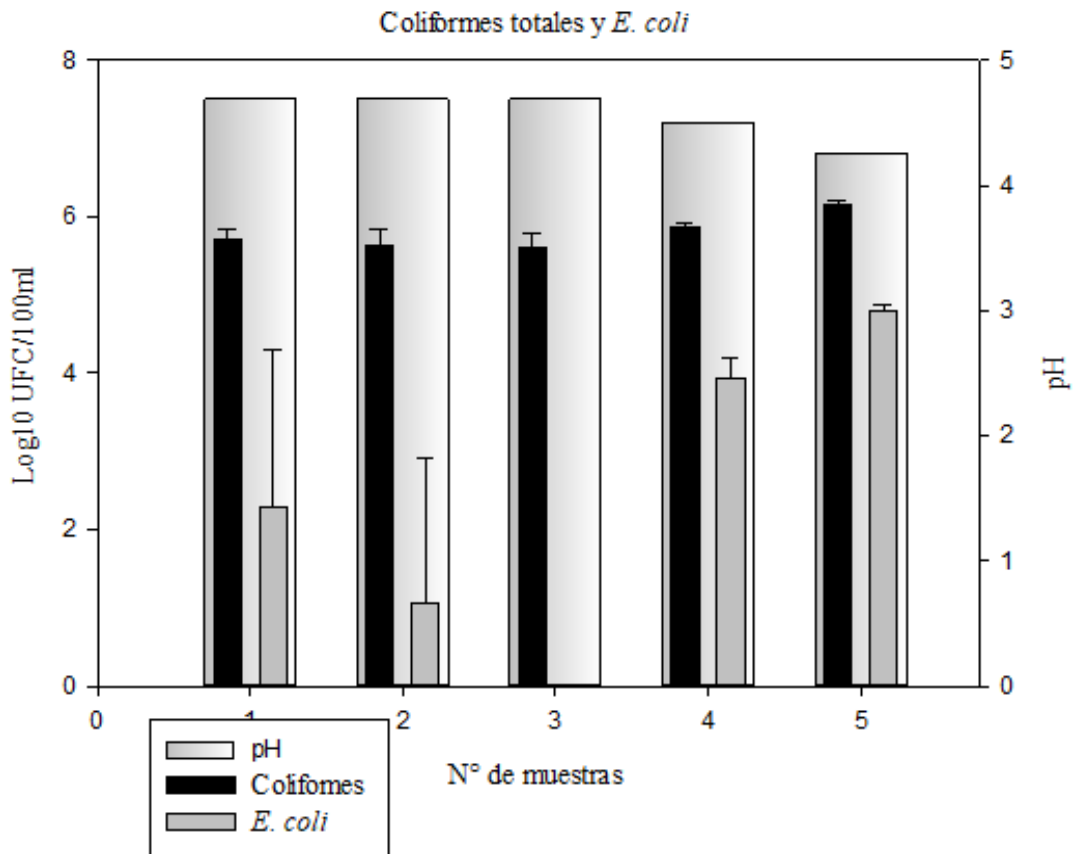


Figura 7. Resultados de análisis microbiológicos del agua Grafica en UL del recuento obtenido a partir de la técnica de filtración por membrana

Ahora bien, el aumento de *E. coli* en las muestras 4 y 5 puede obedecer a las conexiones inadecuadas y las fugas evidenciadas a la manguera principal como se pudo observar en la **Figura 5**. Estos resultados también se denotan en las pruebas de pH en campo hechas, las cuales mostraban un valor menor al valor de pH de agua potable posiblemente por la contaminación con materia orgánica que reduciría el pH (Bianco *et al.*, 2020), a comparación de las muestras 1, 2 y 3 que tienen un valor de pH conforme a los valores permitidos por la legislación colombiana.



Figura 8. Pruebas de pH mediante kit de campo muestra 5.
Fuente Deyci Rodriguez 2021



Figura 9. Pruebas de pH mediante kit de campo muestra 1. Fuente Deyci Rodriguez 2021

Los análisis hechos en laboratorio, permiten determinar que el agua que obtiene del caño Julio en la vereda de Alto Guapaya, existe presencia de coliformes y de *Escherichia coli*, resultados que son indicativos de contaminación tanto ambiental como fecal, lo que implicaría que su consumo sin cuidado y sin efectuar métodos de desinfección como el hervir el agua, la filtración y cloración, pueden llegar a presentar problemas de salud en la comunidad y niños.

En este sentido, la implementación del sistema de filtración descentralizado llega como posible solución para disminuir más la carga microbiana y mejorar la calidad de vida, ya que la combinación de la filtración con arena que puede eliminar tantas partículas pequeñas como más del 90% de patógenos y compuestos químicos (Mutemi *et al.*, 2020a). De igual manera, la cloración ayuda a eliminar el 100% del microorganismo ya que los inactiva y garantiza un efecto residual que no permite el recrecimiento de microorganismos (Gilca *et al.*, 2020). Por último el carbón activado que, si bien actúa como un proceso complementario, ayuda al mejoramiento de las características físico-químicas del agua tratada mejorando tanto su olor como sabor gracias a sus cualidades de adsorción (Ross *et al.*, 2019). Cabe recalcar que cada una de estas tecnologías utilizadas son catalogadas como económicas, fáciles de usar y de mantener a través de los años.

6.3. Consideraciones de uso y mantenimiento de agua

El agua es un recurso natural preciado pero vulnerable, no obstante, la contaminación originada tanto por el mismo ambiente como por la humanidad, afecta su calidad y, en consecuencia, puede terminar perjudicando a las personas que por una u otra razón la consumen, pues ocasionaría una o varias enfermedades. Por tal razón su tratamiento antes del consumo es necesario, llevar a cabo ciertos procedimientos para eliminar residuos, microorganismos y mejorar su calidad en cuanto a su sabor, color, olor, apariencia de tal forma que el momento de utilizarla para su consumo o actividades cotidianas, o uso agrícola no se corra riesgos (Salamanca, 2017).

Actualmente los sistemas de tratamiento utilizan un método convencional que al igual que el doméstico siguen el mismo proceso básico de tratamiento del agua, que son los tres pasos intermedios del enfoque de barreras múltiples: sedimentación, filtración y desinfección. La

diferencia entre el sistema convencional (comunitario) y el sistema doméstico es la escala de las tecnologías utilizadas y que estos último se centran en la remoción de agentes patógenos el problema más importante a nivel mundial (CAWST, 2012).

A continuación, se mostrará un enfoque de barreras múltiples que buscará facilitar la transferencia de conocimientos sobre el cuidado, uso y tratamiento del agua que consumen la comunidad de Alto Guapaya, esto con el objetivo de que la comunidad tenga en cuenta los diferentes riesgos que pueda haber en todas las etapas del sistema de abastecimiento, desde el lugar donde se obtiene el agua hasta su consumo. Según CAWST (2012), la mejor manera de reducir el riesgo de consumir agua que no es apta es seguir el enfoque de barreras múltiples, que involucra la protección de la fuente de agua y el almacenamiento seguro para ayudar a disminuir los riesgos para la salud. Los cinco pasos que se tendrán en cuenta son estos tres:

- 1. Proteger la fuente de agua**
- 2. Filtrar y desinfectar el agua**
- 3. Almacenar el agua de forma segura**

6.3.1. Contexto de la situación de la Vereda de alto Guapaya

El agua procede de una fuente de aguas superficiales. Cerca de la cuenca de captación hay actividad agrícola de intensidad baja, y pastoreo de ganado vacuno, y cerca del lugar de captación se encuentran cerca casas las cuales utilizan el agua proveniente del caño Julio. No se cuenta con servicios de alcantarillado. El tratamiento de agua se basa en un único desarenador que luego es conectado por mangueras conectas de forma inadecuada para llegar a las casas que conforman a los integrantes de la comunidad.

6.3.2. Protección de la fuente de agua

Ya que el tipo de fuente hidrológica usada es agua superficial debe ser protegida para evitar que se convierta en un medio de transporte de agentes causantes de enfermedades. A continuación se presenta la estrategia de las tres C como propuesta nacida de la interacción con la comunidad de alto Guapaya y en base a escritos realizados por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y Organización Mundial de la Salud (OMS) (OMS, 2009) (OPS, 2010).

Conocer: Para poder cuidar la fuente de agua es necesario conocerla, desde donde viene, por donde pasa, que lugares cruza para así identificar los posibles riesgos que pueden influir en la calidad en la calidad del agua. Al conocer nuestra fuente de agua nos apropiamos del recurso y somos más preventivos sobre lo que pueda llegar a pasar.

Cuidar: Al cuidar el agua nos cuidamos nosotros mismos y a las personas que más queremos, el no botar basura, sustancias extrañas o pesticidas y residuos de todo tipo ayuda a que el agua se mantenga cristalina, y a que los tratamientos utilizados sean eficientes, evitando enfermedades y a su vez cuidado el medio ambiente que nos rodea.

Cooperar: El agua es de todos y por lo tanto todos deben aportar su granito de arena, para que esta se mantenga, el deber de todos es informar sobre problemas y riesgos en la cuenca, cuidar de

que se no contamine y evitar que otras personas lo hagan, de tal forma que se asegure que el agua que se bebe es segura para cada miembro de la comunidad.

6.3.3. Filtración y desinfección del agua

Ya que el tipo de agua que se utiliza no pasa por un tratamiento de potabilización completo, es necesario hacer una serie de procesos previos para poder hacer que el agua que se consume sea segura. El éxito del funcionamiento de los tratamientos utilizados depende del modo de operación del mantenimiento apropiado por parte de las personas que lo utilicen.



Figura 10. Filtro purificador de agua dado por los gobernantes del municipio

El filtro purificador que se ve en la **Figura 10**, al cual solo tienen acceso una parte de la comunidad de Alto Guapaya, está compuesto por diferentes tipos de elementos que ayudan a mejorar la calidad de agua, estos son: *i*) Filtro de cerámica que retiene sólidos y suciedad; *ii*) un cilindro multicapa que contiene: filtro de carbón activado, el cual tiene la capacidad de eliminar sustancias químicas orgánicas e inorgánicas como el cloro, además, ayuda a reducir o eliminar olores y colores desagradables; *iii*) Arena de sílice y mineral que elimina componentes ácidos del agua, equilibra el pH, libera minerales al agua. Los filtros contienen un disco de piedras minerales que promueven la salud ya que absorben las toxinas de metales pesados, olores e impurezas.

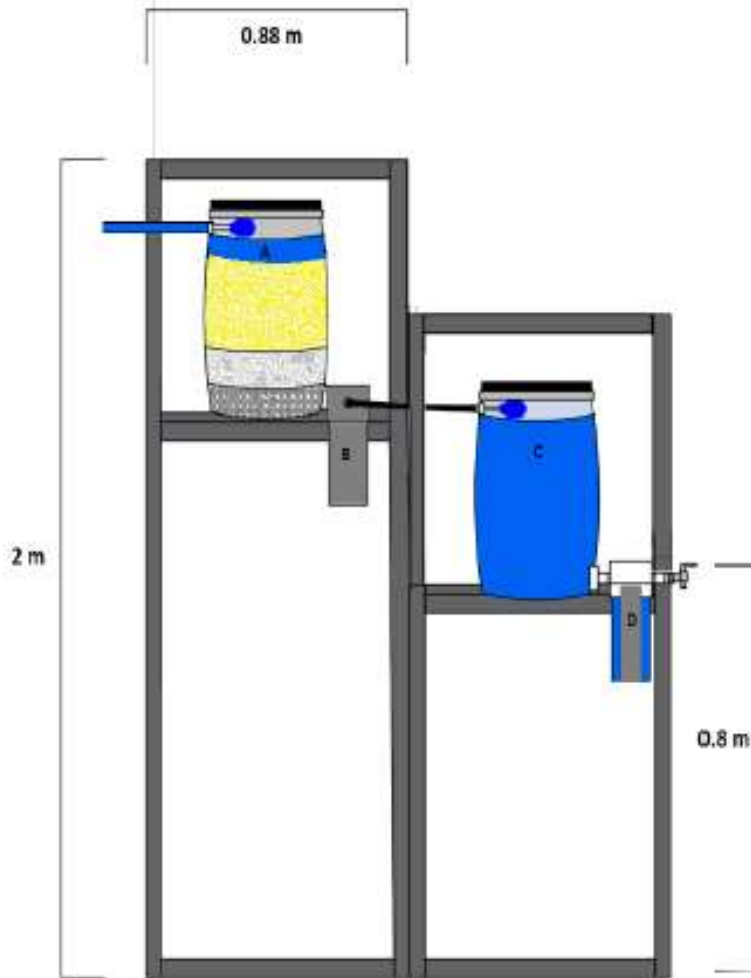


Figura 11. Diseño del Si. (A) Fase I: Filtro de arena, (B) Fase II: Cloración, (C) Fase III: Almacenamiento y (D) Fase IV: Carbón activado. (Rodríguez, 2020)

Por otro lado, el prototipo del sistema de filtración descentralizado filtro propuesto cuenta con tres fases:

Primera fase: Es un filtro de arena fina que retiene sustancias orgánicas e inorgánicas que con el paso del tiempo forma una capa biológica llamada *schmutzdecke*, la cual, por medio de la acción de los microorganismos digieren y degradan la materia orgánica contenida en el agua.

Segunda fase: Es un clorador que por medio de unas pastillas de cloro de lenta disolución eliminan microorganismos presentes en el agua y ayudan en la eliminación de metales y sustancias orgánicas como el hierro y el nitrógeno amoniacal (NO_2) del agua para obtener agua limpia.

Tercera Fase: Es aquí donde se hace el almacenamiento del agua tratada garantizando un suministro completo e ininterrumpido de agua evitando el deterioro de la calidad del agua, asegurando así una mejor desinfección antes del suministro a los consumidores.

Cuarta Fase: Por medio de un filtro de carbón activado que se retienen sustancias como trihalometanos (THM) debido a su gran porosidad y capacidad de adsorción, esta puede también ayudar para el mejoramiento del color y sabor del agua que se trata en el sistema.

6.3.4. Instructivo de mantenimiento de filtro purificador de agua

A continuación, se nombrarán 8 sencillos pasos para el adecuado mantenimiento de filtros de purificación pequeños para maximizar su eficiencia y vida útil:

Paso 1. Vaciar el filtro y preparar cada pieza para lavarla.

Paso 2. Limpiar la cerámica por medio de una esponja de cocina o cepillo de dientes nuevos solo **con agua fría y sin jabón** sujetándola entre la base y la cerámica.

Paso 3. El cilindro multicapas **solo se lava con agua fría** sometándolo a un chorro de agua **sin** a alta presión para no romper capas internas.

Paso 4. El disco de piedras mineral se abre con cuidado, y se lava las piedras **solo con agua fría**.

Paso 5. Mientras se lavan las otras partes del disco que contienen las piedras **minerales con agua fría**, se colocan las piedras en **agua caliente con sal** para ayudar a activarse. Y después se vuelven a colocar en el disco.

Paso 6. Para la llave magnética se limpia con **agua fría** y si se quiere una limpieza más profunda con vinagre y se vuelve a lavar con **agua fría**.

Paso 7. Los tanques, anillos, tapa y base se pueden lavar con **agua fría y jabón, enjuagando con bastante agua**.

Paso 8. Vuelva a instalar el filtro y disfrute del agua limpia.

Nota: Las piezas de cerámica, el cilindro multicapas, y el disco de piedras tienen una vida útil de 8-12 meses por lo cual se deberá cambiar estas partes para que siga en óptimas condiciones de funcionamiento. Ahora, si las piezas de cerámica se tapan, si el agua presenta algún tipo de alteración en su sabor o la capa blanca del filtro presenta manchas verdes o amarillas, son indicadores que no basta con realizar un mantenimiento, sino que requiere que se reemplacen estas piezas.

6.3.5. Mantenimiento del prototipo del sistema de filtración descentralizado

Los filtros con medio granulares, funcionan bajo un modo de filtrado basado en adsorción y retención, por lo tanto, su mantenimiento depende de la disminución del caudal a la salida del filtro, pues su variación hace que se acumulen sustancias orgánicas y microorganismos en mayor o menor medida. No obstante, es de tener en cuenta que en el caso del medio filtrante de bio-arena la parte más descubierta donde se genera el *schmutzdecke* ayuda a mejorar la eliminación de microorganismos y turbidez que puede generarse dependiendo del agua que se está filtrando (CAWST, 2012).

La limpieza de la superficie de la arena en este tipo de filtros, se hará por medio de un raspado superficial de aproximadamente 10 centímetros, en donde se retirarán los contaminantes que no

permiten el adecuado filtrado del agua. Esta arena que tuvo contacto con los contaminantes, se reemplazará con 5cms de arena nueva, además, será necesario agregar 5cm de la arena que se quitó que no estaba en contacto con los contaminantes. Esto se hace para que el tiempo de regeneración de la capa biológica *schmutzdecke* tenga un tiempo de formación más corto (Singer *et al.*, 2017) (de Souza *et al.*, 2021), no obstante, la arena tendrá que ser cambiada en su totalidad, por lo menos cada 2 años, momento que será útil para realizar el lavado general del filtro y los recipientes que los contienen. Para el lavado del filtro, se precisa retirar la arena y la grava, cuidando que estos dos productos no mezclen, la arena debe ser lavada y las paredes del tanque, cepilladas **con agua y sin jabón**, se reacomoda el drenaje, y se vuelve colocar el lecho de arena y la grava.

Tanto para la fase 3 de almacenamiento y la fase 4 se realiza mantenimiento en conjunto con la limpieza de la fase 1, según los lineamientos de CAWST, 2012, los cuales indican lo siguiente:

Paso 1. Lavar el interior, exterior y la tapa del recipiente con jabón y agua tratada.

Paso 2. Dejar que el tanque y la tapa se sequen.

Paso 3. Colocar tabletas de cloro en el recipiente con agua filtrada y dejarlo reposar 30 minutos.

Paso 4. vaciar el agua clorada por la fase IV.

Nota: La membrana de carbón activado se reemplaza en un periodo de 6 meses a 1 año para un óptimo funcionamiento e higiene.

6.3.6. Desinfección del agua

La desinfección está ligada, no solo a un sistema de tratamiento, sino hasta a los mismos usuarios. Por ello es que se debe encarar una doble actividad, primero de concientización a todo el espectro social acerca de la necesidad de desinfectar, de sus bondades y de los riesgos de una desinfección inadecuada. Después de quitar la suciedad y las partículas grandes, mediante la filtración y si no se cuenta con métodos directos de desinfección del agua para la eliminación de patógenos que pudieran no haber sido filtrados se procede a usar técnicas cotidianas para desinfectarla, estas son el uso de cloro, hervir el agua o usar la desinfección solar (Solsona, F. and Méndez, 2002).

6.3.7. Desinfección solar

La Organización Mundial de la Salud considera a la desinfección solar una opción válida, pero solo como un “*método menor y experimental*”. Aun así, en áreas donde no hay otro medio disponible para desinfectar el agua, puede mejorar sustancialmente la calidad bacteriológica de la misma. El proceso de desinfección solar es un proceso térmico que consiste en elevar la temperatura del agua por un espacio suficiente de tiempo en contenedores acondicionados para lograr la absorción del calor proveniente de la radiación solar, los contenedores utilizados son aquellos que conducen el calor, y en especial se buscan que sean negros porque absorben el calor y permite el aumento acelerado de la temperatura del agua y la conservación del calor por más tiempo (Solsona, F. and Méndez, 2002).

6.3.8. Cloración

En todo el mundo, el mecanismo de desinfección más aplicado en los sistemas de abastecimiento de agua es el que emplea el cloro y sus compuestos derivados como agentes desinfectantes, su acción germicida de espectro amplio, su persistencia en sistemas de distribución de agua, su costo, permiten en forma bastante simple, asegurar la inocuidad del agua desde que se produce hasta el momento que se usa. Los productos utilizados en el mercado para realizar la desinfección del agua son, cal clorada, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio (CDC, 2012) (Solsona, F. y Méndez, 2002). La siguiente, es la estrategia planteada por el CDC para desinfectar el agua por medio de cloro.

- I. Utilice cloro que no tenga otros olores (como limón).*
- II. Agregue 1 cucharadita (64 gotas o 5 mililitros) de cloro líquido de uso doméstico en 1 cuarto de galón (32 onzas, 4 tazas o alrededor de 1 litro) de agua.*
- III. Vierta esta solución en un recipiente limpio para almacenar y agite bien para asegurarse de que el líquido cubra todo el interior del recipiente.*
- IV. Deje reposar al menos 30 segundos y luego vacíe el recipiente. 5. Deje secar al aire. O enjuague con agua clara que ya ha sido desinfectada, si la hay.*

6.3.9. Calor (hervir el agua)

Es una técnica común de desinfección del agua en la cual se hierve el agua hasta ebullición, este método es muy eficaz en la destrucción de los microorganismos más comunes transmitidos por el agua, tales como bacterias, esporas de virus, entre otros. La desventaja de esta técnica es que, no proporciona protección contra la re-contaminación, por lo que es necesario tener cuidado con su uso, manipulación y almacenamiento después de hervida (OPS, 2010).

6.3.10. Almacenamiento del agua de forma segura

Es muy importante que una vez que se ha mejorado la calidad del agua a nivel casero con cualquiera de los métodos ya descritos esta mantenga su calidad hasta el momento de ser consumida y no se deteriore por manipuleo inadecuado (OPS, 2010). A continuación, se presentarán recomendaciones básicas:

- I. Los recipientes donde se almacena el agua deben estar completamente limpios y permanecer tapadas.*
- II. Los recipientes que se utilicen se deben lavar permanentemente con cepillo y jabón, tanques, vasijas y sus tapas.*
- III. Es de suma importancia ubicar los recipientes de agua para consumo humano en un lugar limpio, sobre una superficie impermeable y evitando el contacto directo del tanque con el suelo.*
- IV. Dichos recipientes deben permanecer alejados de las basuras y del contacto con animales.*
- V. En lo posible, el recipiente de almacenamiento debe tener dos aberturas, una para depositar el agua y otra para extraerla a través del sistema de llave. De esta forma se impide la introducción de vasijas y utensilios y se garantiza la calidad del agua tratada.*

- VI. *No debemos utilizar recipientes que hayan contenido plaguicidas, medicamentos u otros productos contaminantes, ya que nos pueden causar intoxicaciones o la muerte por envenenamiento.*

6.4. Métodos de detección de microorganismos

Los métodos microbiológicos convencionales de detección de microorganismos se basan en el crecimiento y aislamiento de estos en medios específicos, los diagnósticos más comunes se basan en cultivo de microorganismos en medios selectivos y diferenciales, como lo son tinción de Gram, microscopia y pruebas bioquímicas (Kumar *et al.*, 2019), los cuales son sensibles, económicos y proporcionan información precisa sobre la naturaleza y el número de microorganismos presentes en la muestra a pesar de que puedan demorarse varios días para producir resultados.

De acuerdo a lo estipulado en la **Resolución n.º 2115 de 2007** las técnicas aceptadas para realizar los análisis microbiológicos del agua para consumo humano que se realizan en torno a *Escherichia coli* y coliformes totales, son filtración por membrana, sustrato definido, enzima sustrato y presencia-ausencia (Ministerio de la protección social, 2007).

Tabla 4. Cantidad de indicadores permitidos por la **Resolución n.º 2115 de 2007**

Técnicas utilizadas	Coliformes Totales	<i>Escherichia coli</i>
Filtración por membrana	0 UFC/100 cm^3	0 UFC/100 cm^3
Enzima Sustrato	< de 1 microorganismo en 100 cm^3	< de 1 microorganismo en 100 cm^3
Sustrato Definido	0 microorganismo en 100 cm^3	0 microorganismo en 100 cm^3
Presencia – Ausencia	Ausencia en 100 cm^3	Ausencia en 100 cm^3

La **Tabla 4.** perteneciente al documento de la **Resolución n.º 2115 de 2007** muestra el máximo permitido de coliformes fecales y *Escherichia coli* para agua potable, el uso de estos microorganismos como indicadores de contaminación es ampliamente utilizado en la comunidad internacional, ya que son fácilmente detectables, sus orígenes en su mayoría de veces son fecales y su presencia está ligada a la presencia de patógenos (Y. Zhang *et al.*, 2015).

Los principales métodos aceptados para el recuento de *E. coli* en agua son divididos en tres categorías: (i) técnica de fermentación en múltiples tubos (MTF), que mide el gas producido en caldos de glucosa o lactosa; (ii) técnica de filtración por membrana (MF), que comprende el cultivo de bacterias, retenidas por un filtro, en medios específicos; y, (iii) prueba de sustrato enzimático, que permite la detección de una actividad enzimática particular que se puede asociar con las bacterias diana (Vergine *et al.*, 2017). Hasta la fecha los métodos que involucran estas tres

categorías se han aprobado internacionalmente son 12 en base a la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos o sus siglas en inglés EPA (*Environmental Protection Agency*), actualmente para la detección de estos indicadores se utilizan medios de cultivos que involucran directamente las reacciones enzimáticas que detectan coliformes totales y *E. coli* simultáneamente según las actividades de la β -galactosidasa (GAL) (codificada por el gen *lacZ*) y la β -glucuronidasa (GUD) (codificada por el gen *uidA*) (Y. Zhang *et al.*, 2015).

La base de estos métodos se centra en permitir un examen rápido de muestras de agua, tanto de origen ambiental o residual como de potables a continuación se describirá brevemente el fundamento y su procedimiento.

6.4.1. Método 1103.1: *Escherichia coli* (*E. coli*) en Agua por Membrana de Filtración Usando Agar en Membrana -modificada para *Escherichia coli* Termo tolerante (mTEC Modificado)

El método 1103.1 describe un procedimiento de filtración por membrana para la detección y enumeración de *Escherichia coli* en agua ambiental ya que esta es un habitante común del tracto intestinal de los animales de sangre caliente, y su presencia en las muestras de agua es un indicio de contaminación fecal y la posible presencia de patógenos entérico.

Este método proporciona un recuento directo de bacterias en el agua basado en el desarrollo de colonias en la superficie del filtro de membrana. La muestra se filtra a través de la membrana que retiene las bacterias, después la membrana se coloca en un medio selectivo y diferencial, mTEC y se incuba a 35°C durante 2 horas, esto para aumentar la cantidad de bacterias lesionadas o estresadas, posteriormente se incuba a 44,5 durante 2 horas. Después de la incubación, el filtro se trasfiere a una almohadilla de filtro saturada con sustrato de urea. Después de 15 minutos, se cuentan las colonias de color amarillo con la ayuda de una lámpara fluorescente y una lupa.

Para la recolección de muestra el método se sigue el método propuesto en *Microbiological Methods for Monitoring the Environment: Water and Wastes, Part II, Section A*, el método dice que dice que la muestra se recolecta a 6 - 12 pulgadas de la superficie del agua, la temperatura de refrigeración debe ser menor a 10°C. Las muestras con material particulado coloidal o suspensión pueden obstruir el filtro de membrana y evitar la filtración o causar la propagación de colonias bacterianas que pueden interferir en el conteo de colonias, las colonias de color amarillo, amarillo verdoso o amarillo marrón de la prueba de ureasa se consideran *E. coli* “típicas”.

Si es necesario hacer una verificación se procederá a aislar 10 colonias en agar nutritivo y en caldo tripticasa de soja y cultivar durante 24 horas a 35°C, después de incubación se procederá a hacer prueba de citocromo oxidasa e incubar en agar citrato Simmons, agua de triptona y en caldo EC. Para la prueba de citocromo oxidasa si el área donde se aplicaron las bacterias se vuelve de color púrpura oscuro en 15 segundos, la prueba es positiva. *E. coli* son oxidasa-negativos, citrato-negativos, crecimiento de CE y gases-positivos e indol-positivos (US-EPA, 2006).

6.4.2. Método 1603: *Escherichia coli* (*E. coli*) en Agua por Membrana de Filtración Usando Agar en Membrana -modificada para *Escherichia coli* Termo tolerante (mTEC Modificado)

El método 1603 describe un procedimiento de filtración por membrana para la detección y enumeración de *Escherichia coli* en aguas ambientales y residuales desinfectadas. Este método es una modificación de un solo paso del método EPA 1103.1 (mTEC), que no requiere la transferencia de un filtro de membrana a otro sustrato. El medio utilizado es cromógeno que contiene 5-bromo-6-cloro-3-indolil- β -D-glucoronido que cataboliza en ácido glucurónico y un compuesto color rojo o magenta por *E. coli* que produce la enzima β -D-glucuronidasa.

Para la recolección de muestra el método se sigue el método propuesto en *Microbiological Methods for Monitoring the Environment: Water and Wastes, Part II, Section A*, que dice que la muestra se recolecta a 6 - 12 pulgadas de la superficie del agua, la temperatura de refrigeración debe ser menor a 10°. Las muestras con material particulado coloidal o suspensión pueden obstruir el filtro de membrana y evitar la filtración o causar la propagación de colonias bacterianas que pueden interferir en el conteo de colonias.

El agua se filtra a través de la membrana de filtración, después la membrana se coloca en el medio selectivo y diferencial, el agar mTEC modificado, se incuba a 35°C durante 2 horas, después de la incubación se procede a la verificación como medio de control de calidad, donde se incuban 10 colonias sospechosas en agar nutritivo y posteriormente se realiza pruebas bioquímicas como la prueba de citocromo oxidasa, tripticasa a agar citrato Simmons, prueba de oxidasa, prueba de indol. Para la prueba de citocromo el color púrpura oscuro indica que es positiva, *E. coli* es oxidasa-negativos, citrato-negativo, produce gases (CO₂) y es indol-positivo. El resultado se reporta como unidades formadoras de colonia (UFC) de *E. coli* por 100 ml de muestra. (US-EPA, 2014)

6.4.3. Método 1604: Coliformes totales y *Escherichia coli* en agua por filtración de membrana utilizando una técnica de detección simultánea (medio MI)

Este método utiliza un medio filtrante de membrana (MF) el cual se coloca en un medio sensible y diferencial como agar MI o caldo MI, para la detección y enumeración simultánea de coliformes totales (TC) y *Escherichia coli* (*E. coli*) en muestras de agua. El medio (MI) contiene dos sustratos enzimáticos que son: el fluorógeno 4-Methylumbelliferyl-PS-D- galactopiranosido (MUGal) y un cromógeno Indoxil-PS-D-glucuronido (IBDG), también se incluyen el medio componentes cromógenos para detectar las enzimas PS-galactosidasa y PS-glucuronidasa, respectivamente, producida por coliformes totales y *E. coli*, respectivamente.

Se filtra un volumen apropiado de una muestra de agua (100ml para agua potable) a través de un filtro de membrana de éster de celulosa en 47 mm y 0,45 μ m de tamaño de poro que retiene las bacterias presentes en la muestra. Posterior a la filtración se coloca en una placa de agar MI de 5ml, o en una almohadilla absorbente de saturada con 2-3ml de caldo MI y se incuba a 35°C por 24 horas. Las colonias bacterianas que crecen en la placa se inspeccionan para detectar la presencia de color azul debido a la descomposición de IBDG por la enzima *E. coli*. PS-glucuronidasa y

fluorescencia bajo luz ultravioleta de onda larga (366 nm) a partir de la descomposición de MUGal por la enzima TC PS-galactosidasa.

El procedimiento de muestreo se hace de acuerdo a las secciones 9060A y 9060B de la 18th edición del *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* o el *USEPA Microbiology Methods Manual, Section II*. Además, se debe tener en cuenta que las muestras de cloro residual en el agua potable (o efluente clorado) deben neutralizarse con tiosulfato de sodio (1 ml de una solución al 10% por litro de agua) en el momento de la recolección.

La muestra se debe refrigerar a una temperatura de entre 1 - 4°C durante el transporte al laboratorio, y debe analizarse dentro de las 30 h posteriores a su recolección. No se puede mantener las muestras de agua de origen más de 6 h entre la recolección y el inicio de los análisis sin refrigeración, los análisis deben completarse dentro de las 8 h posteriores a la recolección de la muestra (EPA, 2002).

6.4.4. Muestreo y recolección de agua 9060a Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition

Las técnicas de recolección y muestreo de los métodos propuestos en el libro *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition* son el mismo para todas las técnicas aquí expuestas por lo cual se hace un pequeño resumen de las pautas a tener en cuenta antes del análisis de la muestra.

Para la recolección de la muestra se recogerá a 30cm por debajo de la superficie del agua para evitar contaminantes, el envase utilizado debe estar estéril y de un material que evite la acumulación de sustancias que puedan afectar el crecimiento bacteriano, se deberá recoger como mínimo un volumen de 100ml para el muestreo y análisis. Es importante mantener la cadena de frío menor a 10°C desde la recolección de la muestra el hielo o gel utilizado no debe entrar en contacto directo con la muestra. Para las muestras destinadas al análisis de *E. coli* y coliformes totales, la muestra no debe superar las 30h para que el análisis evidencie datos reales, las pruebas también se invalidaran si se muestra congelamiento (Rodger B. Baird, Andrew D: Eaton, 2017).

6.4.5. Técnica de Fermentación de tubos múltiples para coliformes totales 9221 B de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition

Este método se basa en la detección de bacterias coliformes por lo cual se basa en su capacidad de fermentar lactosa, y se utiliza caldo a base de lactosa para detectar los productos metabólicos finales de la fermentación de esta. La prueba estándar para detectar coliformes se puede hacer mediante la técnica de fermentación de tubos múltiples, esta mide la densidad de microorganismos mediante una tabla de número más probable (MPN). Este número generado usando fórmulas de probabilidad específicas, es una estimación de la densidad media de coliformes en la muestra. La prueba para coliformes será satisfactoria si se observa cambio en el medio proyectado por un medio ácido y presencia de gas en los algunos o todos los tubos. El procedimiento de colecta de muestra se hace de acuerdo a los estipulado a la sección 9060A. El método propone el cultivo de 15 tubos con caldo lauryl triptosa que contiene bromocresol púrpura como indicador de pH, antes de cultivar la muestra se harán tres diluciones seriadas en base diez y cada dilución se cultivara en 5 tubos de

los 15. Después del cultivo estos cultivaran a 35°C por 24 horas. Si la prueba es positiva se observará de color amarillo el caldo después de procederá a leer el resultado en la tabla de MPN. Para confirmar la presencia de coliformes se sembrarán los tubos positivos en caldo de bilis lactosa verde brillante con campana de Durham, el caldo se cultivará a 35°C cualquier cantidad de gas formado en la campana es indicación de positivo para la confirmación de coliformes.

El método tiene en cuenta una fase más completa 9221B, el numeral que lleva a una verificación más exigente en caso de que la muestra de agua no sea de proveniencia residual o ambiental, y por lo tanto se acerque a lo potable; aquí se hace pruebas adicionales para coliformes termotolerantes y/ o *E. coli*, con caldo EC y/o EC-MUG (caldos selectivos para *Escherichia coli*, el MUG hace referencia a la adición 4 metilumbeliferil-B-D-glucuronido), estos caldos se cultivan a una temperatura elevada ($44,5 \pm 0,2$ °C) . Los cultivos en caldo BGLB positivos paralelos con cultivos en caldo EC o EC-MUG negativos indican la presencia de coliformes no fecales. Los tubos EC o EC-MUG positivos paralelos y los cultivos de caldo BGLB negativos indican la presencia de coliformes termotolerantes (fecales) o *E. coli*, respectivamente.

Por último, se hará una siembra en agar Maconkey o agar Endo, las colonias en agar Endo se definen como típica rosa a rojo oscuro con un brillo superficial metálico verde y las colonias típicas de fermentación de lactosa que se desarrollan en agar MacConkey son rojas y pueden estar rodeadas por una zona opaca de bilis precipitada. Como último paso mediante tinción de Gram se hará confirmación por microscopia confirmando bacilos cortos Gram negativos (Rodger B. Baird, Andrew D: Eaton, 2017).

6.4.6. Prueba de coliformes de presencia-ausencia (P – A) 9221D de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition

La prueba de presencia-ausencia (P-A) para el grupo de coliformes es una modificación simple del procedimiento de tubos múltiples que está diseñado para usarse en muestras de rutina recolectadas de sistemas de distribución o plantas de tratamiento de agua. Esta prueba está determinada para usarse en una porción de prueba grande (100ml) para establecer cualitativamente si hay coliformes presentes o ausentes en 100 ml de una muestra de agua. Además, permite a los analistas examinar más muestras en un período de tiempo determinado en comparación con los métodos cuantitativos. En estudios comparativos con el procedimiento de filtro de membrana, indican que la prueba P-A contiene puede maximizar la detección de coliformes en muestras que contiene muchos organismos que podrían sobrecrecer colonias de coliformes y causar problemas de detección. El caldo que se utiliza para este método contiene lactosa y un indicador de pH para detectar la producción de ácido. Para la confirmación de coliformes presuntamente positivos obtenidos a partir del método se confirman utilizando BGLB (Rodger B. Baird, Andrew D: Eaton, 2017).

Para el procedimiento después de la recolección de la muestra según el ítem 9060A se incuba la muestra en caldo lauryl tryptosa, o un medio específico para presencia-ausencia con concentración triple del medio utilizado, y se incubara por 24 horas a 35°C. Si hay presencia de gas o acido se trasfiere en caldo lactosado bilis verde brillante con campana de Durham se incuba por 48 horas a 35°C. Si hay producción de gas se pasara a agar Endo o MacConkey y se incubara por 24 horas a 35°C. Las colonias típicas se transfieren a agar inclinado lauryl tryptosa de 24 a 48 horas a 35 °C.

La prueba es positiva si se observa producción de gas, y por último se hace prueba por medio de Tinción de Gram, donde se observara bacilos cortos Gram negativas (Rodger B. Baird, Andrew D: Eaton, 2017).

6.4.7. Procedimiento de Filtrado de Membrana Estandarizado para Coliformes Totales 9222 B de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition

Este método se puede utilizar para medir coliformes totales en agua potable y no potable, pero con un contenido bajo o nulo de partículas ya que estas pueden obstruir los filtros y afectar muestras con una alta proporción de coliformes totales en relación con *E. coli*. El muestreo y transporte de la muestra se hace a partir del numeral 9060A. El volumen ideal de muestra producirá de 20 a 80 colonias de colonias de coliformes totales, dependiendo de la muestra se hará 1 o más diluciones en agua buferada estéril, agua peptonada. Después de diluir la muestra si es necesario, se filtrará la muestra en bomba de vacío y después se colocará en el medio selectivo escogido, luego se incubará a 35°C de 22-24 horas para agares Endo o mTEC. Las colonias típicas de coliformes en los medios de tipo Endo tiene un color de rosa a rojo oscuro con un brillo superficial metálico.

Luego del conteo de colonias se hace una confirmación donde se transfiere el crecimiento de cada colonia y se cultiva en caldo de lauril triptosa de concentración única; se incuba el caldo a 35° C por hasta 48 h. La formación de gas en el caldo de lauril triptosa es confirmatorio que es un coliforme. La inoculación con EC-MUG (compuesto fluorógeno) incubada a $44,5 \pm 0,2$ ° C durante 24 h proporcionará información sobre la presencia de *E. coli*. El reporte de colonias son las colonias de coliformes totales contadas como "1 UFC / 100 ml" o informe "ausencia de bacterias coliformes totales por muestra de 100 ml". En caso de querer hacer un conteo simultaneo entre coliformes y *E. coli* se utilizará un medio con componentes cromogénicos (Rodger B. Baird, Andrew D: Eaton, 2017).

6.4.8. Test de Enzima Sustrato para coliformes 9223B de Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 23rd Edition

Esta prueba se recomienda para el análisis de agua potable, agua de origen, ambiental, subterránea y residual. Las pruebas de enzima sustrato utilizan sustratos cromogénicos y fluorogénicos hidrolizables para la detección simultánea de enzimas producidas por coliformes fecales y *Escherichia coli*. En este método, las bacterias coliformes totales producen la enzima D-galactodidasa, que escinde el sustrato cromogénico en el medio para liberar el cromógeno. La mayoría de cepas de *E. coli* producen la enzima glucoronidasa, que escinde un sustrato fluorogénico en el medio para liberar un fluorogéno. La liberación del cromogéno indica la presencia de bacterias coliformes y la liberación del fluorogéno indica la presencia de *E. coli*. Este método se encuentra en formato para los métodos de número más probable (MPN), presencia o ausencia y filtración por membrana.

En la industria ya existe kits para la detección de *E.coli* y coliformes como el medio Colieblue Coliart, Coliart-18 que utilizan los sustratos cromógenos orto-nitrofenil- -D-galactopiranósido (ONPG) y rojo de clorofenol- -D-galactopiranósido (CPRG), para la detección de la enzima D-

galactosidasa, que es producida por los coliformes totales y forma un color rojo. Para la detección de *Escherichia coli* se utilizan el sustrato fluorogénico 4-metil-umbela-liferil-D-glucurónido que es hidrolizada por la enzima β -D-glucuronidasa que después de hidrolizar el sustrato fluorogénico produce una fluorescencia azulada cuando se ve bajo luz ultravioleta. Debido a que *E. coli* contiene también la enzima D-galactosidasa, el color rojo más la fluorescencia son indicativos de que la muestra tiene *E. coli*.

6.4.9. Método Hach 10029 para Coliformes

Este método se utiliza para agua potable y no potable, se basa en el crecimiento de los microorganismos indicadores coliformes y *E. coli* sobre una almohadilla absorbente con el medio contenido en una ampolla de caldo (m-Colibblue) el medio cuenta con componentes cromógenos que vira el color de las colonias de los coliformes en un color rojo o magenta, por su parte *E. coli* se ve de un color azul a violeta. Para poder ejecutar el método es necesario coleccionar la muestra en un recipiente estéril, en caso de que el agua contenga desinfectantes es necesario agregar tiosulfato de sodio. Para recolectar una muestra no potable de un río, lago o embalse, se sostiene el recipiente debajo de la superficie del agua (20-30cm) y luego retira la tapa, para la recolección de la muestra por grifo se deja que el agua fluya a una velocidad moderada durante 2 a 3 minutos y luego se procederá a recoger. Se recogerá como mínimo 100ml de muestra, si no es posible realizar un análisis inmediato, es necesario mantener la muestra a una temperatura igual o inferior a 10 ° C (50 ° F) durante un máximo de 8 horas.

De ser necesario se diluirán a las muestras que contengan un alto nivel de bacterias para que aproximadamente de 20 a 200 colonias de bacterias. Se procederá a hacer la filtración en el aparato de filtración por membrana y posterior a la filtración se colocará en la almohadilla absorbente previamente impregnada con el caldo m-Colibblue. Se incubará la placa de Petri a 35°C durante 24 horas. Para evitar falsos positivos con las colonias rojas indicadoras de coliformes que pueden ser microorganismos como *Pseudomonas*, *Vibrio*, y *Aeromonas spp.* se hace prueba de oxidasa, donde se impregna la almohadilla absorbente con el reactivo oxidasa, después de 10 a 15 segundos se observará un cambio de color de colonias rojas coliformes a violeta (Coli, 2018).

Comparación de los métodos de análisis de muestras microbiológicas

Mediante una revisión de los métodos utilizados y propuestos por la normativa colombiana (Resolución 2115 de 2007) y la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU (EPA) para determinar las características más importantes estos son: el tipo de agua que se analiza, el tipo de método utilizado, los medios de cultivos utilizados en cada técnica, el tiempo y temperatura utilizada en cada técnica y el conteo máximo de indicadores permitidos por técnica.

Tabla 5. Comparación de métodos

Métodos	Tipo de Agua que analiza	Tipo de Método	Medios de cultivo	Temperatura °C y tiempo Prueba	Máximos permitidos
USEPA Método 1603	Aguas ambientales y residuales desinfectadas	Filtración por membrana	mTEC	35°- 22-24horas	0 UFC/100 <i>cm</i> ³
USEPA Método 1103.1	Agua Ambiental	Filtración por membrana	mTEC con adición de mezcla cromógena	35°- 22-24horas	0 UFC/100 <i>cm</i> ³
USEPA Método 1604	Agua potable Agua recreativa	Filtración por membrana	Agar MI con adición de MUGal	35°- 22-24horas	0 UFC/100 <i>cm</i> ³
SM 9221B	Agua potable Agua ambiental Aguas Residuales	MPN	Medio Laury triptosa BGLP medio	35°- 22-24horas	< de 1 microorganismo en 100 <i>cm</i> ³
SM 9221D	Agua potable Agua ambiental Aguas	MPN Ausencia-presencia	Medio Laury triptosa caldo lactosado bilis verde brillante	35°- 22-24horas Confirmación 35° 48-72 horas	Ausencia en 100 <i>cm</i> ³
SM 9222B	Agua potable Agua recreativa	Filtración por membrana	Agar Endo	37° 22-24horas	0 UFC/100 <i>cm</i> ³
SM 9223B	Agua potable Agua recreativa	Enzima-Sustrato	Coliart Coliart-18	35°- 22-24horas	< de 1 microorganismo en 100 <i>cm</i> ³
Método Hach 10029	Agua potable y no potable	Enzima-Sustrato	caldo (m-Colibblue)	35° 24horas	< de 1 microorganismo en 100 <i>cm</i> ³

En la **Tabla 5.** se muestran los métodos ya descritos y aceptados tanto nacionalmente (Resolución 2151 de 2007) e internacionalmente (EPA). El método escogido para el análisis de las muestras de agua para Alto Guapaya fue la filtración por membrana que se considera un estándar de oro en las pruebas cuantitativas de indicadores fecales bacterianos y está recomendado por la Asociación Estadounidense de Salud Pública (APHA) (Sikder et al., 2021).




6.5. Material educativo para sensibilizar a la comunidad sobre el ciclo del agua y su cuidado

Continuando con el proceso de educación realizado por el *fortalecimiento de los procesos productivos, seguridad alimentaria y nutricional y habitabilidad del espacio territorial de capacitación y reincorporación de charras, San José del Guaviare*, se busca dirigir y fomentar el aprendizaje propio de un individuo y la comunidad a la que pertenece, al reconocer el ciclo del agua y el cuidado que hay que tener sobre este recurso se reforzara los conceptos sobre el cuidado del agua y su impacto en el desarrollo sostenible. En consecuencia, se contribuirá el mejoramiento de la calidad de vida y se desarrollaran creencias, hábitos, habilidades que no solo ayudara a la comunidad sino al medio ambiente donde ellos conviven. Sin embargo, esto no se podrá hacer sin la participación de la comunidad de Alto Guapa ya en talleres de sensibilización sobre el uso, conservación y cuidado del agua.

A continuación, se detalla este modelo propuesto para la preparación de las actividades, las cuales, se inspiran en el Paradigma Pedagógico Ignaciano (PPI), el cual es un proceso consciente y dinámico, que se realiza en dos etapas, sucesivas y simultáneas, donde cada una de ellas tendrá que ver con las demás.

Estas actividades se fundamentan en los ejercicios Ignacianos que enfatiza en la interacción continúa entre la experiencia, la reflexión y la acción como medio de autoevaluación de la vida: cómo se vive y vivirá en una relación. Las cinco etapas o pasos del Paradigma son: (i) Situar la realidad en su contexto, (ii) Experimentar vivencialmente, (iii) Reflexionar sobre esa experiencia, (iv) Actuar consecuentemente y (v) Evaluar la acción y el proceso seguido (van Hise & Massey, 2010).

ACTIVIDAD 1. Contextualización sobre el agua como parte importante del mundo		
Intención	Desarrollar una actividad de contextualización para los niños sobre el agua en su día a día, por medio de una actividad y un video.	
Escenario	Se llevará a cabo en la escuela de Alto Guapaya, Vista Hermosa.	
Materiales	Piedra lisa y plana por niño, temperas de diferentes colores y pinceles, recipiente donde limpiar los pinceles, bolsa de tela, cubo de hielo, vasos Jarra de agua, Frutiño, vaso de agua, tierra.	
Momentos	Propósito	Descripción actividad
Contextualización	Generar un espacio de integración entre la docente y los niños, a través de un juego con el de fortalecer lazos en la experiencia de los demás.	Para el primer momento de esta sesión se va a realizar una actividad de reconocimiento de los niños, para esto se va a efectuar la dinámica “Animales y yo” la cual consiste en decir el nombre de cada un animal y una característica del animal (Actuaran el animal), luego se tiene que ir repitiendo el animal y la cualidad del animal.
Experiencia		Primer momento: Se reúne a los niños en media luna, y se presenta el siguiente video: https://www.youtube.com/watch?v=FbnTccEBB2Y

<p style="text-align: center;">Experiencia</p>	<p style="text-align: center;"><u>Primer momento:</u> Generar una actividad de aprendizaje donde los niños junto a la docente puedan entender: Las características del agua</p>	<p>Niños vamos a recordar las características del agua que nos mencionó nuestro amigo el camaleón. (La docente mostrara imágenes de cada una de las características mencionadas por teléfono.)</p> <p><u>Docente:</u> ¿Primero que tipo de animal es nuestro personaje? <u>Niños (as):</u> Es un Camaleón</p>  <p><u>Docente:</u> ¿Cuál es la primera característica que nos dice nuestro amigo el camaleón? <u>Niños (as):</u> Que el agua escurre</p>  <p><u>Docente:</u> ¿Cuál es la segunda característica que nos dice nuestro amigo el camaleón? <u>Niños (as):</u> El agua puede adoptar la forma en donde esta.</p>  <p><u>Docente:</u> ¿Cuál es la Tercera característica que nos dice nuestro amigo el camaleón? <u>Niños (as):</u> El agua es transparente</p>
-------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Experiencia

Primer momento:

Generar una actividad de aprendizaje donde los niños junto a la docente puedan entender: Las características del agua



Docente: ¿Mis niños ustedes pueden oler el agua?

Niños (as): No porque es inodora



Docente: ¿Cuál es la quinta característica que nos dice nuestro amigo el camaleón?

Niños (as): El agua puede disolver algunas sustancias como el jugo pero no la tierra.



Docente: ¿Qué pasa cuando el agua esta con mucho frío?


Niños (as): Se congela







Docente: Y, ¿qué pasa cuando el agua congelada se calienta?

Experiencia		<p>Niños (as): Se evapora. Docente: Y, ¿qué forma cuando se evapora? Niños (as): Nubes</p>
	<p>Segundo Momento:</p> <p>Realizar una actividad experiencial donde los niños puedan ver las características del agua en vivo.</p>	<p>Segundo Momento: Para este momento la maestra sacara un poco de hielo y se los va a mostrar a los niños mostrando lo frio que es, y lo dejara al sol de tal manera que después de unos minutos vuelva al estado líquido. Con un vaso con agua la docente les mostrara a los alumnos que el agua no disuelve la tierra y en la jarra mostrara que el Frutiño si lo disuelve (el Frutiño la idea es compartirlo para tomar con los estudiantes).</p> <p>Al finalizar el encuentro la maestra pedirá que los niños hagan una pequeña historia donde los niños deberán incluir alguna de las características del agua que vieron.</p> <p>Además, se pedirá que busquen una piedra plana pequeña para la próxima clase.</p>
Reflexión y acción.	<p>Generar un espacio de integración entre la docente y los niños, a través de un juego con el de fortalecer lazos en la experiencia de los demás.</p>	<p>Con las historias de los niños ya hechas los niños en la piedra dibujaran o pintaran en la piedra algo que represente su historia. Al terminar la actividad la profesora pondrá las piedras en un saco o bolsa y pondrá a escoger a los niños una de las piedras en la bolsa, y según la piedra que salga el niño contará su historia.</p> <p>Ejemplo: Sale la piedra de Manuel, la cuenta su pequeña historia sobre el agua y al comparte con sus compañeros</p>
Evaluación	<p>Evaluar la actividad de manera grupal con preguntas orientadas al concepto de las características del agua</p>	<p>Docente: ¿Niños ahora que ya saben cuáles son las características del agua, me podrían recordar algunas cosas? ¿Qué pasa cuando el agua tiene alta temperatura o calor? ¿El agua puede disolver de todo? Y finalmente, ¿El agua de qué color es y que olor tiene? Docente: Muchas gracias, no me cabe la menor duda que son entrevistadores. Nos vemos pronto, para sus entrevistas no olviden traer el micrófono.</p>

ACTIVIDAD 2. Rompecabezas sobre el ciclo del agua		
Intención	Desarrollar una actividad de contextualización para los niños sobre el ciclo del agua en su día a día, por medio de una actividad.	
Escenario	Se llevará a cabo en la escuela de Alto Guapaya, Vista Hermosa.	
Materiales	Rompecabezas, Marcadores, Gomas de colores.	
Momentos	Propósito	Descripción actividad
Contextualización	Generar un espacio de integración entre la docente y los niños, a	Para el primer momento de esta sesión se hará un círculo donde a cada niño se le dirá una fruta la cual

	<p>través de un juego donde después se formarán grupos</p>	<p>no podrán decir a sus compañeros. Las frutas a decir serán limón, manzana, uva y cereza, la cantidad de niños que tendrán cada fruta será equitativa, durante la actividad se pedirá a los niños según la fruta que les corresponda el nombre y la edad. También se intercambiarán los lugares con sus compañeros que tengan la misma fruta.</p> <p>Finalmente se dividirán los grupos según la fruta que les toco para realizar la siguiente actividad y escogerán el nombre de sus grupos</p>
<p>Experiencia</p>	<p><u>Primer momento:</u> Generar una actividad de aprendizaje donde los niños por medio de un rompecabezas descubran estados del agua.</p>	<p><u>Primer momento:</u> Se reúne a los niños en los grupos y se les mostrara la imagen que tienen que armar.</p> 

		<p>Los niños armaran el rompecabezas y luego de eso se les preguntara 3 cosas. ¿Qué es lo que ven en la imagen? ¿Qué relación tiene con el agua esta imagen? ¿Por qué creen que el agua está ahí?</p>
<p>Reflexión y acción</p>	<p><u>Primer momento:</u></p> <p>Se Realizará una actividad de aprendizaje donde se buscará que los niños entiendan las características de cada parte del ciclo del agua.</p>	<p>Una vez hecho el rompecabezas en cada grupo se explicará de forma simple porque el agua está en ese lugar o en ese estado el agua y se les preguntará a los niños casos donde vean que el agua está cambiando de estado o participado en el ciclo.</p>  <p><u>1ª fase Evaporación:</u> Esta imagen representa la Evaporación, el sol calienta el agua y la convierte en vapor, cambiando su estado a gaseoso.</p> <p><u>Docente:</u> Niños han visto que cuando cocinan sus papas, de las ollas sale vapor, ahí el agua se está evaporando.</p>  <p><u>2ª Fase Condensaciones:</u> vapor del agua se eleva al cielo y se enfría cambiando su estado a líquido para formar las nubes.</p> <p><u>Docente:</u> Cuando están afuera han visto todas esas nubes, que tienen formas diferentes ellas están llenas de agua.</p> 

<p style="text-align: center;">Reflexión y acción</p>	<p style="text-align: center;"><u>Primer momento:</u></p> <p>Se Realizará una actividad de aprendizaje donde se buscará que los niños entiendan las características de cada parte del ciclo del agua.</p>	<p><u>3ª Fase Precipitación:</u> El agua acumulada en las nubes cae del cielo como lluvia o granizo, este proceso del agua se llama precipitación.</p> <p><u>Docente:</u> ¿Niños hace cuantos días llovió aquí?</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p><u>4ª Fase Recolección:</u> Cuando el agua cae en forma de precipitación (lluvia), es colectada por el océano, lagos y ríos. Luego, vuelve a evaporarse nuevamente y continúa el ciclo.</p> <p><u>Docente:</u> ¿Niños donde han visto gran cantidad de agua? ¿Han visitado algún río cerca?</p> <p><u>Nota:</u> Cada vez que se arme un rompecabezas y se socialice se pasara el rompecabezas al otro grupo</p>
<p style="text-align: center;">Evaluación</p>	<p>Se generar un espacio de integración entre los niños donde cada grupo escogerá un representante para describir una de las fases del agua mediante un concurso de preguntas</p>	<p>Cada grupo escogerá un niño para llegar a un punto del salón de clases. El primer grupo que llegue se le hará una pregunta sobre el ciclo del agua si acierta la pregunta se le dará un dulce a cada integrante del grupo.</p> <p>¿Cuál es la fase del agua donde llueve? ¿Cómo se llama la fase donde el agua se convierte en nubes? ¿Cuál es la fase del agua donde el agua está en ríos, mares y lagunas? ¿Cuáles son las fases del ciclo del agua</p>

6.6. Visita Alto Guapaya

Debido al impacto generado por la pandemia del virus covid-19, los viajes y actividades sociales se han dificultado, sin embargo el grupo de *fortalecimiento de los procesos productivos, seguridad alimentaria y nutricional y habitabilidad del espacio territorial de capacitación y reincorporación de charras, San José del Guaviare*, realizo una visita a la vereda de Alto Guapaya con el fin de hacer diversas actividades. En la comunidad se evidenció una gran acogida y confianza, cada integrante estuvo dispuesto a integrarse a las actividades propuestas por el PPU Alimento vida y habitad. Los

talleres propuestos con respecto al uso y conservación del agua se realizaron con un total de 13 niños, la profesora de la escuela de la comunidad y 3 adultos pertenecientes a la comunidad, en los talleres se realizaron actividades de reconocimiento de las características del agua y de su ciclo como se describe en las fichas pedagógicas (**Actividad 1 y 2**); en las **Figuras 12, 13 y 14**, se observa a los niños y a la profesora de la comunidad realizando unos rompecabezas acerca del ciclo del agua, al finalizar la actividad el material fue entregado a la profesora de la comunidad, con el fin de afianzar el conocimiento del ciclo del agua desde la primera infancia.



Figura 14. Presentación de los niños y de la maestra a los niños de la comunidad



Figura 14. Explicación de las fases del ciclo del agua del agua



Figura 14. Aprendizaje del ciclo del agua tercera fase precipitación

CONCLUSIONES

- La revisión de referentes bibliográficos de las tecnologías de tratamiento contempladas en el prototipo de sistema de filtración descentralizado demuestra que son apropiadas para ser usadas en conjunto para asegurar la calidad microbiológica el agua
- A través de los lineamientos acerca del uso y el mantenimiento del sistema de filtración descentralizado, se establece el cuidado del agua que se consume, desde el cuidado de la fuente hasta su almacenamiento seguro.
- Se realizaron actividades de sensibilización sobre el cuidado y conservación del agua como recurso, adicionalmente se incluyeron recomendaciones acerca del mantenimiento del sistema de filtración para asegurar su funcionamiento.

RECOMENDACIONES

Determinar la eficacia del prototipo en remoción de indicadores, por medio de pruebas microbiológicas como filtración por membrana en pruebas de laboratorio y en la comunidad.

Es importante seguir trabajando en material educativo con toda la comunidad, encadenando los aprendizajes en las diversas áreas, de manera que el conocimiento adquirido acerca sobre el agua como recurso natural perdure en la comunidad.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, S., Hashmi, I., Rehman, M. S. U., Qazi, I. A., Awan, M. A., & Nasir, H. (2015). Monitoring of chlorination disinfection by-products and their associated health risks in drinking water of Pakistan. *Journal of Water and Health*, 13 (1), 270–284. <https://doi.org/10.2166/wh.2014.096>
- Abu Hasan, H., Muhammad, M. H., & Ismail, N. I. (2020). A review of biological drinking water treatment technologies for contaminants removal from polluted water resources. *Journal of Water Process Engineering*, 33 (November 2019), 101035. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101035>
- Agrawal, A., Sharma, N., & Sharma, P. (2020). Designing an economical slow sand filter for households to improve water quality parameters. *Materials Today: Proceedings*, 43, 1582–1586. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.450>
- Alsulaili, A., Al-Harbi, M., & Elsayed, K. (2020). The influence of household filter types on quality of drinking water. *Process Safety and Environmental Protection*, 143, 204–211. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2020.06.051>
- Andreoli, F. C., & Sabogal-Paz, L. P. (2020). Household slow sand filter to treat groundwater with microbiological risks in rural communities. *Water Research*, 186, 116352. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116352>
- Bianco, K., Albano, R. M., de Oliveira, S. S. A., Nascimento, A. P. A., dos Santos, T., & Clementino, M. M. (2020). Possible health impacts due to animal and human fecal pollution in water intended for drinking water supply of Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, 69 (1), 70–84. <https://doi.org/10.2166/aqua.2019.061>
- Boon, N., Pycke, B. F. G., Marzorati, M., & Hammes, F. (2011). Nutrient gradients in a granular activated carbon biofilter drives bacterial community organization and dynamics. *Water Research*, 45 (19), 6355–6361. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.09.016>
- CAWST. (2012). *Manual de construcción del filtro de bioarena*. <https://resources.cawst.org/construction-manual/a90b9f50/biosand-filter-construction-manual>
- Centro de Control y Prevención de Enfermedades. (2012). *Cómo Desinfectar el Agua*. https://www.cdc.gov/healthywater/pdf/emergency/09_202278-B_Make_Water_Safe_Flyer_es_508.pdf
- Cheswick, R., Moore, G., Nocker, A., Hassard, F., Jefferson, B., & Jarvis, P. (2020). Chlorine disinfection of drinking water assessed by flow cytometry: New insights. *Environmental Technology and Innovation*, 19, 101032. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101032>
- Coli, E. (2018). *Coliforms, Total and*. 1–12.
- Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2018). Conpes 3918. Estrategia para la implementación de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en Colombia. *Documento Conpes 3918*, 74. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3918.pdf>

- Cuellar, J. A. G., Guerrero, M. N. M., Osorio, L. K., Arango, & Barrera, I. C. S. (2018). Relación de la calidad del agua para consumo humano con la incidencia de enfermedad diarreica aguda en Colombia, 2017. *Instituto Nacional de Salud*, 7–8. <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/Enfermedades-vehiculizadas-por-agua-2017.pdf>
- Cuthbertson, A. A., Kimura, S. Y., Liberatore, H. K., Knappe, D. R. U., Stanford, B., Summers, R. S., Dickenson, E. R., Maness, J. C., Glover, C., Selbes, M., & Richardson, S. D. (2020). GAC to BAC: Does it make chloraminated drinking water safer? *Water Research*, 172, 115432. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115432>
- de Souza, F. H., Pizzolatti, B. S., & Sens, M. L. (2021). Backwash as a simple operational alternative for small-scale slow sand filters: From conception to the current state of the art. *Journal of Water Process Engineering*, 40 (February 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101864>
- Deshmukh, R. A., Joshi, K., Bhand, S., & Roy, U. (2016). Recent developments in detection and enumeration of waterborne bacteria: a retrospective minireview. *MicrobiologyOpen*, 5 (6), 901–922. <https://doi.org/10.1002/mbo3.383>
- Dhiman Roy, K. Das. (2015). Sustainable Management for Arsenic (As) Free Safe Drinking Water in Bangladesh: A Review. *Journal of Petroleum & Environmental Biotechnology*, 06 (04), 1–6. <https://doi.org/10.4172/2157-7463.1000228>
- Doyle, M. P., Brien, A. O., Maloy, S., Acheson, D., Feng, P., & Guerrant, R. (2011). & deAdly *Applied nutrition*.
- Du, Y., Lv, X. T., Wu, Q. Y., Zhang, D. Y., Zhou, Y. T., Peng, L., & Hu, H. Y. (2017). Formation and control of disinfection byproducts and toxicity during reclaimed water chlorination: A review. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 58, 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.01.013>
- EPA. (2002). Method 1604: Total Coliforms and. *United States Environmental Protection Agency (EPA)*, September, 18.
- Gabriel, B. (2011). *Wastewater Microbiology* (4th ed.). John Wiley & Sons, Incorporated. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliojaveriana-ebooks/detail.action?docID=624479>.
- García, L., Leyva-Díaz, J. C., Díaz, E., & Ordóñez, S. (2021). A review of the adsorption-biological hybrid processes for the abatement of emerging pollutants: Removal efficiencies, physicochemical analysis, and economic evaluation. *Science of the Total Environment*, 780. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146554>
- Gilca, A. F., Teodosiu, C., Fiore, S., & Musteret, C. P. (2020). Emerging disinfection byproducts: A review on their occurrence and control in drinking water treatment processes. *Chemosphere*, 259, 127476. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127476>
- Guan, P., Prasher, S. O., Afzal, M. T., George, S., Ronholm, J., Dhiman, J., & Patel, R. M. (2020). Removal of Escherichia coli from lake water in a biochar-amended biosand filtering system. *Ecological Engineering*, 150 (March), 105819. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105819>

- Haig, S. J., Collins, G., Davies, R. L., Dorea, C. C., & Quince, C. (2011). Biological aspects of slow sand filtration: Past, present and future. *Water Science and Technology: Water Supply*, *11* (4), 468–472. <https://doi.org/10.2166/ws.2011.076>
- Herschy, R. W. (2012). Water quality for drinking: WHO guidelines. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, 876–883. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6_184
- Howard, G., Calow, R., Macdonald, A., & Bartram, J. (2016). Climate Change and Water and Sanitation: Likely Impacts and Emerging Trends for Action. *Annual Review of Environment and Resources*, *41*, 253–276. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085856>
- INCA. (2019). *Inca, 2019*. www.inca.gov.br
- Kennedy, T. J., Anderson, T. A., Hernandez, E. A., & Morse, A. N. (2013). Determining the operational limits of the biosand filter. *Water Science and Technology: Water Supply*, *13* (1), 56–65. <https://doi.org/10.2166/ws.2012.075>
- Korotta-Gamage, S. M., & Sathasivan, A. (2017). A review: Potential and challenges of biologically activated carbon to remove natural organic matter in drinking water purification process. *Chemosphere*, *167*, 120–138. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.097>
- Kumar, S., Nehra, M., Mehta, J., Dilbaghi, N., Marrazza, G., & Kaushik, A. (2019). Point-of-care strategies for detection of waterborne pathogens. *Sensors (Switzerland)*, *19* (20), 1–18. <https://doi.org/10.3390/s19204476>
- Levy, K., Anderson, L., Robb, K. A., Cevallos, W., Trueba, G., & Eisenberg, J. N. S. (2014). Household effectiveness vs. laboratory efficacy of point-of-use chlorination. *Water Research*, *54*, 69–77. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.01.037>
- Li, X., Li, A., Li, Z., Sun, H., Shi, P., Zhou, Q., & Shuang, C. (2021). Organic micropollutants and disinfection byproducts removal from drinking water using concurrent anion exchange and chlorination process. *Science of the Total Environment*, *752*, 141470. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141470>
- Liu, L., Fu, Y., Wei, Q., Liu, Q., Wu, L., Wu, J., & Huo, W. (2019). Applying bio-slow sand filtration for water treatment. *Polish Journal of Environmental Studies*, *28* (4), 2243–2251. <https://doi.org/10.15244/pjoes/89544>
- Lu, Z., Sun, W., Li, C., Cao, W., Jing, Z., Li, S., Ao, X., Chen, C., & Liu, S. (2020). Effect of granular activated carbon pore-size distribution on biological activated carbon filter performance. *Water Research*, *177*, 115768. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115768>
- Lucier, K. J., Dickson-Anderson, S. E., & Schuster-Wallace, C. J. (2017). Effectiveness of silver and copper infused ceramic drinking water filters in reducing microbiological contaminants. *Journal of Water Supply: Research and Technology - AQUA*, *66* (7), 528–536. <https://doi.org/10.2166/aqua.2017.028>
- MacKeown, H., Adusei Gyamfi, J., Schouttetten, K. V. K. M., Dumoulin, D., Verdickt, L., Ouddane, B., & Criquet, J. (2020). Formation and removal of disinfection by-products in a full scale drinking water treatment plant. *Science of the Total Environment*, *704*, 135280.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135280>

- Mazhar, M. A., Khan, N. A., Ahmed, S., Khan, A. H., Hussain, A., Rahisuddin, Changani, F., Yousefi, M., Ahmadi, S., & Vambol, V. (2020). Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water – A review. *Journal of Cleaner Production*, 273. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123159>
- McKie, M. J., Andrews, S. A., & Andrews, R. C. (2016). Conventional drinking water treatment and direct biofiltration for the removal of pharmaceuticals and artificial sweeteners: A pilot-scale approach. *Science of the Total Environment*, 544, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.11.145>
- Ministerio de la protección social. (2007). Resolución 2115/2007. *Gaceta Oficial*, 23. http://www.lasalle.edu.co/wps/wcm/connect/d951c109-a227-44a3-8a42-1d1f87db2b43/Resolución_2115-2007.pdf?MOD=AJPERES
- Minsalud. (2019). INFORME NACIONAL DE LA CALIDAD DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO – INCA 2017 Bogó. In *Minsalud* (Vol. 3).
- Mutemi, S., Hoko, Z., & Makurira, H. (2020). Investigating feasibility of use of bio-sand filters for household water treatment in Epworth, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 117 (June 2019), 102864. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102864>
- Napotnik, J. A., Baker, D., & Jellison, K. L. (2021). Influence of sand depth and pause period on microbial removal in traditional and modified biosand filters. *Water Research*, 189. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116577>
- Noubactep, C., Caré, S., Togue-Kamga, F., Schöner, A., & Wofo, P. (2010). Extending Service Life of Household Water Filters by Mixing Metallic Iron with Sand. *Clean - Soil, Air, Water*, 38 (10), 951–959. <https://doi.org/10.1002/clen.201000177>
- Nowotny, N., Epp, B., Von Sonntag, C., & Fahlenkamp, H. (2007). Quantification and modeling of the elimination behavior of ecologically problematic wastewater micropollutants by adsorption on powdered and granulated activated carbon. *Environmental Science and Technology*, 41 (6), 2050–2055. <https://doi.org/10.1021/es0618595>
- Ofori, I., Maddila, S., Lin, J., & Jonnalagadda, S. B. (2017). Chlorine dioxide oxidation of *Escherichia coli* in water—A study of the disinfection kinetics and mechanism. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, 52 (7), 598–606. <https://doi.org/10.1080/10934529.2017.1293993>
- Oh, S., Hammes, F., & Liu, W. T. (2018). Metagenomic characterization of biofilter microbial communities in a full-scale drinking water treatment plant. *Water Research*, 128, 278–285. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.10.054>
- OMS/UNICEF. (2015). La meta mundial de los ODM relativa al agua potable (que el 88% de la población tuviera acceso a fuentes mejoradas para 2015) se alcanzó y superó en 2010. 1. *Oms*, 4. https://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/#
- OMS. (2009). Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua. *International Water*

- Association, 116. http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789243562636_spa.pdf
- ONU. (2010). El derecho humano al agua y al saneamiento. *28 De Julio De 2010*, 1–7. http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief_spa.pdf
- OPS. (2010). *21 Sorbos de Vida Agua para Consumo en la Vivienda*. <http://www.bvsde.paho.org/bvsasv/fulltext/hogar/tema2.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). *Water, sanitation, hygiene and health A PRIMER FOR HEALTH PROFESSIONALS*. 31. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/330100/WHO-CED-PHE-WSH-19.149-eng.pdf?ua=1>
- Organización Mundial de La Salud. (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano. *Organización Mundial de La Salud*, 4, 608. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Orner, K. D., Calvo, A., Zhang, J., & Mihelcic, J. R. (2017). Effectiveness of in-line chlorination in a developing world gravity-flow water supply. *Waterlines*, 36 (2), 167–182. <https://doi.org/10.3362/1756-3488.16-00016>
- Pandit, A. B., & Kumar, J. K. (2015). Clean Water for Developing Countries. *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 6, 217–246. <https://doi.org/10.1146/annurev-chembioeng-061114-123432>
- Para, C., Desarrollo, E. L., & Del, S. (2018). *SUBDIRECCIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL PROGRAMA DE TASAS RETRIBUTIVAS 2018 DOCUMENTACIÓN DEL PROCESO DE CONSULTA PARA EL DBO5 Y SST ESTADO DE CALIDAD DE AGUA DEL TRAMO 1 Y 2 - RIO OCOA Villavicencio , Octubre de 2018*. http://www.cormacarena.gov.co/VERSION-2009/tasa_retributiva/MONITOREO_FUENTES_HIDRICAS/PROCESO_DE_CONSULTA/7.TR-007-18_RIO_OCOA.PDF
- Percival, S. L., Yates, M. V., Williams, D., Chalmers, R., & Gray, N. (2013). *Microbiology of Waterborne Diseases : Microbiological Aspects and Risks* (2nd ed.). Elsevier Science & Technology. <https://ebookcentral-proquest-com.ezproxy.javeriana.edu.co/lib/bibliojaveriana-ebooks/reader.action?docID=1562325&query=MICROBIOLOGY+OF+WATERBORNE+DISEASES>
- Pfannes, K. R., Langenbach, K. M. W., Pilloni, G., Stührmann, T., Euringer, K., Lueders, T., Neu, T. R., Müller, J. A., Kästner, M., & Meckenstock, R. U. (2015). Selective elimination of bacterial faecal indicators in the Schmutzdecke of slow sand filtration columns. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 99 (23), 10323–10332. <https://doi.org/10.1007/s00253-015-6882-9>
- Piai, L., Blokland, M., van der Wal, A., & Langenhoff, A. (2020). Biodegradation and adsorption of micropollutants by biological activated carbon from a drinking water production plant. *Journal of Hazardous Materials*, 388 (January).

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122028>

- Ríos-Tobón, S., Agudelo-Cadavid, R. M., & Gutiérrez-Builes, L. A. (2017). Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 35 (2), 236–247. <https://doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08>
- Rodger B. Baird, Andrew D: Eaton, E. W. R. (2017). *Standard Methods for the Examination of water and wastewater*.
- Ross, P. S., van der Aa, L. T. J., van Dijk, T., & Rietveld, L. C. (2019). Effects of water quality changes on performance of biological activated carbon (BAC) filtration. *Separation and Purification Technology*, 212 (July 2018), 676–683. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.11.072>
- Sabogal-Paz, L. P., Campos, L. C., Bogush, A., & Canales, M. (2020). Household slow sand filters in intermittent and continuous flows to treat water containing low mineral ion concentrations and Bisphenol A. *Science of the Total Environment*, 702, 135078. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135078>
- Salamanca, E. (2017). Tratamiento de aguas para el consumo humano. *Módulo Arquitectura CUC*, 17 (1), 29–48. <https://doi.org/10.17981/moducuc.17.1.2016.02>
- Satya Sai, P. M., & Krishnaiah, K. (2005). Development of the pore-size distribution in activated carbon produced from coconut shell char in a fluidized-bed reactor. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 44 (1), 51–60. <https://doi.org/10.1021/ie0400090>
- Saxena, G., Bharagava, R. N., Kaithwas, G., & Raj, A. (2015). Microbial indicators, pathogens and methods for their monitoring in water environment. *Journal of Water and Health*, 13 (2), 319–339. <https://doi.org/10.2166/wh.2014.275>
- Shah, M. P., & Rodriguez-Couto, and S. (2019). *Microbial Wastewater Treatment*. Elsevier. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliojaveriana-ebooks/detail.action?docID=5789649>.
- Sikder, M., Naumova, E. N., Ogudipe, A. O., Gomez, M., & Lantagne, D. (2021). Fecal indicator bacteria data to characterize drinking water quality in low-resource settings: Summary of current practices and recommendations for improving validity. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18 (5), 1–19. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052353>
- Sikder, M., String, G., Kamal, Y., Farrington, M., Rahman, A. S., & Lantagne, D. (2020). Effectiveness of water chlorination programs along the emergency-transition-post-emergency continuum: Evaluations of bucket, in-line, and piped water chlorination programs in Cox's Bazar. *Water Research*, 178, 115854. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115854>
- Singer, S., Skinner, B., & Cantwell, R. E. (2017). Impact of surface maintenance on BioSand filter performance and flow. *Journal of Water and Health*, 15 (2), 262–272. <https://doi.org/10.2166/wh.2017.129>
- Siwila, S., & Brink, I. C. (2019). Comparison of five point-of-use drinking water technologies using a specialized comparison framework. *Journal of Water and Health*, 17 (4), 568–586.

<https://doi.org/10.2166/wh.2019.041>

- Solsona, F. and Méndez, J. P. (2002). *Desinfección de agua*. 60–98.
- USEPA. (2006). in Water by Membrane Filtration Using membrane-Thermotolerant Escherichia coli Agar (mTEC). *United States Environmental Protection Agency (EPA)*, July, 45.
- USEPA. (2014). Method 1603: E. coli in Water by Membrane Filtration Using Modified mTEC. In *United States Environmental Protection Agency (EPA)* (Issue September).
- van Hise, J., & Massey, D. W. (2010). Applying the Ignatian Pedagogical Paradigm to the Creation of an Accounting Ethics Course. *Journal of Business Ethics*, 96 (3), 453–465. <https://doi.org/10.1007/s10551-010-0477-2>
- Vega Serrano, H. A. (2013). *Evaluación Del Sistema De Filtración En Múltiples Etapas Fime En Tanques Plásticos Con Pre-Sedimentación Y Retro-Lavado En La Hacienda Majavita (Socorro, Santander)*. 117. http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/151/1/402_Vega_Serrano_Haimar_Ariel_2013_Documento.pdf
- Vehiculizadas, E., & Eva, A.-. (2015). Enfermedades Vehiculizadas por Agua-EVA e Índice de Riesgo de la Calidad-IRCA. Colombia 2014. *Instituto Nacional de Salud*.
- Vergine, P., Salerno, C., Barca, E., Berardi, G., & Pollice, A. (2017). Identification of the faecal indicator Escherichia coli in wastewater through the β -D-glucuronidase activity: Comparison between two enumeration methods, membrane filtration with TBX agar, and Colilert®-18. *Journal of Water and Health*, 15 (2), 209–217. <https://doi.org/10.2166/wh.2016.119>
- Verma, S., Daverey, A., & Sharma, A. (2017). Slow sand filtration for water and wastewater treatment—a review. *Environmental Technology Reviews*, 6 (1), 47–58. <https://doi.org/10.1080/21622515.2016.1278278>
- Wang, H., Narihiro, T., Straub, A. P., Pugh, C. R., Tamaki, H., Moor, J. F., Bradley, I. M., Kamagata, Y., Liu, W. T., & Nguyen, T. H. (2014). MS2 bacteriophage reduction and microbial communities in biosand filters. *Environmental Science and Technology*, 48 (12), 6702–6709. <https://doi.org/10.1021/es500494s>
- Wang, J., de Ridder, D., van der Wal, A., & Sutton, N. B. (2020). Harnessing biodegradation potential of rapid sand filtration for organic micropollutant removal from drinking water: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 0 (0), 1–33. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1771888>
- World Health Organization. (2019). Results of Round II of the WHO International Scheme to Evaluate Household Water Treatment Technologies chlo. In *Who*. [http://eutils.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/eutils/elink.fcgi?dbfrom=pubmed&id=15620560&retmode=ref&cmd=prlinks%5Cnpapers2://publication/doi/10.1016/S1473-3099\(04\)01253-8%5Cnhttp://www.who.int/household_water/scheme/household-water-treatment-report-round-1/en/#](http://eutils.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/eutils/elink.fcgi?dbfrom=pubmed&id=15620560&retmode=ref&cmd=prlinks%5Cnpapers2://publication/doi/10.1016/S1473-3099(04)01253-8%5Cnhttp://www.who.int/household_water/scheme/household-water-treatment-report-round-1/en/#)
- Young-Rojanschi, C., & Madramootoo, C. (2014). Intermittent versus continuous operation

of biosand filters. *Water Research*, 49 (1), 1–10.
<https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.11.011>

Zhang, D. Y., Li, W. G., Zhang, S. M., Liu, M., Zhao, X. Y., & Zhang, X. C. (2011). Bacterial community and function of biological activated carbon filter in drinking water treatment. *Biomedical and Environmental Sciences*, 24 (2), 122–131. <https://doi.org/10.3967/0895-3988.2011.02.006>

Zhang, Y., Hong, P. Y., LeChevallier, M. W., & Liu, W. T. (2015). Phenotypic and phylogenetic identification of coliform bacteria obtained using 12 coliform methods approved by the U.S. Environmental Protection Agency. *Applied and Environmental Microbiology*, 81 (17), 6012–6023. <https://doi.org/10.1128/AEM.01510-15>

Zhiteneva, V., Ziemendorf, É., Sperlich, A., Drewes, J. E., & Hübner, U. (2020). Differentiating between adsorption and biodegradation mechanisms while removing trace organic chemicals (TOrcs) in biological activated carbon (BAC) filters. *Science of the Total Environment*, 743. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140567>

Anexo A. Descriptores iniciales de búsqueda en las bases de datos seleccionadas.

Base de datos	Tecnología	Descriptores de búsqueda
Scopus	Sand filter	(TITLE-ABS-KEY (bio-sand AND filters) OR TITLE-ABSKEY (sand AND filter) AND TITLE-ABS-KEY (water AND drinking) OR TITLE-ABS-KEY (water AND treatment) OR TITLE-ABS-KEY (rural AND zone)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI")) OR LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Sand")) (LIMIT-TO (EXACTKEYWORD, "Biofiltration"))
	Activated carbón filter	(TITLE-ABS KEY ("biological AND activated AND carbon") AND TITLE-ABS-KEY (water) AND TITLE-ABS-KEY (drinking OR treatment) AND TITLE-ABS-KEY (filter)
	Chlorination	(TITLE-ABS-KEY (chlorination) AND TITLE-ABS-KEY (disinfection) AND TITLE-ABS-KEY (drinking AND water) OR OR TITLE-ABS-KEY (water AND treatment) TITLE-ABS-KEY (rural AND zone)) AND (LIMITTO (EXACTKEYWORD, "Water Supply"))
Ebscohost	Sand filter	Ti,AB ("biological activated carbon" AND water AND (drinking OR treatment) AND filter AND maintenance)
	Activated carbón filter	Ti,AB ("biological activated carbon" AND water AND (drinking OR treatment) AND filter AND maintenance)
	Chlorination	TI ("Chlorination") OR AB ("Rural zone OR Low-cost technology") OR AB (water disinfection AND "Drinking water") NOT TX (water treatment)
Proquest	Sand filter	ti ("Bio-sand filters") AND ti ("sand filter") OR ft (water disinfection) AND ft (rural zone)
	Activated carbón filter	ti (activated carbon filters) AND ab (Filtration) AND ab (Drinking water) AND ab (water treatment)
	Chlorination	ti (chlorination of drinking water) AND ab (water treatment) AND ab (Disinfection)
Science direct	Sand filter	("Sand filters" OR "Bio-sand") AND (drinking water OR water treatment OR water filters) AND (rural zone)
	Activated carbón filter	("Activated carbon filters" OR "Activated carbon) AND (drinking water OR water treatment) AND (rural zone)
	Chlorination	("Chlorination" OR "water disinfection") AND (drinking water OR elimination of microorganisms OR water treatment) AND (rural zone)

Anexo B. Tabla de conocimientos de artículos seleccionados

Tratamiento	Título	Revista	Base de datos	Año de publicación
Filtros de arena	Removal of <i>Escherichia coli</i> from lake water in a biochar-amended biosand filtering system	<i>Ecological Engineering</i>	Science direct	2020
	Household slow sand filters in intermittent and continuous flows to treat water containing low mineral ion concentrations and Bisphenol A	<i>Science of The Total Environment</i>	Science direct	2020
	Influence of sand depth and pause period on microbial removal in traditional and modified biosand filters	<i>Water Research</i>	Science direct	2021
	Determining the operational limits of the biosand filter	<i>Water Science & Technology: Water Supply</i>	Proquest	2013
	Biological aspects of slow sand filtration: past, present and future	<i>Water Science & Technology: Water Supply /</i>	Proquest	2011
	Impact of surface maintenance on BioSand filter performance and flow	<i>Water & Health</i>	Scopus	2017
	Metagenomic characterization of biofilter microbial communities in a full-scale drinking water treatment plant	<i>Water Research</i>	Science direct	2018
	Slow sand filtration for water and wastewater treatment – a review	<i>Environmental Technology Reviews</i>	EbscoHost	2017
	Influence of sand depth and pause period on microbial removal in traditional and modified biosand filters	<i>Water Research</i>	Science direct	2021
	Harnessing biodegradation potential of rapid sand filtration for organic micropollutant removal from drinking water: A review	<i>Critical Reviews in Environmental Science and Technology</i>	Scopus	2020
	Applying bio-slow sand filtration for water treatment	<i>Polish Journal of Environmental Studies</i>	EbscoHost	2019

Filtros de arena	MS2 bacteriophage reduction and microbial communities in biosand filters	<i>Environmental Science and Technology</i>	Proquest	2014
	Investigating feasibility of use of bio-sand filters for household water treatment in Epworth, Zimbabwe	<i>Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C</i>	Science direct	2020
	Designing an economical slow sand filter for households to improve water quality parameters	<i>Materials Today: Proceedings</i>	Science direct	2020
	Selective elimination of bacterial faecal indicators in the Schmutzdecke of slow sand filtration columns	<i>Applied Microbiology and Biotechnology</i>	Science direct	2015
	Applying bio-slow sand filtration for water treatment	<i>Polish Journal of Environmental Studies</i>	EbscoHost	2019
	Nutrient gradients in a granular activated carbon biofilter drives bacterial community organization and dynamics	<i>Water Research</i>	Science direct	2011
	Backwash as a simple operational alternative for small-scale slow sand filters: From conception to the current state of the art.	<i>Journal of Water Process Engineering</i>	Science direct	2021
	Intermittent versus continuous operation of biosand filters	<i>Water Research</i>	Scopus	2014
Carbón activado	Emerging disinfection byproducts: A review on their occurrence and control in drinking water treatment processes	<i>Chemosphere</i>	Science direct	2020
	Effect of granular activated carbon pore-size distribution on biological activated carbon filter performance	<i>Water Research</i>	Science direct	2020
	Effects of water quality changes on performance of biological activated carbon (BAC) filtration	<i>Separation and Purification Technology</i>	Science direct	2019
	A review: Potential and challenges of biologically activated carbon to remove natural organic matter in drinking water purification process	<i>Chemosphere</i>	Science direct	2017
	A review of biological drinking water treatment technologies for	<i>Journal of Water Process Engineering</i>	Science direct	2020

Carbón activado	contaminants removal from polluted water resources			
	Differentiating between adsorption and biodegradation mechanisms while removing trace organic chemicals (TOrCs) in biological activated carbon (BAC) filters	<i>Science of the Total Environment</i>	Science direct	2020
	Biodegradation and adsorption of micropollutants by biological activated carbon from a drinking water production plant	<i>Journal of Hazardous Materials</i>	Science direct	2020
	GAC to BAC: Does it make chloraminated drinking water safer?	<i>Water Research</i>	Science direct	2020
	Formation and removal of disinfection by-products in a full-scale drinking water treatment plant	<i>Science of the Total Environment</i>	Science direct	2020
	Conventional drinking water treatment and direct biofiltration for the removal of pharmaceuticals and artificial sweeteners	<i>Science of the Total Environment</i>	Science direct	2016
	A review of the adsorption-biological hybrid processes for the abatement of emerging pollutants: Removal efficiencies, physicochemical analysis, and economic evaluation	<i>Science of the Total Environment</i>	Science direct	2021
Cloración	Emerging disinfection byproducts: A review on their occurrence and control in drinking water treatment processes	<i>Chemosphere</i>	EbscoHost	2020
	Fecal indicator bacteria data to characterize drinking water quality in low-resource settings: Summary of current practices and recommendations for improving validity	<i>International Journal of Environmental Research and Public Health</i>	Science direct	2021
	Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water – A review	<i>Journal of Cleaner Production</i>	Science direct	2020
	Household effectiveness vs. laboratory efficacy of point-of-use chlorination	<i>Water Research</i>	Scopus	2014
	Chlorine dioxide oxidation of Escherichia coli in water–A	<i>Journal of Environmental Science and Health</i>	Scopus	2017

Cloración	study of the disinfection kinetics and mechanism			
	Chlorine disinfection of drinking water assessed by flow cytometry: New insights	Environmental Technology and Innovation	Science direct	2020
	Effectiveness of in-line chlorination in a developing world gravity-flow water supply	Waterlines	Proquest	2017
	Organic micropollutants and disinfection byproducts removal from drinking water using concurrent anion exchange and chlorination process	Science of the Total Environment	Science direct	2021