

ANÁLISIS DE MÉTODOS INNOVADORES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
SUPERFICIALES POR MEDIO DE FILTROS BIOLÓGICOS PARA IMPLEMENTACIÓN
EN EL SECTOR SEMIURBANO EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO, META.



CLAUDIA MILENA GUTIÉRREZ LA TORRE



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
VILLAVICENCIO
2025

ANÁLISIS DE MÉTODOS INNOVADORES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS
SUPERFICIALES POR MEDIO DE FILTROS BIOLÓGICOS PARA IMPLEMENTACIÓN
EN EL SECTOR SEMIURBANO EN LA CIUDAD DE VILLAVICENCIO, META.

CLAUDIA MILENA GUTIÉRREZ LA TORRE

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título Ingeniero Civil

Director

Ing. Mg. LIZETH LUCERO DÍAZ SUESCÚN

Especialista en Recursos Hídricos

Magíster MBA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
VILLAVICENCIO

2025

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O. P.

Rector General

P. Mauricio Antonio CORTES GALLEGO, O. P.

Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O. P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Adrián Mauricio GARCÍA PEÑARANDA, O. P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

Mg. LUIS FERNANDO DÍAZ CRUZ

Decano de la Facultad de ingeniería civil

Agradecimientos

La culminación de este proyecto representa el esfuerzo de muchas personas, que de diferentes formas me han acompañado a lo largo de esta carrera, a todas ellas les expreso mi más sincero agradecimiento.

A mis padres, por darme guía, apoyo y amor incondicional, por enseñarme el valor del esfuerzo y la perseverancia, este logro es tan suyo como mío.

A mi hermano por ser inspiración en cada etapa de este recorrido, su amor y cariño fueron fundamentales para continuar con la mejor energía cada etapa.

A mi directora de monografía, Lizeth Lucero Díaz Suescún, quien con paciencia, dedicación y conocimiento supo orientarme y enriquecer este trabajo de investigación, su apoyo fue un pilar fundamental en este proceso.

A las instituciones y personas que brindaron su apoyo, información o recursos para el desarrollo de esta investigación, fue crucial para alcanzar este objetivo.

A mis amigas y futuras colegas Angela Mariño y Xiomara Munévar, por ser mi refugio en momentos de estrés y cansancio, y por recordarme siempre que con determinación todo es posible.

Finalmente, a todos aquellos que, de forma directa o indirecta, influyeron positivamente en mi vida durante este periodo, mi más profundo agradecimiento.

Gracias por creer en mí, apoyarme y guiarme en este proceso.

Resumen

La presente monografía se enfoca en encontrar una solución alternativa para el aprovechamiento del recurso hídrico en la ciudad de Villavicencio, ya que actualmente cuenta con la problemática de abastecimiento por fuertes precipitaciones provocando taponamientos en la bocatoma y ocasionando intermitencia. Los más de 500.000 habitantes se quejan constantemente por falta del recurso en sus hogares, siendo esta investigación profundizada a encontrar una solución diferente por medio de los Biofiltros que puedan usar en los hogares.

La revisión bibliográfica es de suma importancia en esta investigación, ya que de acuerdo a los diversos resultados y comparaciones se llegará a ver las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos para finalmente describir el mejor para uso doméstico siendo de fácil acceso y de gran durabilidad para la comunidad afectada. De acuerdo con el uso y ubicación que se le quiera dar al filtro, puede usarse en zonas urbanas los filtros verticales que son de menor tamaño, prácticos y estéticos, como en zonas rurales los filtros horizontales que se usan en aguas negras, limpiando y dándoles una segunda oportunidad de uso a las mismas para continuar con el ciclo y finalmente entregarla a la naturaleza.

Teniendo en cuenta la investigación se determinará desde la perspectiva bibliográfica el mejor tipo de biofiltro para el aprovechamiento de agua, y así generar una alternativa eficiente para los habitantes de la ciudad de Villavicencio.

Palabras clave: Tratamiento de agua, Filtración, Potabilización, Procesos fisicoquímicos.

Abstract

This monograph focuses on finding an alternative solution for water use in the city of Villavicencio, which currently faces water supply problems due to heavy rainfall, causing blockages in the intake and intermittent water supply. The more than 500,000 residents constantly complain about the lack of water in their homes, and this research is focused on finding an alternative solution through biofilters that can be used in homes.

The literature review is of utmost importance in this research, as the various results and comparisons will reveal the advantages and disadvantages of each method, ultimately identifying the best one for domestic use that is easily accessible and long-lasting for the affected community. Depending on the intended use and location of the filter, vertical filters can be used in urban areas, as they are smaller, practical, and aesthetically pleasing. Horizontal filters are used in rural areas to clean and reuse the wastewater, allowing it to continue the cycle and ultimately return it to nature.

Based on the research, the best type of biofilter for water use will be determined from a bibliographic perspective, thus creating an efficient alternative for the residents of Villavicencio.

Keywords: Water treatment, Filtration, Potabilization, Physicochemical processes.

Contenido

	Pág.
Resumen.....	5
Abstract	6
Introducción	11
1. Planteamiento del problema	13
2. Justificación.....	15
3. Objetivos.....	17
3.1 Objetivo General	17
3.2 Objetivos Específicos.....	17
4. Estado del arte	18
4.1 Antecedentes	18
4.2 Marco Teórico.....	19
4.2.1 Principios de funcionamiento de los Biofiltro	20
4.2.2 Factores que afectan el rendimiento de los Biofiltros.....	20
4.2.3 Aplicaciones de los Biofiltros	21
4.2.4 Ventajas y limitaciones de los Biofiltros	21
4.3 Marco Conceptual	22
4.3.1 Definición y Tipos de Biofiltros	22
4.3.2 Sistemas de tratamiento de agua por biofiltración	22
4.3.3 Principales compuestos presentes en el agua.....	23
4.3.4 Contaminantes presentes en el sistema. Microorganismos patógenos.....	24
4.3.5 Tratamiento de Aguas Residuales.....	25
4.4 Marco Legal	26
5 Metodología.....	29
5.1. Fase 1: Preparatoria.....	29
5.2. Fase 2: Análisis de parámetros.....	29
5.3. Fase 3: Análisis estadístico	29
6 Desarrollo.	31

6.1	Problemática de la contaminación del agua	31
6.2	Importancia del tratamiento del agua.....	32
6.3	Alternativas tecnológicas para la purificación del agua.....	36
6.4	Principios de funcionamiento de los Biofiltros.....	37
6.4.1	Principios físicos: Retención y filtración de sólidos.....	38
6.4.2	Principios Químicos: Eliminación de contaminantes	38
6.4.3	Principios Biológicos: Biopelícula para la eliminación de patógenos	38
6.4.4	Cumplimiento Normativo en Colombia.....	39
6.5	Materiales y diseño de Biofiltros	39
6.5.1	Biofiltro de arena de flujo lento (BAFL)- Opción común	40
6.5.2	Biofiltro de carbón activado.....	41
6.5.3	Biofiltro con llantas recicladas.....	42
6.5.4	Biofiltro modular vertical.....	43
6.5.5	Comparación rápida de los diseños.....	44
6.6	Aplicaciones y casos de estudio.....	45
6.7	Evaluación de la eficiencia de los Biofiltros.....	50
	Conclusiones	54
	Recomendaciones.....	55
	Bibliografía	56

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Comparación de diseños	44
Tabla 2 Detalle de caracterización del afluente y efluente del biofiltro	46
Tabla 3 Componentes utilizados en el biofiltro experimental	48
Tabla 4 Fases de crecimiento y desarrollo de microalgas.....	49
Tabla 5 Comparación de los sistemas de filtración.....	50
Tabla 6 Detalle de caracterización de afluente y efluentes de los biofiltros	52

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Partes y funcionamiento de un biofiltro	20
Figura 2 Principales fuentes de contaminación del agua	32
Figura 3Proceso de tratamiento de aguas.....	33
Figura 4Problemas comunes en el tratamiento de aguas	35
Figura 5Sistema de filtración con filtro de arena.....	40
Figura 6 Estructura de un filtro lento de arena.....	41
Figura 7 Esquema de filtro modular vertical	43
Figura 8 Biofiltro con Fibra de coco	45
Figura 9 Sistema de Biofiltración con fibra de coco.....	46
Figura 10 Disposición de los ocho biofiltros	47
Figura 11 Modelo de Filter Caps	48
Figura 12 Tratamiento de agua residual en lombrifiltro	49
Figura 13 Proceso de filtración de Filter Caps.....	52

Introducción

El agua siendo el recurso más importante para la vida y el desarrollo afecta directamente el crecimiento y expansión de la población por el mal manejo del recurso provocando conflictos por el poco abastecimiento del agua potable en las ciudades, la falta de agua potable y saneamiento tiene consecuencias con enfermedades como la diarrea y brotes de malaria. Es fundamental realizar una gestión sostenible de este recurso ante las consecuencias que trae el cambio climático siendo necesario adaptarse a la variabilidad del clima, por esta razón se han implementado en Colombia los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) siendo los siguientes: Fin de la pobreza, Hambre cero, Salud y Bienestar, Educación de calidad, Igualdad de género, Agua limpia y Saneamiento, Energía asequible y no contaminante, Trabajo decente y crecimiento económico, Industria Innovación e Infraestructura, Reducción de las desigualdades, Ciudades y comunidades sostenibles, Producción y consumo responsables, Acción por clima, Vida submarina, Vida de ecosistemas terrestres, Paz, justicia e instituciones sólidas, Alianzas para lograr los objetivos. Los ODS además de ser una necesidad impulsan el desarrollo económico, apoyando los ecosistemas saludables y fundamentales para la vida.

En la ciudad de Villavicencio ubicada en el Departamento del Meta, no es de extrañar que haga falta este servicio para la comunidad de forma constante, “alrededor del 70% de la ciudad no cuenta con el abastecimiento cuando se presentan fuertes lluvias que generan la creciente en la quebrada La Honda, desde donde se surte el acueducto de la ciudad ya que se ocasionan daños en las tuberías de la bocatoma.” (Redacción Colombia, 2024) Teniendo en cuenta que la temporada más mojada dura de marzo a diciembre sienta 8,6 meses con probabilidad del 71% de precipitación con solo lluvia con un promedio de 270 milímetros de lluvia en el mes de mayo que es el que más días de lluvia tiene. (Spark, 2024).

Según la información que entrega la oficina de Gestión del Riesgo en Meta, realizando recorrido por la región del Ariari evaluando los daños ocasionados por las fuertes lluvias, registraron que en 25 de los 29 municipios del Meta provocan afectaciones, pero siempre los mayores daños son en la ciudad de Villavicencio, afectando al menos 2.700 familias, entre ellas 20 de Villavicencio por desbordamiento del río Guatiquia, son familias que se deben trasladar a un albergue temporal. En la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio informan que cada que suceden fuertes precipitaciones tienen que hacer cortes del servicio de agua por la alta

turbiedad con que llega el líquido a las bocatomas de la quebrada Honda Blanco, Grande y Fuentes Altas. (El Tiempo, 2022)

Esta Monografía se basa en dar conclusión de forma general a los diferentes documentos que trabajen en la importancia del tratamiento de agua en los hogares por medio de los filtros biológicos ya que son dispositivos que remueven los contaminantes del agua llevado a cabo mediante microorganismos que los degradan biológicamente, contribuyendo a evitar la contaminación y/o desperdicios de la misma de forma económica y eficaz a la población afectada para así evaluar el mejor tipo de biofiltro por medio de una perspectiva crítica para cada uno de los métodos utilizados para el tratamiento, mencionando cada una de sus falencias y ventajas sobre su uso.

1. Planteamiento del problema

El agua es un recurso de total importancia para el desarrollo de la vida humana y el progreso de la sociedad, ocupa alrededor del 70% de la superficie terrestre, actualmente en el año 2023 el total de la población mundial no cuenta con un suministro de este recurso. Con el pasar de los años las grandes potencias han logrado trabajar y avanzar en el suministro de agua apta para usos básicos de la humanidad, sin embargo factores como el cambio climático, la falta de infraestructuras, la educación, la contaminación, los cambios de temperatura y el excesivo crecimiento de la población han hecho que los diferentes países tengan consecuencias por la negligencia en el manejo de los recursos hídricos, la mala calidad del agua tiene consecuencias en la salud y en el medio ambiente volviéndola no apta para su uso y reduciendo la disponibilidad del mismo.

El World Resources Institute (WRI) es una organización sin ánimo de lucro que investiga los recursos que quedan en el planeta, ha publicado en 2021 un informe donde muestra los países con mayor escasez de agua y donde se contempla que el déficit puede incrementar del 40% al 70% en 2040. Un ejemplo es Chile que lidera en Sur América, donde durante sus últimas 3 décadas la disponibilidad de agua ha disminuido entre un 10% y 37% debido al estrés hídrico en este país. (Institute, 2021).

Si hablamos de América Latina, aunque el continente tenga una tercera parte del agua dulce del planeta, registra desigualdad debido a la distribución geográfica donde hay zonas extremadamente húmedas y otras más secas con un 80% de lluvia concentrada, en pocos meses del año siendo que por determinados periodos estén limitados sectores como la agricultura, industrias, minería y producción hidroeléctrica.

Cabe destacar que de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU) estableció metas que culminan en el año 2030 y estamos a casi 7 años de la fecha para cumplir con este Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) donde una de éstas es mejorar la calidad del agua reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales y pueda ser reutilizada sin riesgo a nivel mundial y aún hay más de dos mil millones de personas sin acceso a servicios de agua gestionados de manera segura (Colombia, 2023).

En Colombia, aunque es considerado una potencia hídrica mundial tiene diferentes metas que cumplir para llegar al objetivo, como, por ejemplo, protección y restauración de ecosistemas hídricos de agua dulce; el agua y su gestión deben ser una problemática fundamental en los planes

de adaptación al cambio climático, cada año los ríos en Colombia reciben aproximadamente 918.670 toneladas de materia orgánica no biodegradable.

El estudio Nacional Del Agua (ENA) 2022, revela que aproximadamente el 78% del territorio podría aprovechar las aguas subterráneas, aun así, solo se conocen el 15% de los sistemas acuíferos que son de suma importancia para el agua potable. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2022)

El desabastecimiento de agua en la Ciudad de Villavicencio se debe normalmente a altas precipitaciones que ocasionan daños en la captación para las plantas de tratamiento y distribución, se han realizado en repetidas ocasiones reparaciones a lo largo del año 2023 con ayuda de la Fuerza Aérea Colombiana (FAC), que han servido para retomar el abastecimiento normal de la ciudadanía.

Aunque la ciudad de Villavicencio cuenta con cuatro Plantas de Tratamiento de Agua Potable en fuentes superficiales como son La Esmeralda, Fuentes Altas, Caño Grande y Caño Blanco. La problemática del suministro de agua ocasionado principalmente por accidentes naturales que generan daños en la infraestructura que por su difícil acceso puede llevar a tardar su funcionamiento afectando a la comunidad hasta por semanas del recurso.

Por lo cual ha sido importante brindar una perspectiva a la comunidad de diferentes alternativas que puedan adaptarse a los hogares y a la economía de las personas afectadas, para dar una solución a la problemática actual, por lo cual se ha planteado la siguiente pregunta de investigación:

¿El proceso de biofiltros aumenta el desempeño en la remoción de residuos de aguas superficiales y/o de precipitación y es viable adaptarlo al uso de los hogares?

Los biofiltros son dispositivos que se utilizan para remover contaminantes en el agua, son ideales para evitar la contaminación de cuerpos de agua y generar un impacto positivo ya sea económica o ecológicamente, se pretende realizar la investigación para este artículo y dar la solución más viable junto a sus posibles usos a la problemática de abastecimiento de la ciudad de Villavicencio.

2. Justificación

Actualmente, en la ciudad de Villavicencio se vive una situación compleja relacionada con el suministro poco constante del recurso hídrico, una situación que deben soportar los habitantes en temporadas de altas precipitaciones e igualmente en temporada de sequía, esto se debe a que en épocas de invierno las crecientes de la quebrada la Honda aumenta su caudal generando taponamiento y además socavación en el mismo punto de captación obligando a la empresa prestadora de servicio a suspender el mismo por tiempo indefinido lo cual genera disgusto en los habitantes, ahora, una vez cesan las lluvias, el cauce baja su nivel y el verano provoca que no se cuente con la capacidad suficiente para abastecer a los 552.010 habitantes de la ciudad.

Los habitantes se quejan constantemente por la intermitencia y la situación es grave para sus habitantes ya que deben optar por recoger agua en baldes y correr riesgo de recoger zancudos y presentar problemas de salud e incomodidad para bañarse, siendo así que el 80% de la ciudad depende del agua que suministra la empresa de acueducto. (Blu Radio, 2023).

A causa de las fuertes lluvias en la ciudad, la población ha reportado escasez en los últimos días el año, pese a que la empresa de Acueducto y Alcantarillado en el mes de diciembre del año 2023 aseguró el suministro de agua hasta el mes de marzo. El alcalde Felipe Harman explicó que la ola invernal ha taponado las rejillas y constantemente se realizan intervenciones para mejorar la calidad del servicio. Por ahora, sigue sin haber una solución en el suministro de agua y son varios los sectores de Villavicencio que siguen afectados. (Redacción Periodico del Meta, 2023).

Se puede evidenciar la falta y la necesidad del servicio del recurso hídrico en la ciudad de Villavicencio, aproximadamente el 80% de la población vive estos problemas y ocasionan en la comunidad descontentos, los obliga a buscar a diferentes fuentes de abastecimiento. Los hogares recurren a almacenar excesivamente por días en tanques, baldes, canecas y diferentes formas que finalmente contamina el recurso y genera plagas dañinas para el ser humano, los filtros que tienen los hogares normalmente obtienen el recurso de la tubería por lo que si no hay abastecimiento difícilmente es útil.

Por esto, es importante encontrar desde las diferentes investigaciones sobre biofiltración el mejor y más económico método para utilizar en los hogares, así mismo que sea duradero y elimine los contaminantes dañinos para que se pueda hacer uso del recurso hídrico aprovechando las fuertes lluvias de la ciudad de Villavicencio en un 80% del año, dar a conocer a la población los diferentes

métodos que pueden usar para abastecerse cuando la empresa de servicio lo limita es una solución alternativa para la comunidad.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Analizar el desempeño de diferentes tipos de biofiltros para el tratamiento de aguas superficiales en sectores sin abastecimiento de agua potable que dificulte el aprovechamiento del recurso hídrico.

3.2 Objetivos Específicos

- Estudiar la información del uso de biofiltros en el tratamiento de aguas superficiales y/o de precipitación hasta la actualidad (año 2025).
- Evaluar las características fisicoquímicas finales de cada tipo de biofiltro y compararlo con la normativa necesario para el aprovechamiento de agua.
- Proponer el mejor tipo de biofiltro para uso doméstico desde la perspectiva bibliográfica para el aprovechamiento de agua.

4. Estado del arte

4.1 Antecedentes

Para la redacción del Estado de arte se utilizaron herramientas de búsqueda y bases de datos en los recursos académicos (CRAI) de la Universidad Santo Tomas, base de datos SpringerLink Y Google Académico, contemplando un periodo de 15 años, incluyendo documentos en inglés y en español, abordando Tesis y artículos enfocados en el uso de Biofiltros para el tratamiento de Aguas, con esta información se procede a seleccionar el material que guie la investigación tanto a nivel global como nacional.

Para el año 2015 ya se venían estudiando diversas alternativas utilizando medios filtrantes orgánicos, en este estudio realizado por (Vigueras Cortes Juan Manuel, 2015) donde emplean astillas de madera de mezquite como material filtrante en un sistema de biofiltración a escala en laboratorio, buscaron el efecto de la carga hidráulica superficial sobre la remoción de materia orgánica, material suspendido y microorganismos patógenos, fijándose que cumpliera con la normatividad ambiental de México y Estados Unidos de América. De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación las astillas de madera pueden emplearse como medio de soporte en los biofiltros de pequeños generadores y se puede utilizar para riego agrícola y áreas verdes ya que cumple con los estándares nacionales.

Con el enfoque de filtración orgánica encontramos el uso de material vivo (lombrices) y material inerte siendo viruta y grava, en el proceso de filtración se demuestra que el filtro tiene gran capacidad de remoción de materia orgánica y patógena. En esta investigación (Reyes, 2016) realizo 2 biofiltros, uno con empaque de aserrín y otro con empaque de fibra de coco para tratar el agua residual doméstica, los resultados arrojaron que la eficiencia de los biofiltros son 53.3% y 82.37% respectivamente para a remoción de contaminantes, estando dentro de la normativa de calidad ambiental.

Un experimento realizado por (Santiago, 2019) donde el propósito fue evaluar la incidencia de medios filtrantes de arcilla y cascarilla de arroz con base de grava y arena de sílice, haciendo la remoción de carga orgánica, por medio de un diseño planteando seis tratamiento con 3 repeticiones generando 18 filtros, analizando DBO5 obteniendo una reducción del 50.29% los demás ensayos

no lograron estar debajo del límite permisible por lo tanto no podría usarse como pre tratamiento para el agua residual.

La industria petrolera produce grandes cantidades de aguas residuales, en este proyecto de investigación en el pozo Caño Lima se realizó muestreo y análisis preliminares para el tratamiento de adsorbentes por medio de biofiltros con los lechos: pulas, piedra pómez y arena donde tuvo una remoción de hidrocarburos del 98.50% y el 98.23% respectivamente con los resultados se genera la posibilidad de procesos de aprovechamiento del agua, realizado por (Silvia Andrea García Fonseca, 2020).

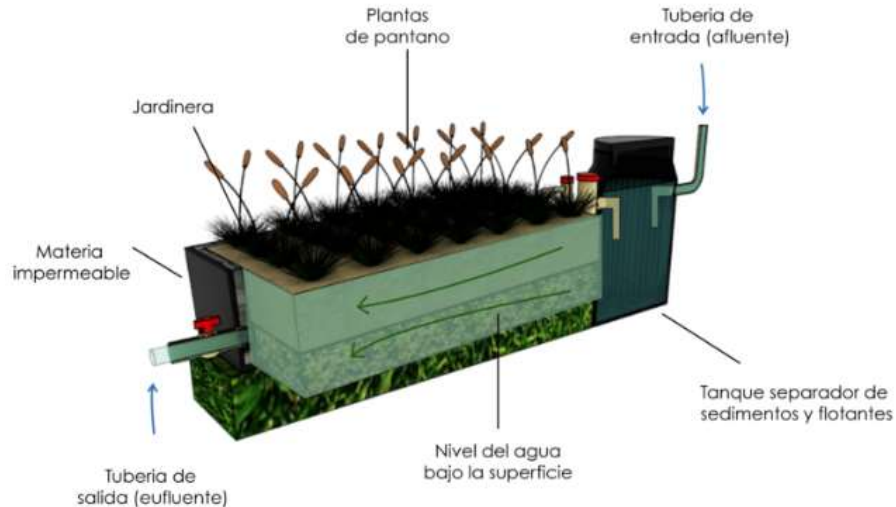
En el año 2021 el Instituto Tecnológico de Massashusetts (MIT) diseñaron un filtro de madera que elimina el 99% de las bacterias en agua contaminada (Romero, 2021) plantearon una solución con un material utilizado para purificar el agua. Las paredes de la xilema consisten en membranas delgadas hechas de lignina y celulosa que se compone de vías conductoras interconectadas capaces de filtrar las impurezas presentes en el agua no potable, puede ser usado por aproximadamente 2 años, el sistema fue capaz de descartar más del 99% de bacterias y virus. Marcos de referencia

4.2 Marco Teórico

Los biofiltros son sistemas de tratamiento del agua que utilizan materiales naturales y orgánicos vivos como microorganismos y plantas, eliminando contaminantes del agua proporcionando una solución efectiva y ecológica para purificar el agua. Estos son filtros para aprovechar los procesos biológicos para eliminar o reducir sustancias nocivas en el agua, los microorganismos presentes el biofiltro metabolizan los contaminantes y los transforman en sustancias menos dañinas.

Los biofiltros se utilizan principalmente para el tratamiento de aguas residuales, tanto industriales como domésticas. Son muy efectivos para eliminar los nutrientes como el nitrógeno y el fosforo, así como la mayoría de las sustancias orgánicas. Además, también pueden ser utilizados para el tratamiento de agua potable, en estos casos, los biofiltros ayudan a eliminar los compuestos orgánicos y los microorganismos presentes en el agua así mejorando su calidad. (Henry, Biofiltros para Aguas Residuales: Soluciones Ecológicas y Efectivas para la Depuración del Agua, 2024)

Figura 1 Partes y funcionamiento de un biofiltro



Nota: Adaptado de las partes y funcionamiento de un biofiltro. (UNAM, 2025) <https://ecotec.unam.mx/ecoteca/biofiltro>.

4.2.1 Principios de funcionamiento de los Biofiltro

El principio de los biofiltros se basa en la oxidación de las sustancias contaminantes por medio de las bacterias que viven en la biopelícula y se alimentan de las sustancias orgánicas presentes en el aire, el cual ingresa al biofiltro pasando de abajo hacia arriba del lecho filtrante, se debe tener un ambiente óptimo para la actividad bacteriana que es mantenido por un riego regular y controlado, así garantizando la eficacia del proceso. Los contaminantes pasan de la fase gaseosa a la fase líquida, donde son usados por la biomasa como alimento que es la fuente de carbono. El gas ya estando limpio sale directamente por la atmósfera en la parte superior. (Condorchem enviro solution, 2025)

4.2.2 Factores que afectan el rendimiento de los Biofiltros

El desempeño de un biofiltro está influenciado por varios factores, tales como:

Naturaleza del contaminante: La biodegradabilidad y toxicidad de los compuestos:

Condiciones ambientales: Temperatura, humedad y pH siempre deben ser óptimos para

la actividad microbiana.

Composición del lecho filtrante: La porosidad, propiedades químicas del material y el área superficial son determinantes para la formación de la biopelícula.

Carga contaminante: El flujo y la concentración de los contaminantes deben ser regulados para evitar la sobresaturación del sistema.

4.2.3 Aplicaciones de los Biofiltros

Los Biofiltros tienen varias aplicaciones en sectores como la industria, la agricultura y el tratamiento de aguas residuales, las siguientes son algunas de las aplicaciones más comunes:

- Control de emisiones de olores en plantas de tratamiento de aguas residuales
- Eliminación de contaminantes en efluentes industriales.
- Tratamiento de lixiviados en vertederos
- Control de gases y aguas tóxicas de procesos de manufactura

4.2.4 Ventajas y limitaciones de los Biofiltros

Ventajas:

- sistemas económicos y sostenibles
- Requieren bajo mantenimiento y consumo energético
- Promueven procesos naturales, evitando el uso de químicos

Limitaciones:

- Sensibilidad a cambios ambientales
- Requieren monitoreo constante para mantener condiciones óptimas
- Limitaciones en la degradación de compuestos altamente tóxicos o no biodegradables.

Los biofiltros son una solución eficiente y ecológica para el tratamiento de aguas residuales, se combinan principios biológicos y tecnológicos. La sostenibilidad de estos posiciona como una herramienta clave en la gestión ambiental actualmente. Sin embargo, se debe seguir investigando para optimizar los diseños y minimizar las limitaciones en los escenarios más complejos.

4.3 Marco Conceptual

4.3.1 *Definición y Tipos de Biofiltros*

Un biofiltro es un sistema diseñado para el tratamiento de agua usando microorganismos que degradan los contaminantes, se clasifican de la siguiente forma:

- **Biofiltros de lecho fijo:** Es aquel que a través de un reactor con material de soporte fijo con determinadas características de porosidad y condiciones de humedad trata los compuestos gaseosos, desarrollando una película de microorganismos siendo el contaminante transferido mediante una corriente gaseosa a través de la biopelícula húmeda en donde se transforman en CO₂ y H₂O los cuales son arrastrados a la salida del biofiltro, éste cuenta con condiciones físicas de funcionamiento como presión, humedad y temperatura determinando el desarrollo de los microorganismos. (Vicente, 2022).
- **Biofiltros de lecho móvil:** Es una tecnología flexible y compacta para el tratamiento de aguas residuales que ha demostrado su éxito em aplicaciones para la eliminación de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la oxidación de amoníaco y la eliminación de diferentes formas químicas del nitrógeno, estos biofiltros so diseñados para conseguir una alta gama de calidad de los efluentes incluyendo límites estrictos de nutrientes. Estos dispositivos usan elementos de soporte plástico especialmente diseñados para mantener la suspensión en el reactor por la energía de las turbulencias provocadas por la aireación, la circulación de líquido. (S.L, 2023).

4.3.2 *Sistemas de tratamiento de agua por biofiltración*

El sistema de alcantarillado de Colombia no está desarrollado de forma adecuada para suplir la necesidad de una población por completo, por lo cual hay lugares donde ésta problemática se puede solucionar por medio de los biofiltros y así saciar está necesidad básica. El proceso de biofiltración purifica el agua proveniente de aguas lluvia, pozos o ríos ayudando a eliminar elementos dañinos para el ser humano.

Biofiltro de arena: los filtros lentos de arena deben contar con un pretratamiento del

agua en sedimentación y coagulación para que así su absorción sea mucho mayor, el componente principal de este filtro es la formación de una biocapa y arena que extraen los patógenos y sólidos suspendidos, eliminando hasta un 99% de los patógenos, la elección de la arena también es de suma importancia, debe venir de roca tritura de preferencia reduciendo la posibilidad de contaminación del material. (Villanueva S. V., 2011).

Biofiltros domiciliare: Estos son construidos para el tratamiento de aguas grises realizando varios procesos como:

- Pretratamiento: En esta etapa se separa la mayor cantidad de sólidos disueltos que pueden encontrarse en la parte inferior del depósito.
- Tratamiento biológico (biofiltro): Las aguas grises contienen nutrientes como nitrógeno y fósforo resultado de detergentes y jabones ya que se pueden utilizar estos recursos para el crecimiento de los microorganismos en el agua.
- Disposición final de los guas: Esta agua presenta ausencia de material orgánico y tiende a ser clara y sin turbidez, lo que permite su aprovechamiento en riego, lavado o limpieza. (Amunic, 2010).

4.3.3 Principales compuestos presentes en el agua

De acuerdo con su naturaleza pueden ser, químicos, biológicos y físicos del agua siendo que en su estado natural impida el consumo humano y debe ser sometida a un estricto tratamiento para poder ser potable y consumible.

- Químicos: estos compuestos pueden ser de origen natural o industrial, entre ellos se encuentra el Aluminio y el mercurio que son un componente natural del agua, aunque es natural si se encuentra en altas concentraciones es muy dañino para el ser humano, el plomo puede encontrarse comúnmente en aguas subterráneas, ya si está presente en aguas superficiales es debido a los vertimientos industriales, estos componentes pueden llegar a ser un gran obstáculo para las redes de tuberías que llevan el agua a cada uno de los hogares ya que pueden corroer u obstruir las redes de distribución. (Cuadra, 2020).
- Físicas: se basa en lo que se puede percibir con los sentidos, vista, olfato o gusto teniendo en cuenta que son condiciones estéticas donde se determina el color, el

olor, la temperatura y el sabor, una característica que genera rechazo al consumo son las partículas en suspensión que hacen que la transparencia sea menor o mayor afectando la calidad estética del agua. (Cuadra, 2020).

- **Biológicas:** Para que finalmente pueda ser agua potable, debe ser tratada y eliminar los elementos biológicos que contiene, siendo microorganismos tales como peces, algas, bacterias, hongos, mohos y levaduras (Cuadra, 2020)

4.3.4 Contaminantes presentes en el sistema. Microorganismos patógenos

Son entidades biológicas con la capacidad de provocar infecciones o enfermedades a un huésped afectando su fisiología normal, pueden existir diversos agentes patógenos causantes de infecciones entre ellos grupos como: Bacterias, virus, helmintos, hongos, protozoarios y priones. (Fernandez, 2023)

Desechos orgánicos: Son todos los compuestos que contienen una composición y estructura, compuestos altamente covalentes como pueden ser, hidrocarburos, hidrocarburos halogenados, sulfurados, aromáticos. Existen compuestos de origen natural como azúcares, proteínas, alcoholes que se sintetizan en las células de los organismos vivos, también existen los compuestos orgánicos que se forman en procesos químicos naturales como el carbón y el petróleo. (Carbotecnia, 2023)

Sustancias químicas inorgánicas: Son componentes químicos que se encuentran de forma natural y no contienen carbono en su estructura molecular, pueden venir de diferentes fuentes, como minerales presentes en el suelo, actividades humanas o procesos industriales. Estas sustancias pueden incluir minerales, metales, gases y ácidos inorgánicos. Algunos ejemplos de estas sustancias pueden ser el flúor, el sulfato, el nitrato, el plomo y el cloro. (Científico, s.f.)

Nutrientes vegetales inorgánicos: Se encuentran solubles en el agua, siendo nitratos y fosfatos que las plantas necesitan para su desarrollo, hay varias moléculas orgánicas como gasolina, petróleo, plástico, plaguicidas, detergentes, disolventes, ases de procesamiento de alimentos humanos y animales, diferentes productos de origen natural como aceites y grasas. (vegetales, 2010)

Compuestos orgánicos: Son sustancias que se conforman por diversos elementos, la estructura principal está basada en el carbono y el hidrógeno. Estas moléculas y compuestos

orgánicos se producen de forma instantánea en la naturaleza, los compuestos pueden tener gran variedad de elementos en los cuales predominan el Carbono (C), hidrogeno (H), Nitrógeno (N), Azufre (S), Fosforo (P) y los halógenos. (Ondarse Alvarez, 2021)

Sedimentos y materiales suspendidos: Los sedimentos en el agua potable son partículas sólidas suspendidas como arena, limo, arcilla y demás residuos orgánicos que pueden encontrarse en el agua, provenientes de diversas fuentes, incluyendo la erosión de suelos, corrosión de tuberías y depósitos de sedimentos en cuerpos de agua potable. El impacto de los sedimentos en la salud humana es limitado, sin embargo, puede ser indicador de formas de contaminación más peligrosas. (Clara y Pura, 2024).

Sustancias radiactivas: Es la contaminación que se produce en el aire, el agua y el suelo debido a sustancias que pueden ser de origen natural que son aquellas que se producen en el medio ambiente o de origen artificial que se producen por medio de emisiones radioactivas como protones, rayos gamma y electrones desde sus núcleos. Los efectos que puede llegar a producir en los humanos debido a su consumo llegan hasta a dañar su ADN. (Moriana, 2021).

Contaminación térmica: Es un proceso que modifica la temperatura del medio ambiente de forma perjudicial, puede tratarse de una subida o una bajada de temperatura que llega a afectar negativamente a la calidad del agua provocando reducción en los niveles de oxígeno disuelto, incremento en toxinas y gran cantidad de calor en los océanos. (Sanchez, Que es la contaminación térmica y sus causas, 2024).

4.3.5 Tratamiento de Aguas Residuales

Es un proceso que tiene implicaciones significativas en la salud de los seres vivos y el medio ambiente, las aguas residuales son aquellas que están contaminadas con desechos domésticos, industriales o agrícolas y deben pasar por varias etapas antes de volver al medio ambiente, se empieza por el tratamiento primario donde se somete a procesos físicos como la sedimentación para eliminar los sólidos más grandes, después va a un proceso secundario donde se realizan procesos biológicos para poder descomponer la materia orgánica, bacterias y otros microorganismos descomponen estos desechos orgánicos en dióxido de carbono, agua y energía que así mismo usan para sobrevivir. Finalmente se realiza un tratamiento terciario donde se hacen procedimientos de filtración, desinfección y eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el

fosforo para así terminar nuevamente en el medio ambiente. (Henry, Aguas Residuales: Proceso y Técnicas de Tratamiento para un Mundo más Limpio, 2024)

4.3.5.1 Tratamiento de aguas Pluviales. El agua de lluvia puede verse limpia dependiendo del lugar por donde este discurriendo y la ubicación geográfica debido a la contaminación atmosférica que pueda arrastrar, por eso se diferencian las aguas pluviales procedentes de cubiertas, calles, autopistas, etc. Hay que tener varios parámetros en cuenta para medir la calidad de las aguas pluviales como Turbiedad, solidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno y metales pesados presentes en el agua. Estas aguas pluviales pueden ser clasificadas en fuentes puntuales donde la contaminación es aportada al medio a través de un colector o canal y fuentes difusas donde no son localizadas, su contaminación se origina o encuentra en zonas muy extensas. (Quilton, 2024).

4.3.5.2 Sostenibilidad. El sistema de Biofiltro es un tratamiento que debe ser monitoreado con el propósito de llevar un registro de la eficiencia de las diferentes etapas y de la calidad del agua, además de ser un sistema eficiente para la remoción de contaminantes no genera olores desagradables, no presenta mal presencia o espejos de agua en las superficies, se pueden integrar como parte del hogar o jardín en área verde lo cual favorece su sostenibilidad ambiental. (Water and sanitation program, 2006).

4.3.5.3 Eficiencia. Los resultados que se evidencian en los diferentes estudios a medida del pasar de los años dan una eficiencia global del proceso de biofiltración sobre el lecho orgánico se sitúa entre 90 y 99% en función de los diferentes parámetros estudiados y se mantiene estable desde el inicio de operación del biofiltro, el agua tratada está libre de malos olores, pueden ser descargadas en lagos y ríos sin afectar la calidad del cuerpo receptor, los resultados permiten concluir que la biofiltración sobre el lecho orgánico se adapta a la problemática ambiental de las regiones aisladas, tiene bajo costo de inversión y mantenimiento hace de esta tecnología una buena alternativa para el tratamiento de aguas en las pequeñas comunidades. (Tecnología y ciencias del Agua, 2012).

4.4 Marco Legal

En Colombia se deben tener en cuenta algunas normativas para el tratamiento legal de agua

potable, también mediante biofiltros como pueden ser las siguientes normativas clave:

- **Código Nacional de Recursos Naturales:** Es una normativa que regula el uso y la conservación de los recursos hídricos del país estableciendo principios de sostenibilidad y protección, donde el estado y los particulares deben participar en su preservación y manejo de recursos. (Publica, 2001).
- **Ley 99 de 1993:** Por medio de esta norma se crea el Ministerio del Medio Ambiente donde se encarga y establece la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales incluyendo recurso hídrico así siendo eficiente y sostenible su uso. (Congreso de la republica de Colombia, 1993).
- **Resolución 2115 de 2007:** Por medio de esta se señalan las características y parámetros de calidad del agua para el consumo humano, incluyendo los requisitos técnicos para la operación de sistemas de tratamiento como los biofiltros. (Ministerio de Vivienda C. y., 2007).
- **Decreto 1575 de 2007:** Establece un sistema para la protección y control de calidad del agua, con la finalidad de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana causados por su consumo. (Presidencia de la Republica de Colombia (1991), 2007).
- **Normas Técnicas Colombianas (NTC):** Son un conjunto de regulaciones emitidas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (INCONTEC) estableciendo para este caso las guías para el diseño y operación de biofiltros en el sistema de tratamiento de aguas garantizando la eficacia y seguridad. (Certificación, 2024).
- **Plan Nacional de Desarrollo:** Fomenta las iniciativas de sostenibilidad en el manejo de recursos hídricos, promoviendo tecnologías limpias como los biofiltros. (Planeación, 2022).
- **Decreto 1076 de 2015:** Contiene las normas sobre la gestión y el control de calidad del agua, incluyendo aspectos relacionados con sistemas de tratamiento de aguas residuales. (Presidencia de la Republica, 2015)
- **Resolución 0631 de 2015:** Define los criterios para la calidad del agua que son relevantes para los efluentes tratados por biofiltros. (Ministerio de vivienda, 2015)
- **Licencia Ambiental:** Dependiendo del proyecto se puede requerir una licencia ambiental, especialmente si el biofiltro se considera que va a tratar grandes volúmenes de agua.
- **Planes de manejo ambiental:** Se usan en proyectos que afecten al medio ambiente, en ese

caso es necesario presentar un PMA detallando los impactos y como se mitigarán.

- **Resolución 030 de 2016:** Establece los lineamientos para la gestión de aguas residuales tanto en áreas urbanas como rurales. (Ministerio de Vivienda C. y., 2025)
- **Decreto 1575 de 2007:** Establece el sistema para la protección, control de la calidad del agua para consumo humano. (Función publica, 2024).
- **Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS):** Proporciona criterios y recomendaciones para el diseño, la construcción, la operación y mantenimiento de sistemas de tratamiento de agua. (Ministerio de Vivienda C. y., 2025)

5 Metodología

Se tiene en cuenta el orden de las fases que permiten a detalle el desarrollo del proceso a seguir para el análisis de los biofiltros siendo una investigación de carácter Cualitativo, para responder a la pregunta de investigación y cumplimiento de los objetivos de estudio se realizará en 3 fases:

5.1. Fase 1: Preparatoria

Construir el marco teórico, desarrollar el contexto de la investigación, tomando en cuenta las diferentes bibliografías relacionadas con el objeto de estudio.

- Búsqueda de información en las diferentes bibliotecas virtuales y documentos académicos necesarios.
- Análisis de información con los datos y conclusiones obtenidas de la búsqueda bibliográfica y así llegar a dar respuesta al objetivo principal.

5.2. Fase 2: Análisis de parámetros

1. Esta fase implica actividades concretas, realizando énfasis, síntesis y agrupamiento de los datos para obtener los procesos necesarios y desarrollar la metodología de la información que se requiere para los objetivos planteados. Los ensayos que se analizarán son: turbiedad, color aparente, pH, cloro residual libre o residual de desinfectante usado, coliformes totales y Escherichiacoli.
 - Descripción de los tipos de filtros y técnicas utilizadas en el tratamiento de aguas.
 - Análisis de los métodos utilizados y sus técnicas en el tratamiento.
 -

5.3. Fase 3: Análisis estadístico

2. Se presentan las conclusiones y las nuevas perspectivas sobre la investigación realizada, dando a conocer los datos finales y recomendaciones.
 - Análisis de las ventajas y/o desventajas de cada tipo de biofiltro para el tratamiento de agua.

- Análisis de las mejoras que pueden realizarse a este tipo de sistema.
- Se da a conocer las alternativas que son aprovechables para la problemática presentada.
- Propuesta de la mejora a la mayor desventaja de los tipos de biofiltros para el tratamiento de aguas.

6 Desarrollo.

6.1 Problemática de la contaminación del agua

La contaminación del recurso hídrico en Colombia es muy preocupante, los ríos, lagos y fuentes subterráneas sufren la contaminación desde múltiples causas como la explotación minera a gran escala, los desechos de las diversas empresas desechados sin ningún tratamiento, también la presencia de múltiples pesticidas y fertilizantes en la agricultura que se incorporan constantemente en las fuentes hídricas.

Los efectos de la contaminación en el agua afectan a gran escala la pérdida de biodiversidad en los ecosistemas acuáticos, así mismo produce problemas de salud en la población privando a las comunidades de un acceso limpio al recurso. Existen tipos de contaminantes del agua, los que más afectan en Colombia son:

- Residuos sólidos: En Colombia éste es uno de los problemas que más se encuentran en ríos, lagunas y mares, incluyendo plásticos y metales que causan daños graves en los ecosistemas acuáticos.
- Productos químicos industriales: Debido a la liberación de productos químicos en las fuentes provenientes de las industrias que liberan productos químicos peligrosos en sus desechos que se filtran en las fuentes de agua causando daños a largo plazo.
- Contaminación por minería: Aunque la minería sea parte grande de la economía del país también es una gran fuente de contaminación para el recurso hídrico liberando sustancias tóxicas en el agua como mercurio, plomo y otros metales pesados.
- Aguas residuales: La contaminación proveniente de esta fuente no son tratadas adecuadamente antes de liberarse en el ambiente, y las aguas contienen sustancias químicas peligrosas, bacterias y otros patógenos poniendo en riesgo la salud humana y animal.
- Agroquímicos: En las actividades de la agricultura se contaminan las fuentes por el uso de agroquímicos que se filtran en el agua subterránea, ríos o lagunas.

Figura 2 Principales fuentes de contaminación del agua



Nota: Adaptado de fuentes de contaminación del agua como Doméstica, Industrial, petróleo y agrícola. (Instituto del agua, El mundo del agua, 2017). <https://press.parentesys.com/3815/principales-fuentes-de-contaminacion-del-agua-con19469>

La contaminación del recurso hídrico se refleja en graves efectos en la salud de la población con enfermedades gastrointestinales, oculares y cutáneas, también propaga enfermedades transmitidas por el agua como la colera, la hepatitis y la fiebre tifoidea. Así mismo afecta a los ecosistemas acuáticos. (Instituto del agua, Contaminación del recurso hídrico en Colombia, 2025)

6.2 Importancia del tratamiento del agua

El tratamiento de aguas siempre ha sido un tema de discusión crucial, siendo uno de los recursos vitales para la vida en el planeta Tierra, el mantener su correcto tratamiento es fundamental para poder garantizar su disponibilidad y seguridad para el consumo y preservación de los ecosistemas. Es un proceso donde se eliminan contaminantes, se desinfecta y se purifica el agua para un uso seguro a los consumidores. El agua tratada se usa en actividades como la agricultura, las industrias y principalmente el consumo humano, así mismo el no tratar adecuadamente el agua trae grandes consecuencias como puede ser la propagación de enfermedades y la contaminación del recurso hídrico generando un daño grave en los ecosistemas.

Cuando se habla sobre el tratamiento de aguas, entendemos que lleva un proceso físico y químico para que finalmente se use de forma segura, es un recurso escaso por lo que es constante los temas de investigación para que el tratamiento sea cada vez menos nocivo ya que debe ser un recurso protegido y utilizado de manera sostenible y así mismo garantizando la salud de la población y el crecimiento de los ecosistemas. El proceso de tratamiento implica varias etapas que

incluyen la eliminación de sólidos suspendidos, eliminación de nutrientes y metales pesados, desinfección y eliminación de sustancias orgánicas, con el fin de garantizar el consumo seguro y utilidad en la agricultura e industrias, también ayuda a reducir la contaminación en los ecosistemas acuáticos evitando la acumulación de sustancias tóxicas.

La contaminación es uno de los mayores problemas que enfrentan los ecosistemas en Colombia, formando un gran impacto en la calidad del agua que consumen las personas afectando su salud y la de los animales dependientes de ésta. La contaminación de las aguas manifiesta muchos efectos negativos, como por ejemplo aumentar el riesgo de enfermedades gastrointestinales, infecciones y enfermedades crónicas, además de dañar la flora y fauna acuática, también se presentan la afectación del suelo y la calidad del aire a través de la emisión de gases tóxicos. Con el debido tratamiento se reduce de forma efectiva los niveles de contaminación tomando el agua contaminada y devolviéndola limpia al medio ambiente, el tratamiento se realiza por medio de procesos físicos, químicos y biológicos eliminando toxinas y contaminantes presentes en el agua, una vez se realiza el tratamiento se puede usar para riego, pesca o recreación.

Algunos de los procesos más comunes son la filtración donde se utiliza materiales como arena y grava para eliminar sólidos suspendidos, con la desinfección que es otro proceso importante se usan productos químicos para eliminar bacterias y virus presentes, también se usan tecnologías como osmosis inversa utilizando membranas para eliminar contaminantes.

Figura 3 Proceso de tratamiento de aguas



Nota: Adaptado de Centros para el control y la prevención de enfermedades (CDC), donde muestra el proceso general de tratamiento de agua, especialmente para sistemas públicos. (SafetyCulture, 2025)
<https://safetyculture.com/es/temas/tratamiento-de-aguas>

También se incluyen procesos como la adsorción y absorción que son efectivos para

eliminar contaminantes orgánicos y la oxidación avanzada que usa productos químicos para la eliminación de contaminantes químicos. Al eliminar todos estos contaminantes del agua se garantiza la salud y la protección del medio ambiente, protegiendo la biodiversidad y previene enfermedades. (verde, 2025)

En general, el tratamiento de aguas se diferencia por sus usos específicos como son:

Tratamiento del agua en el hogar: Según la National Sanitation Foundation (SNF) comenta que los tipos generales de sistemas que se utilizan como soluciones de tratamiento del agua son los siguientes:

- Sistemas de punto de uso (POU) Jarras de agua, filtros de grifo y sistemas de osmosis inversa (RO), etc.
- Sistemas para toda la casa/ punto de entrada (POE): Sistemas municipales, tanques de almacenamiento presurizados, sistemas microbiológicos UV, ablandadores de agua, etc.

Los sistemas de tratamiento de agua domésticos utilizan un tratamiento de agua de fosas sépticas para tratar el agua de los hogares. (SafetyCulture, 2025)

- Tratamiento de aguas industriales: Este tipo de tratamiento puede realizarse antes o después de realizar las actividades empresariales. Dado que las empresas utilizan el agua dependiendo del sector.
- Tratamiento de aguas residuales: Son aguas usadas o contaminadas que se generan de diferentes usos, como la esorrentía de las ciudades y las actividades humanas, es importante tratar estas aguas para que sea seguro y posible dar continuidad al ciclo del agua.

Algunos de los problemas más comunes que se presentan en el tratamiento de aguas y sus plantas son:

Figura 4 Problemas comunes en el tratamiento de aguas



Nota: Adaptado de Centros para el control y la prevención de enfermedades (CDC), donde muestra los diferentes descuidos en los protocolos y las consecuencias graves que traen para la salud de la población. (SafetyCulture, 2025) <https://safetyculture.com/es/temas/tratamiento-de-aguas>

- **Problemas de mantenimiento:** Las instalaciones de tratamiento deben estar siempre controlados y mantenidos en orden por medio de protocolos que si no se mantienen en orden trae grandes consecuencias para la salud, se debe realizar un mantenimiento periódico de los equipos para mantener la calidad y seguridad en todo el proceso de tratamiento de agua.
- **Control bacteriano ineficaz:** Aunque las bacterias son importantes en los procesos de tratamiento para algunas de las operaciones deben ser controladas y gestionadas en su crecimiento ya que si se salen de control ponen en peligro la calidad del agua, por lo mismo debe ser importante tener un control bacteriano para evitar ese riesgo y no tener dificultades en el ciclo de tratamiento del agua.
- **Formación inadecuada:** Las personas que trabajan en plantas o instalaciones de las plantas de tratamiento de aguas, por ello es necesario evitar cualquier mal entendido que lleven a la mala calidad del ciclo del tratamiento en general.
- **Controles deficientes:** Se debe mantener un control constante que garantice que las pruebas continúen correctamente para sufrir situaciones con mala calidad del agua y tener acciones correctivas y preventivas para ayudar con los procesos de supervisión. (SafetyCulture, 2025)

6.3 Alternativas tecnológicas para la purificación del agua

El acceso al agua potable es esencial para el funcionamiento de la población, jugando un papel importante en la salud y el bienestar de la humanidad. Se debe garantizar que el agua llevada al consumidor esté libre de contaminantes dañinos. El avance de la tecnología y la ciencia han investigado constantemente los mejores métodos para la purificación de agua, usando tecnologías como la osmosis inversa, la desinfección ultravioleta, ozonización y suavización son formas revolucionarias de tratamiento para agua contaminada, permitiendo una eliminación mas completa de contaminantes incluyendo bacterias, virus, metales pesados y productos químicos disueltos en el agua y así garantizar que se cumplan los estándares de calidad requeridos para el consumo humano. Alunas alternativas son:

- **Carbón activado:** En cualquiera de sus presentaciones, es un componente importante en la purificación del agua, ya que cuenta con una estructura porosa con una red de poros de tamaño microscópico, dándole una sorprendente área superficial interno. Estas características permiten que el carbón activado sea eficaz en la adsorción de una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos presentes en el agua desde compuestos químicos hasta partículas suspendidas. En el caso del Carbón Activado Granular (CAG) predominan los lechos de filtro fijos dentro los sistemas de tratamiento de agua, sin embargo, su adsorción se termina con el tiempo saturándose de impurezas capturadas, es necesario mantener su efectividad regenerando y reemplazando el carbón periódicamente ya que de no hacerlo se pueden promover el crecimiento bacteriano. (Solis, 2024)
- **Ósmosis inversa:** Es un proceso mediante el cual el agua atraviesa una membrana bajo presión en un flujo cruzado, con gran capacidad purificadora, la osmosis inversa se destaca siendo uno de los más eficientes métodos eliminando hasta el 99% de las impurezas presentes en el agua. Durante este proceso, el agua es bombeada a través de un lado de entrada de una membrana de bajo presión, normalmente entre el 15% y el 30% del agua atraviesa la membrana mientras que el resto sale como concentrado conteniendo la mayor parte de las sales, compuestos orgánicos y prácticamente todas las partículas. Aunque son estables en un amplio rango de pH, son vulnerables a daños como el cloro, por lo que se debe realizar un pretratamiento para proteger la membrana, que se utilizan para eliminar contaminantes del agua reteniendo desde un diámetro inferior a 1 nanómetro y por lo

general mas del 90% de las impurezas iónicas son eliminadas del módulo de RO en una corriente de agua residual o concentrada. (Solis, 2024)

- **Ultravioleta:** La luz ultravioleta (UV) se utiliza para eliminar microorganismos al interrumpir sus ácidos nucleicos y alterar su ADN, evitando que se reproduzcan. La radiación UV aún en dosis bajas hace alteraciones en el ADN y en ARN polimerasas, también descompone moléculas orgánicas optimizando la eficacia de este tipo de tecnología para purificar el agua al eliminar previamente los iones orgánicos, este tipo de tratamiento se utiliza para foto oxidar las impurezas orgánicas y así producir especies polares que pueden eliminarse mediante procesos iónicos, este proceso es de pulido por el cual el agua circula continuamente para mejorar la calidad y de esta forma obtener agua con un nivel de carbono dentro de los rangos permitidos. (Solis, 2024)
- **Suavización:** Es recomendable suavizar el agua en un proceso de osmosis inversa, también debe realizarse cuando causa un sabor desagradable. La dureza del agua depende de la concentración de iones metálicos presentes, esta dureza está compuesta principalmente por Ca^{+2} y Mg^{+2} . Para poder realizar este proceso se usa una resina de intercambio iónico cargada negativamente, son esferas sintéticas con matriz poliméricas que intercambia iones con el líquido. (Solis, 2024)
- **Ozono:** Cuando se llega a este proceso el agua ya ha sido purificada y es considerada apta para el consumo humano, para poder garantizar la contaminación bacteriana es necesario aplicar métodos de desinfección, se inicia con el oxígeno molecular O_2 , este atraviesa una cámara exponiéndose a carga eléctrica con el voltaje necesario para romper el enlace covalente formando moléculas triatómicas de oxígeno O_3 , este se introduce en el agua en forma de burbujeo o mediante succión en la tubería del agua. Este método de desinfección asegura que el agua esté libre de contaminantes bacterianos y garantiza la calidad y seguridad para el consumo. (Solis, 2024)

6.4 Principios de funcionamiento de los Biofiltros

Los biofiltros destinados al tratamiento de agua potable en Colombia funcionan mediante procesos físicos, químicos y biológicos para remover los contaminantes, asegurando que el agua tratada cumpla con las normativas nacionales como la resolución 2115 de 2007 y el Decreto 1575

de 2007.

6.4.1 Principios físicos: Retención y filtración de sólidos

Filtración mecánica:

- Los biofiltros utilizan medios granulares como arena, grava, carbón activado para retener partículas suspendidas en el agua y así reducir la turbidez.
- La granulometría y disposición de las capas aseguran la eliminación progresiva de partículas finas.

Sedimentación:

- Las partículas más densas se depositan en las primeras capas del filtro ya que la fuerza de la gravedad facilita la eliminación sin llegar a obstruir el sistema.

Adsorción en carbón activado:

- Algunas versiones de biofiltro incluyen carbón activado para remover compuestos orgánicos, pesticidas y metales pesados a través del proceso de adsorción.

6.4.2 Principios Químicos: Eliminación de contaminantes

Neutralización del pH

- Los materiales filtrantes pueden incluir elementos que regulan el pH del agua tratada, manteniéndolo dentro del rango de 6.5 a 9.0 exigido por la normativa colombiana.

Oxidación y reducción

- En presencia de oxígeno, algunos contaminantes como el hierro (Fe) y manganeso (Mn) se oxidan y precipitan, facilitando su eliminación por filtración.

Remoción de metales pesados

- La adsorción en carbón activado y filtración en arena fina reducen el plomo (Pb), el arsénico (As) y el mercurio (Hg).

6.4.3 Principios Biológicos: Biopelícula para la eliminación de patógenos

- Formación de la biocapa (biofilm)

- En la superficie del biofiltro, se desarrolla una biocapa de microorganismos beneficiosos que metabolizan materia orgánica, bacterias y virus patógenos.
- Este proceso es una imitación de la autodepuración natural del agua en ecosistemas acuáticos.

Competencia microbiana y biodegradación

- Los microorganismos en la biocapa consumen nutrientes que se encuentran en el agua, reduciendo la carga microbiológica y química.
- Bacterias benéficas compiten con los patógenos, reduciendo su proliferación.

Tiempo de contacto y eficiencia microbiológica

- Un tiempo de retención adecuado (4 a 8 horas) permite que exista una máxima interacción entre el agua y la biocapa, logrando reducciones del 99% de coliformes fecales.

6.4.4 Cumplimiento Normativo en Colombia

Los biofiltros que se diseñan para uso doméstico deben cumplir con los requisitos de la Resolución 2115 de 2007 asegurando que el agua presente las siguientes características:

- Ausencia de coliformes fecales y *Escherichia coli* (UFC/100ml)
- Turbidez menor a 2 UNT
- pH entre 6.5 y 9.0
- Niveles seguros de metales pesados y sustancias químicas.

Los biofiltros combinan los mecanismos físicos, químicos y biológicos para mejorar la calidad del recurso hídrico en las comunidades de acceso limitado, la implementación requiere de un diseño optimizado y validación mediante un monitoreo de calidad que garantice la efectividad y cumplimiento normativo.

6.5 Materiales y diseño de Biofiltros

Al momento de diseñar y construir un biofiltro, se deben tener en cuenta los parámetros ya mencionados, además de mantener un costo bajo para que pueda ser asequible a las poblaciones vulnerables.

6.5.1 Biofiltro de arena de flujo lento (BAFL)- Opción común

Principio de funcionamiento: Utiliza una biocapa microbiana en la parte superior del filtro que elimina bacterias y virus, el agua pasa lentamente a través de capas de arena y grava que se encargan de atrapar partículas y de reducir la turbidez, es un sistema de bajo costo y de fácil construcción, ideal para zonas rurales.

Materiales necesarios:

- Recipiente grande (barril, tanque de plástico, cemento)
- Arena fina para filtrar partículas y bacterias
- Grava pequeña y gruesa para soporte y drenaje
- Tuberías de entrada y salida de PVC

Figura 5 Sistema de filtración con filtro de arena.



Nota: Adaptado de sistema de biofiltración de flujo lento, donde se diseña un biofiltro a base de arena y grava (Villanueva C. A., 2014) (Villanueva C. A., 2014) <https://www.unipiloto.edu.co/wp-content/uploads/2013/11/El-filtro-de-arena-Lento-a-color-para-la-web.pdf>

Ventajas:

- Filtración natural sin uso de químicos
- Bajo mantenimiento (limpieza cada 2 o 3 meses)
- Remueve hasta el 99% de las bacterias y virus.

Desventajas:

- No elimina por completo químicos y metales pesados
- La biocapa tarda varias semanas antes de desarrollarse para poder ser usada

Este es un sistema comúnmente usado en comunidades con bajo acceso al agua potable, es compatible con la resolución 2115 de 2007, este manual indica como realizar su creación en orden para que cualquier persona pueda acceder y tener la información necesaria gracias a los autores que abordan la problemática del acceso al agua segura en zonas rurales presentando un diseño eficiente de un filtro lento de arena para la descontaminación de agua para consumo humano. (Villanueva C. A., 2014)

6.5.2 Biofiltro de carbón activado

Este biofiltro llevado a cabo en la universidad de San Buenaventura presenta un diseño de un sistema de filtración que logra combinar arena y carbón activado, mejorando la calidad del agua potable mediante la eliminación de contaminantes físicos y químicos. (Lineys Visbal, 2018),

Principio de funcionamiento: Es similar al BAFL, pero incorpora carbón activado, permitiendo la eliminación de sustancias químicas, pesticidas y metales pesados. La adsorción del carbón permite mejorar el sabor, olor y color del agua.

Figura 6 Estructura de un filtro lento de arena



Nota: Adaptado de la estructura de un filtro a base de arena que incorpora carbón activado (Lineys Visbal, 2018) <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/1563d504-c586-441e-b258-9d70aafa5efa/content>.

Materiales necesarios

- Un recipiente grande (barril, tanque de plástico, cemento)
- Arena fina para filtrar partículas y bacterias
- Grava pequeña y gruesa para soporte y drenaje
- Tuberías de entrada y salida de PVC
- Carbón activado (podría ser cascara de coco)

- Malla filtrante para evitar que el carbón se mezcle con la arena.

Ventajas

- Mayor purificación de agua elimina los compuestos orgánicos y químicos
- seguridad en la calidad del agua potable

Desventajas

- Mayor costo por el carbón activado
- Requiere reemplazar el carbón activado cada 3 a 6 meses.

Es una alternativa eficiente para zonas contaminadas con agroquímicos o metales pesados, particularmente en zonas agrícolas.

6.5.3 Biofiltro con llantas recicladas

En este estudio realizado en la Universidad Cooperativa de Colombia se explora la implementación de biofiltros usando materiales reciclados como las llantas usadas para tratar aguas residuales, dando excelentes resultados en su eficiencia y sostenibilidad. (Wilmer Herrera, 2018)

Principio de funcionamiento: Se usan llantas recicladas apilándolas y rellenándolas con capas de arena, grava y carbón activado, su funcionamiento es igual que los anteriormente mencionados con un cambio en la estructura que es modular y portátil.

Materiales Necesarios

- Llantas usadas que se encuentren en buen estado
- Arena
- Grava
- Carbón activado
- Tuberías de entrada y salida de PVC

Ventajas

- Reciclaje de material que no se usa y hay en grandes cantidades
- Bajo costo de implementación
- Diseño compacto y fácil de trasladar

Desventajas

- Requiere un sellado adecuado para evitar filtraciones

- Necesita estructura de soporte para evitar colapsos

Su implementación es recomendable para proyectos sanitarios y programas de reciclaje en zonas urbanas y rurales.

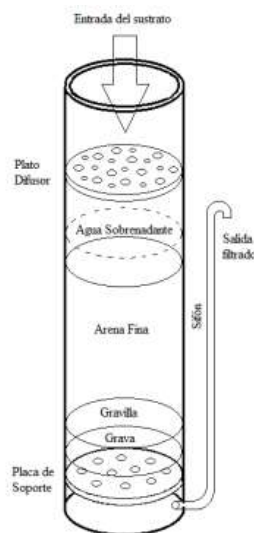
6.5.4 *Biofiltro modular vertical*

Principio de funcionamiento: Para este biofiltro se usan botellas de plástico recicladas o tubos de PVC como módulos de filtración en forma vertical, el agua fluye por gravedad a través de diferentes filtros en etapas así mejorando la eficiencia del proceso. La Universidad Politécnica de Catalunya presenta este diseño y evaluación del filtro en configuración vertical usando materiales de fácil acceso para mejorar la calidad del agua. (Vidiella, 2022)

Materiales necesarios

- Botellas plásticas o tubos de PVC de 4" o más
- Arena fina
- Grava
- Carbón activado
- Tuberías de interconexión

Figura 7 Esquema de filtro modular vertical



Nota: Adaptado de un estudio de un biofiltro que sirva como postratamiento de aguas residuales (Vidiella, 2022) <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/374530/memoria-elisabettoro.pdf?sequence=1>

Ventajas

- Sistema compacto, es ideal para viviendas pequeñas
- Bajo costo y fácil instalación
- Aprovechamiento de material reciclado

Desventajas

- Capacidad limitada de filtrado
- Puede requerir más mantenimiento en caso de taponamiento

Puede ser un biofiltro aprovechable en zonas rurales como método de emergencia o portátil, demostrando ser un método útil de postratamiento para mejorar las cualidades, se tiene en cuenta que hace falta conseguir una mayor estabilización de materia orgánica, se requiere más investigación en el campo para aumentar las eficiencias del filtro. (Vidiella, 2022)

6.5.5 Comparación rápida de los diseños*Tabla 1 Comparación de diseños*

Diseño	Costo	Mantenimiento	En remoción	Durabilidad	Aplicación
Biofiltro de arena (BAFL)	Bajo	Bajo	Alta (bacterias, turbidez)	Alta	Rural
Biofiltro con carbón activado	Medio	Medio	Muy alta (Bacterias, químicos, metales pesados)	Alta	Rural y urbano
Biofiltro con llantas recicladas	Bajo	Medio	Media (Turbidez, bacterias)	Media	Hogares pequeños
Biofiltro modular vertical	Bajo	Medio	Media (Turbidez, bacterias)	Media	Hogares pequeños

Teniendo en cuenta los biofiltros mencionados hay opciones según la necesidad de la población:

- Si se necesita una opción simple y efectiva el biofiltro de arena de flujo lento será el recomendado.
- Para aguas contaminadas con químicos o metales el Biofiltro de carbón activado será de mayor efectividad.
- Si se necesita reciclar materiales y reducir costos el biofiltro de llantas recicladas es una

buena opción.

- Si hay necesidad, pero falta de espacio el diseño más adecuado es el biofiltro modular vertical.

6.6 Aplicaciones y casos de estudio

- **Estudio comparativo de Biofiltración con fibra de coco y humedales para el tratamiento de aguas residuales domésticas.** (Jaimes Bermudez, 2020)

Este estudio logra combinar las ventajas de la biofiltración utilizando las fibras de coco y sistemas de humedales para realizar tratamiento en aguas residuales domesticas en áreas rurales, se evaluó un caudal promedio de 800 litros por día, logro demostrar la eficiencia del sistema en la remoción de contaminantes y su gran potencial para ser aplicado a comunidades rurales o con escasez del recurso hídrico.

Figura 8 Biofiltro con Fibra de coco



Nota: Adaptado del estudio sobre las ventajas de utilizar fibra de coco en un sistema de filtración (Jaimes Bermudez, 2020) <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/38573/jejaimesb-1.pdf?sequence=3>

Después de realizar el montaje del biofiltro se propone conectar a un sistema de macrófitos emergentes de flujo superficial que funciona como humedal, que son encargados de realizar la eliminación de nutrientes creando un ambiente favorable para eliminar los contaminantes. (Jaimes Bermúdez, 2020)

Figura 9 Sistema de Biofiltración con fibra de coco



Nota: Adaptado del estudio sobre las ventajas de utilizar fibra de coco en un sistema de filtración que puede funcionar en humedales para eliminar contaminantes (Jaimes Bermudez, 2020) <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/38573/jejaimesb-1.pdf?sequence=3>

Dando como resultado el siguiente análisis de cada parámetro necesario para evaluar la eficiencia del biofiltro y su cumplimiento de acuerdo con el decreto 631 de 2015 del ministerio de ambiente y desarrollo sostenible.

Tabla 2 Detalle de caracterización del afluente y efluente del biofiltro

Parametro	Unidad	Afluente	Efluente de biofiltro	Eficiencia del Biofiltro
Temperatura	°C	27	26	Cumple
pH	pH	6.2	6.9	Cumple
Solidos suspendidos totales	Mg/l	223	40	80.06%
Solidos totales	Mg/l	757	603	98.34%
Coliformes fecales	NMP/100ml	1.00E+07	1.10E+05	99.90%
Aceites y grasas	Mg/l	50	0.3	99.40%
DBO	Mg/l	583	174	70.15%
DQO	Mg/l	200	23	88.50%
Hierro	Mg/l	160	0.19	99.80%

Nota: Adaptado del estudio del autor Javier Eduardo Jaimes donde evidencia el cumplimiento con la normativa (Jaimes Bermudez, 2020) <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/38573/jejaimesb-1.pdf?sequence=3>

Aunque el Biofiltro propuesto por el autor Javier Eduardo Jaimes Bermúdez cumple con la normativa, al combinarse con el sistema de humedales propuesto permite elevar el porcentaje de eficiencia de eliminación de los contaminantes.

- **Evaluación de Biofiltros de flujo ascendente y descendente en Sistemas de Recirculación acuícola.** (Ivan Sanchez, 2012)

Este proyecto se centró en el montaje y evaluación de biofiltros de lecho fijo con flujo

ascendente y descendente para mejorar la calidad del agua en sistemas de recirculación acuícola, específicamente en el cultivo de trucha arcoíris. Los resultados mostraron mejoras en parámetros clave de la calidad del agua, evidenciando la eficacia de estos biofiltros en sistemas acuícolas.

Para el montaje de los biofiltros se usó tubería PVC y se acondicionaron con tapones en el extremo inferior sellados con silicona, formando un esquema de la disposición de ocho biofiltros evaluados en este proyecto.

Figura 10 Disposición de los ocho biofiltros



Nota: Adaptado de la evaluación del desempeño de los filtros en un ecosistema acuícola (Ivan Sanchez, 2012).

La nomenclatura “RH” hace referencia al tiempo de retención hidráulica para el que se evaluó cada biofiltro, el número que le sigue se refiere al número de minutos que correspondió a estos tiempos de retención evaluados la letra A es flujo ascendente y la letra D flujo descendente. En el experimento se utilizaron 150 ejemplares de trucha arcoíris. Para realizar la evaluación de los parámetros de calidad del agua se usó un periodo de 16 días. (Ivan Sanchez, 2012)

- **Filtros de agua para comunidades aisladas**

En colaboración con la cruz roja colombiana, se desarrolló un filtro de agua llamado “Filter Caps” para abordar la necesidad urgente de agua potable en comunidades aisladas del país, es un dispositivo fabricado con tecnología de impresión 3D y resina de maíz dulce, se acopla a botellas y permite filtrar el agua de diversas fuentes, eliminando contaminantes y haciéndola segura para el consumo.

Figura 11 Modelo de Filter Caps

Nota: Adaptado de la investigación sobre métodos ecológicos de filtración por medio de una tapa universal capaz de adaptarse a cualquier botella para realizar el proceso de filtrado. (Caps, 2025) <https://filtercaps.co/>

- **Uso de aserrín y fibra de coco en biofiltros para aguas residuales**

La investigación plantea una alternativa de reemplazo a los pozos sépticos que se usan en zonas rurales de tratamiento de aguas residuales como lo es el biofiltro eliminando contaminantes. Un sistema no convencional de biotratamiento de aguas y residuos es el Lombrifiltro constituido por distintas capas filtrantes de material orgánico e inorgánico que remueve Coliformes fecales, sólidos suspendidos, sedimentables, DBO, aceites y grasas.

El biofiltro este compuesto por capas de diferentes materiales, en este caso humus, en cual habitan grandes cantidades de lombrices rojas y microorganismos que digieren la materia orgánica, después la viruta y por último piedras de mediano tamaño asentadas sobre un falso fondo.

Tabla 3 Componentes utilizados en el biofiltro experimental

Material	Cantidad	Unidad	Función
Lombrices rojas	40	U	Organismo depurador
Grava	1500	cm ³	Retencion de materia organica
Humus	300	cm ³	Alberga a las lombrices
Aserrín y viruta	4200	cm ³	Retencion de materia organica
Fibra de coco	4200	cm ³	Retencion de materia organica

Nota: Adaptado de la investigación sobre la alternativa a pozos sépticos usados en zonas rurales para el tratamiento de contaminantes. (Reyes, 2016) <https://www.redalyc.org/journal/5722/572261592004/html/>

Los periodos de tratamiento se desarrollaron con normalidad durante 90 minutos y al finalizar se recogieron las muestras de la salida del afluente. Los prototipos son los siguientes:

Figura 12 Tratamiento de agua residual en lombrifiltro



Nota: Adaptado de los prototipos del biofiltro planteado en la investigación. (Reyes, 2016)
<https://www.redalyc.org/journal/5722/572261592004/html/>

- Uso de microalgas en el tratamiento de aguas residuales

Este documento analiza el potencial de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales, destacando su capacidad para eliminar nutrientes y contaminantes. Las microalgas son organismos esenciales en la producción de materia orgánica, son fuente de compuestos importantes para las industrias, presentan un crecimiento y desarrollo en cinco fases principales como se muestra a continuación.

Tabla 4 Fases de crecimiento y desarrollo de microalgas

Fase	Duración	características
Inducción	1-3 días	Comienza la adsorción de nutrientes por parte de las células, además del proceso de adaptación al medio ambiente en el que se han desarrollado. En este estado, las células no tienden a dividirse, debido a que no existe todavía un contexto apropiado para este proceso, pues aun es necesario que se den ajustes en cuanto a las condiciones bioquímicas de los cultivos.
Exponencial	4 días	Se inicia cuando las células ya han logrado adaptarse, por lo que también su posible multiplicación. Durante la fase exponencial, la división celular es mucho más rápida que en el resto de la fase.
Estacionaria		La población algal se vuelve constante, sin llegar a aumentar. Su duración tiende a ser demasiado corta como para ser perceptible.
Declinación relativa de crecimiento	1-2 días	Durante esta fase disminuye la división celular, pues se dan factores desfavorables en los cultivos, además de agotamiento de los nutrientes, desajustes en el pH, disminución de irradiaciones solares, entre otros.
Muerte		Por el aumento en el número de bacterias, hongos y espumas presentes en el cultivo, las condiciones comienzan a hacerse cada vez mas desfavorables para el desarrollo de microalgas. Se produce, pues, la muerte del cultivo.

Nota: Adaptado del análisis de potencial del uso de microalgas para el tratamiento de aguas residuales. (Candela Orduz, 2016)
<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/12170/91541023.pdf?isAllowed=y&sequence=>

El tratamiento de aguas residuales usa actualmente la remediación biológica por medio de algas empleando las cianobacterias, las microalgas son muy efectivas en el tratamiento ya que tienen gran capacidad para remover nutrientes y xenobióticos en estas aguas. (Candela Orduz,

2016)

6.7 Evaluación de la eficiencia de los Biofiltros

- **Estudio comparativo de Biofiltración con fibra de coco y humedales para el tratamiento de aguas residuales domésticas.** De acuerdo con los resultados obtenidos por el Autor del estudio, se puede comparar con los resultados que arroja una planta de tratamiento de aguas residuales tradicional.

Tabla 5 Comparación de los sistemas de filtración

Parametro	Unidad	Afluente	Efluente de biofiltro	Eficiencia del Biofiltro	Observaciones
Temperatura	°C	27	26	Cumple	Los dos sistemas cumplen la normativa legal vigente aplicable
pH	pH	6.2	6.9	Cumple	Los dos sistemas cumplen la normativa legal vigente aplicable
Solidos suspendidos totales	Mg/l	223	40	80.06%	El sistema convencional tiene un mayor porcentaje de remoción que el sistema propuesto.
Solidos totales	Mg/l	757	603	98.34%	Los niveles de eficiencia en ambos sistemas son altos
Coliformes fecales	NMP/100 ml	1.00E+07	1.10E+05	99.90%	Los dos sistemas reportan un alto porcentaje de efectividad en la remoción de estos agentes patógenos
Aceites y grasas	Mg/l	50	0.3	99.40%	Ambos sistemas tienen gran efectividad en la remoción de estos
DBO	Mg/l	583	174	70.15%	Los niveles de eficiencia en ambos sistemas son altos
DQO	Mg/l	200	23	88.50%	Los niveles de eficiencia en ambos sistemas son altos
Hierro	Mg/l	160	0.19	99.80%	Los niveles de eficiencia en ambos sistemas son altos

Nota: Adaptado de la investigación de dos biofiltros teniendo en cuenta la fibra de coco y humedales (Reyes, 2016) <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/38573/jejaimseb-1.pdf?sequence=3>

El sistema convencional presenta un mayor porcentaje de efectividad en la remoción de contaminantes, aun así, los resultados no están tan alejados del sistema propuesto, lo que lo hace una alternativa viable ya que la implementación del sistema no requiere gran inversión ya que es

simple en mantenimiento y operación, es un sistema que se adapta a la problemática y la economía de la población.

- **Evaluación de Biofiltros de flujo ascendente y descendente en Sistemas de Recirculación acuícola.**

Con base a los resultados que se obtuvieron se usaron valores promedio para los siguientes parámetros:

- **Temperatura:** Este parámetro oscilo entre los 14 y 17.9°C , se encuentran dentro de los rangos de valores para el cultivo de la trucha según lo recomendado por Timmons (2002).
- **Oxígeno disuelto:** A lo largo del periodo de prueba re registraron valores entre 3.3 y 8.2 mg/L, esto indica que hubo consumo dentro de los biofiltros por los procesos biológicos de degradación de la materia orgánica, los promedios calculados se encuentran dentro de los valores sugeridos.
- **pH:** Loa valores oscilaron entre 6.2 y 7.8 lo que indica que estuvieron cerca al valor de pH neutro, lo que favorece al cultivo de las especies microbiológicas.
- **CO₂:** Las concentraciones oscilaron entre 3.5 y 52.8 °C la acumulación de este gas justifica la sustitución parcial del orden de 5 a 10% del volumen de agua del sistema y así evitar que afecte el crecimiento de la especie a cultivar.
- **Turbiedad:** Los valores variaron entre 0.57 y 3.77 UT, lo que muestra la remoción de turbiedad en las unidades de biofiltración, sin embargo, en los biofiltros de flujo ascendente hubo mayor remoción.
- **Solidos suspendidos:** Los valores oscilaron entre 0 y 149 mg/L mostrando que los biofiltros realizaron remoción y que los de flujo ascendente presentaron mejor desempeño.
- **Fosforo:** Se presentaron valores mayores con una concentración media de 2.547 mg/L,

Teniendo en cuenta los resultados, se evidencia que este tipo de biofiltros pueden ser usados en terrenos dedicados a la piscicultura de forma segura, sin embargo, debe ser un espacio controlado constantemente, se recomienda realizar más estudios que permitan mejorar el desempeño de los biofiltros y el sistema de tratamiento para evitar alteraciones fisicoquímicas.

- **Filtros de agua para comunidades aisladas**

Este filtro utiliza resina extracto de maíz dulce y diferentes componentes la tierra como cobre, cascaras de nuez y KDF, permitiendo cumplir con su vida útil volviendo a la tierra sin causar un grave impacto. (Caps, 2025)

Figura 13 Proceso de filtración de Filter Caps



Nota: Adaptado de la investigación y desarrollo de un sistema de filtrado por medio de una tapa de botella universal permitiendo la filtración sin importar la forma de la botella. (Caps, 2025) <https://filtercaps.co/>

Centrados en generar un diseño universal, Filter Caps es desarrollado con la rosca universal PCO 28 mm, que se adapta a cualquier tipo de botella, además, utiliza tecnología aditiva 3D compuesta por minerales, metales y extractos naturales, convirtiéndola en accesible, asequible, costo-efectiva y capaz de recuperar más de 300.000 litros de agua en tan solo 2 meses, con un simple movimiento. (Caps, 2025)

- **Uso de aserrín y fibra de coco en biofiltros para aguas residuales**

Los resultados que arrojaron las muestras se pueden interpretar en la siguiente tabla:

Tabla 6 Detalle de caracterización de afluente y efluentes de los biofiltros

Parámetros	Unidad	Afluente	Biofiltro Efluente 1	Eficiencias Biofiltro 1	Biofiltro Efluente 2	Eficiencias Biofiltro 2
Temperatura	°C	27	27	Cumple	26	Cumple
pH	---	6.2	5.8	Cumple	6.9	Cumple
Sólidos suspendidos totales	Mg/l	223	370	No cumple	40	82.06%
Sólidos totales	Mg/l	757	3264	No cumple	603	20.34%
Coliformes totales	NMP/100ml	1.00E+07	1.10+E05	98.90%	1.10+E05	98.90%
Aceites y grasas	Mg/l	50	0.3	99.40%	0.3	99.40%
DQO	Mg/l	583	3650	No cumple	174	70.15%
DBO	Mg/l	200	39	80.50%	23	88.50%
Hierro	Mg/l	160	6.6	95.88%	0.19	99.88%

Nota: Adaptado de los resultados que arrojaron las muestras del proceso de filtración con fibra de coco y aserrín. (Reyes, 2016). <https://www.redalyc.org/journal/5722/572261592004/html/>

Las lombrices más adultas no lograron adaptarse y hubo una gran mortalidad, mientras las lombrices más jóvenes de 13 a 15 lograron adaptarse y descomponer la materia orgánica presente en el agua residual. Los resultados presentes en la tabla arrojaron que los parámetros están dentro de la norma aplicable removiendo el 53.53% de la remoción de contaminantes. (Jimmy Vicente Reyes , 2016)

- **Uso de microalgas en el tratamiento de aguas residuales**

Entre las ventajas de la producción de biomasa por medio de algas están:

- Aplicación a gran escala
- Bajo coste en producción y puesta en marcha
- Alta eficiencia en la iluminación
- Intercambio fácil de dióxido de carbono entre los gases emitidos por el cultivo
- Posibilidad de llevar a cabo sedimentación de las microalgas en el medio líquido

El uso de microalgas es muy efectivo en la depuración de aguas residuales, especialmente en la remoción de nutrientes, aunque en el fósforo no tanto, por lo que no se remueven totalmente los ortofosfatos. (Candela Orduz, 2016)

Conclusiones

- Los biofiltros han demostrado ser una solución efectiva para la remoción de contaminantes físicos, químicos y biológicos en diferentes entornos, evidenciando una reducción significativa en parámetros como turbidez, DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), DQO (Demanda Química de Oxígeno) y carga bacteriana.
- Los biofiltros se pueden diseñar y adaptar según las necesidades y condiciones de su uso, con materiales de fácil acceso como la arena, grava, carbón activado y fibras naturales. Siendo una alternativa para las comunidades de acceso limitado a tratamiento de agua.
- A pesar de que los biofiltros pueden mejorar la calidad del agua, su implementación debe cumplir la normativa colombiana vigente como el decreto 1575 de 2007 y la resolución 2115 de 2007 que son los estándares de calidad del agua potable.
- Si se compara con los sistemas tradicionales de tratamiento de agua, los biofiltros requieren menor inversión y mantenimientos reducidos, también fomentan la sostenibilidad ambiental y el uso de materiales reciclados.
- El uso de los biofiltros aun enfrenta una necesidad de mantenimiento constantes ya que la eficiencia varía según el tipo de contaminante que este tratando y la acumulación de la biopelícula que llega a obstruir el flujo del agua si no se retira la necesaria para mantener el ciclo.
- Desde la perspectiva bibliográfica el mejor tipo de biofiltro para uso domestico es el que contiene carbón activado para mejorar la remoción de impurezas y metales pesados, es de fácil fabricación y bajo costo.

Recomendaciones

- Es recomendable continuar con estudios experimentales en diferentes regiones de Colombia, para así poder evaluar a largo plazo los biofiltros bajo diferentes condiciones climáticas y de contaminación.
- Las comunidades deben empezar a educarse sobre la construcción, operación y mantenimiento de biofiltros para evitar su deterioro y garantizar el uso adecuado de los mismos.
- Combinar los biofiltros con otras tecnologías de tratamiento de agua como por ejemplo la filtración por membranas o la desinfección solar y así mejorar su rendimiento y garantizar la eliminación máxima de contaminantes microbiológicos.

Bibliografía

- Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (COSUDE)., Cooperación Austriaca para el Desarrollo y Water ans Sanitation Program (Abril de 2006). *Tratamiento de aguas residuales*. <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Proyecto-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-con-Biofiltros.pdf>
- Aguae Fundacion. (11 de Agosto de 2021). *Ranking de paises con escasez de agua*. [https://www.fundacionaguae.org/wiki/ranking-de-paises-con-escasez-de-agua/#:~:text=El%20World%20Resources%20Institute%20\(WRI,la%20lucha%20contra%20la%20pobreza](https://www.fundacionaguae.org/wiki/ranking-de-paises-con-escasez-de-agua/#:~:text=El%20World%20Resources%20Institute%20(WRI,la%20lucha%20contra%20la%20pobreza).
- Biología y Filtración S. L (Bio-Fil). (2023). *Introducción – Reactores de lecho móvil*. <https://www.bio-fil.es/es/sistemas/sistema-de-lecho-movil-mbbr/introduccion-reactores-de-lecho-movil/>
- Blu Radio. (13 de 09 de 2023). *Villavicencio sin servicio de agua permanente: ¿qué pasa?* <https://www.bluradio.com/nacion/villavicencio-sin-servicio-de-agua-permanente-que-pasa>
- Buenas Tareas. (10 de Octubre de 2010). *Nutrientes vegetales inorgánicos. nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo compuestos orgánicos. muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos*, <https://www.buenastareas.com/ensayos/Nutrientes-Vegetales-Inorg%C3%A1nicos-Nitratos-y-Fosfatos/885370.html>
- Bueno, C. A. (8 de Agosto de 2023). *Continúan los problemas de suministro de agua en Villavicencio*. <https://www.radionacional.co/noticias-colombia/problemas-de-suministro-de-agua-en-villavicencio-0>
- Candela Orduz, R. D. (2016). *Las microalgas y el tratamiento de aguas residuales: conceptos y aplicaciones*. [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)]. Repositorio Institucional. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/12170/91541023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Carbotecnia. (27 de Agosto de 2023). *¿Cómo tratar el agua para la retención de materia orgánica?* <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/contaminantes->

- organicos-en-el-agua-potable/
- Centeno Cuadra, R. (06 de Mayo de 2020). *Características Físicas, Químicas y Biológicas en el Agua Potable que deben controlarse*. TSI LifeScience: <https://tecnosolucionescr.net/blog/215-caracteristicas-fisicos-quimicas-y-biologicas-en-el-agua-potable-que-deben-controlarse>
- Clara y Pura. (2024). *Filtros de agua y purificadores de alta calidad para tu hogar*. <https://claraypura.com/>
- Condorchem Enviro Solution. (2025). *Biofiltros para el tratamiento de emisiones, COV y olores*. <https://condorchem.com/es/biofiltros/>
- Congreso de la republica de Colombia. (22 de Diciembre de 1993). *por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente*. https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma_pdf.php?i=297
- Cruz, K. (24 de Marzo de 2023). *Agentes patógenos: qué son y tipo*. Bioenciclopedia: <https://www.bioenciclopedia.com/agentes-patogenos-que-son-y-tipos-852.html>
- Departamento Administrativo de la Función Pública (DAFP). (2024). *Funciones Generales*. https://www1.funcionpublica.gov.co/quienes-somos/funciones-generales?p_p_id=com_
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2022). *¿Qué es el Plan Nacional de Desarrollo?* <https://www.dnp.gov.co/plan-nacional-desarrollo>
- Diario El Espectador. (17 de Mayo de 2024). *Villavicencio está sin agua y podrá estarlo por al menos cinco días mas*. <https://www.elespectador.com/colombia/mas-regiones/villavicencio-esta-sin-agua-y-podra-estar-lo-por-al-menos-cinco-dias-mas>
- Diario El Tiempo. (19 de Mayo de 2022). *Más de 2.000 familias afectadas por inundaciones en el Llano*. <https://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/lluvias-en-meta-afectaciones-por-inundaciones-en-casanare-y-villavicencio-673612>
- Filter Caps. (2025). *La primera tapa que filtra y mineraliza el agua*. <https://filtercaps.co/>
- Henry. (2024). *Aguas Residuales: Proceso y Técnicas de Tratamiento para un Mundo más Limpio*. Obtenido de Instituto del Agua: <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/como-es-el-tratamiento-de-aguas-residuales>
- Henry. (2024). *Biofiltros para Aguas Residuales: Soluciones Ecológicas y Efectivas para la Depuración del Agua*. Instituto del Agua: <https://institutodelagua.es/aguas->

- residuales/biofiltros-para-aguas-residualesaguas-residuales/
- Herrera Velásquez, W y Rey Calderón, A. (2018). *Implementación de Biofiltro como agente depurador de aguas residuales del conjunto aranjuez II en el municipio de Villavicencio Meta*. [Trabajo de grado, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional. <https://repository.ucc.edu.co/server/api/core/bitstreams/5cd7c91c-034a-4bea-9a7a-b67b806a508f/content>
- Ingeniería & Alquileres (2024). *Guía Completa para Cumplir con las Normas Técnicas Colombianas (NTC): Explicación de las Principales NTC Relevantes para la Construcción y Cómo Garantizar su Cumplimiento*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación: <https://ingenieriayalquileres.com/guia-completa-para-cumplir-con-las-normas-tecnicas-colombianas-ntc-explicacion-de-las-principales-ntc-relevantes-para-la-construccion-y-como-garantizar-su-cumplimiento/>
- Instituto del agua. (2025). *Contaminación del recurso hídrico en Colombia*. Obtenido de Instituto del Agua: <https://institutodelagua.es/calidad-del-agua/contaminacion-del-recurso-hidrico-en-colombiarecursos-hidricos/>
- Instituto del agua. (23 de Mayo de 2017). *El mundo del agua*. <https://press.parentesys.com/3815/principales-fuentes-de-contaminacion-del-agua-con19469>
- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (2012). *Revista Tecnología y ciencias del Agua*. https://scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_serial&pid=2007-2422&lng=es
- Jaimes Bermudez, J. E. (2020). Estudio comparativo entre un sistema combinado de biofiltración y un sistema del tipo tradicional como alternativa al tratamiento de aguas residuales para viviendas rurales en Colombia. [Trabajo de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)]. Repositorio Institucional. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/38573/jejaimesb-1.pdf?sequence=3>
- Leiva Pérez, A y Zambrano Cedeño, I. Santiago, Z. C. (Abril de 2019). *Filtros de arcilla y cascarilla de arroz, incidencia en remoción de carga orgánica en aguas residuales de la ciudad de Portoviejo*. [Tesis]. Escuela Superior Politécnica: <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/988>
- Léxico Científico. (s.f.). *Sustancias inorgánicas en el agua: ¿Qué debemos saber?*

- <https://lexicocientifico.net/quimica/sustancias-inorganicas-agua-debemos-saber/>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (2022). *El Estudio Nacional del Agua de Colombia concluye la necesidad de investigar el agua subterránea*. IAGUA: <https://www.iagua.es/noticias/gobierno-colombia/estudio-nacional-agua-colombia-concluye-necesidad-investigar-agua#:~:text=E>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia. (17 de Marzo de 2015). Resolución 631 de 2015. *Por el cual se establecen los parametros y los valores limites maximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerposde aguas superficiales*. <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/11/resolucion-631-de-2015.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (2025). *Reglamento Tecnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico (RAS)*. <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-agua-y-saneamiento-basico-reglamento-tecnico-sector-reglamento-tecnico-del-sector-de-agua-potable-y-saneamiento-basico-ras>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia (2007). *Resolución 2115 de 2007*. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. <https://www.minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-2115-2007>
- Montero, S (2025). *Importancia del tratamiento de aguas* <https://colombiaverde.com.co/geografia/hidrografia/importancia-del-tratamiento-de-aguas/>
- Moriana, L. (5 de Noviembre de 2021). *Contaminación radiactiva: causas, consecuencias y soluciones*. Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/contaminacion-radiactiva-causas-consecuencias-y-soluciones-1246.html>
- Ondarse Alvarez, D. O. (30 de Septiembre de 2021). *Compuestos Organicos*. Enciclopedia Gumanidades: <https://humanidades.com/compuestos-organicos/>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2023). *Agua limpia y saneamiento*. <https://colombia.un.org/es/sdgs/6>
- Periodico del Meta. (16 de 01 de 2023). *Otra vez Villavivencio sufre por falta de servicio de acueducto*. <https://periodicodelmeta.com/otra-vez-villavivencio-sufre-por-falta-de->

- servicio-de-acueducto/
Presidencia de la Republica, d. C. (26 de Mayo de 2015). Decreto 1076 de 2015. *Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del sector Ambiente y Desarrollo sostenible.* Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/06/Decreto-1076-de-2015.pdf>
- Presidencia de la Republica de Colombia (18, diciembre de 1974). Decreto Ley 2011 de 1974. *Código Nacional de Recursos Naturales.* <https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Normatividad/Nacional/Leyes/Decreto-Ley2811-74-Codigo-Recursos-Naturales-Renovables-y-Proteccion-Medio-Ambiente.pdf>
- Presidencia de la Republica de Colombia (1991). (2007). *Decreto 1575 de 2007. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua.* Obtenido de <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Decreto-1575-de-2007.pdf>
- Quilton. (2024). *Aguas pluviales.* <https://quilton.com/tratamiento-de-aguas/aguas-pluviales/>
- Reyes, J.(2016). *Determinación de la eficiencia del aserrín y la fibra de coco utilizados como empaques para la remoción de contaminantes en Biofiltros para el tratamiento de aguas residuales.* Enfoque UTE, 7(3) 41-56
<https://www.redalyc.org/journal/5722/572261592004/html/>
- Romero, S. (19 de Abril de 2021). Filtro de madera que elimina el 99% de las bacterias en agua contaminada.
- SafetyCulture. (2025). *Tratamiento de aguas.* <https://safetyculture.com/es/temas/tratamiento-de-aguas/>
- Sanchez, J. (03 de Mayo de 2021). *Cómo hacer un filtro de agua casero para beber.* Ecología Verde: <https://www.ecologiaverde.com/como-hacer-un-filtro-de-agua-casero-para-beber-1123.html>
- Saldarriaga Sole, L y García Fonseca, S. (2020). Análisis del desempeño de un biofiltro con adsorbentes convencionales y no convencionales para el tratamiento de agua de producción petrolera ubicadas en el sector de caño Lima, Arauquita (Arauca). [Trabajo de grado, Universidad del Bosque]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12495/4026>
- Sanchez, J. (7 de Junio de 2024). *Que es la containación termica y sus causas.* Ecología Verde:

- <https://www.ecologiaverde.com/que-es-la-contaminacion-termica-y-cuales-son-sus-causas-1477.html>
- Sánchez Ortiz, I. (2012). *Montaje y evaluación preliminar de biofiltros de flujo ascendente y descendente para tratamiento de aguas residuales de un sistema de recirculación acuícola para cultivo de trucha arcoiris*.
https://www.researchgate.net/publication/334443441_Montaje_y_evaluacion_preliminar_de_biofiltros_de_flujo_ascendente_y_descendente_para_tratamiento_de_aguas_residuales_de_un_sistema_de_recirculacion_acuicola_para_cultivo_de_trucha_arcoiris
- Solis, I. (25 de Marzo de 2024). *Top 5 Tecnologías Innovadoras para Purificar el agua*.
<https://tramexambiental.com/2024/03/25/tecnologias-de-purificacion-de-agua/>
- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), (2025). *Biofiltros*. Unidad de Ecotecnologías de la UNAM <https://ecotec.unam.mx/ecoteca/biofiltro>
- Vásquez Villanueva, S y Espinosa Ouchot, M. (2011). *Evaluación de Biofiltros de arena como sistema de desinfección unifamiliares en comunidades rurales*. Instituto mexicano de tecnología del agua: <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1479/HC-1105.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vidiella, E. T. (2022). *Diseño y estudio de un filtro de arena como postratamiento del digerido procedente de la codigestión de estiércol bovino y lactosuero en biodigestores implementados en zonas rurales de Colombia*. [Trabajo de Máster, Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio Institucional. <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/374530>
- Vigueras Cortes, J., Garzón Zuñiga, M y Sosa Hernández, D. (2015). *Uso de astillas de madera de mezquite (prosopis) en un sistema de biofiltros para tratar aguas residuales municipales*. [Tesis de Maestría, Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio Institucional. <http://repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/22018>
- Villalobos Vicente, M. (2022). *Biofiltro de lecho fijo*. [Trabajo de grado], Universidad César Vallejo <https://1library.co/article/biofiltro-de-lecho-fijo-tratamiento-biol%C3%B3gicos.zpnee2j0>
- Villanueva Perdomo, S y Torres Parra, C. (2014). *El filtro de arena lento: manual para el armado, instalación y monitoreo*. Universidad Piloto de Colombia. <https://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/4457>
- Visbal, L y Rozo, A. (2018). *Diseño de un Sistema de filtración continua Arena- Carbon activado*

como herramienta didáctica en el laboratorio de operaciones unitarias. [Artículo académico, Universidad de San Buenaventura]. Repositorio Institucional: <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/1563d504-c586-441e-b258-9d70aafa5efa/content>

Weather Spark. (2024). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Villavicencio Colombia* <https://es.weatherspark.com/y/24273/Clima-promedio-en-Villavicencio-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Precipitation>