

**TECNOLOGÍAS PARA LA POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS
SUPERFICIALES EN COLOMBIA**

IVAN YAHID VILLAMIZAR NIÑO

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
PAMPLONA, JUNIO 10 DE 2020**

**TECNOLOGÍAS PARA LA POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS
SUPERFICIALES EN COLOMBIA**

IVAN YAHID VILLAMIZAR NIÑO

**Trabajo de monografía presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

Director: PhD (c). JENIFFER KATERINE CARRILLO GOMEZ

**PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AMBIENTAL, CIVIL Y QUÍMICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
Pamplona, JUNIO 10 DE 2020**

AGRADECIMIENTOS

Primero quiero dar las gracias a Dios por permitirme vivir esta hermosa experiencia, por darme salud, valor y fortaleza durante este aprendizaje, por las bendiciones que me permitieron llegar a la meta y poder decir con orgullo que hoy en día soy un Ingeniero Químico.

A mi madre por ser siempre mi condicional apoyo por creer en mí y por todos sus consejos, a mis hermanos que sin duda fueron otro motor importante en esta etapa, a mi novia quien nunca me dejó solo, incluso en mis peores momentos. Esto es por y para ustedes.

Mis compañeros y profesores que me brindaron lo mejor de sí, sus conocimientos y con ellos poder vivir la mejor experiencia.

GLOSARIO

Agua: Es un elemento que hace parte de la naturaleza, se considera esencial para el sostenimiento y el crecimiento de los seres humanos, se distingue por sus características como el color (incolora), sabor (insípida), olor (inodora).

Aguas superficiales: Son las que provienen de la lluvia, creando fuentes de agua que llegan a los lagos, ríos y arroyos, se consideran la más susceptibles ante la exposición de contaminantes.

Agua potable: Es el agua que reúne los requisitos organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos y en las condiciones establecidas por el Decreto 475 de 1998, puede ser consumida por la población sin producir efectos que pongan en riesgo la salud.

Calidad del agua: Es un estado caracterizado por estar libre de sustancias y microorganismos que sean perjudiciales para el consumidor.

Potabilización: Consiste en la eliminación de contaminantes biológicos, sustancias, bacterias o virus que pueden estar presentes en el agua y son considerados como un riesgo para la salud del ser humano.

Potabilización del agua: Es un proceso que comprende una serie de etapas que se fundamentan en obtener un líquido apto para el consumo humano.

Planta de potabilización: Instalaciones donde se lleva a cabo procesos y tratamientos para purificar el agua hacia una determinada población.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	9
2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN.....	11
2.1 PLANTEAMIENTO	11
2.2 JUSTIFICACIÓN.....	12
3. OBJETIVOS	15
3.1 OBJETIVO GENERAL	15
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
4. ESTADO DE ARTE.....	16
4.1 COBERTURA DEL AGUA POTABLE	16
4.2 INVESTIGACIONES INTERNACIONALES.....	17
4.3 INVESTIGACIONES NACIONALES	19
4.4 BASES LEGALES.....	21
5. DESARROLLO DEL PROYECTO	22
5.1 POTABILIZACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES	22
5.2 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES.....	23
5.3 TECNOLOGÍAS PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES.....	25
5.4 TECNOLOGÍAS APLICADAS EN LA POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN PLANTAS DE COLOMBIA	28
5.5 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los procesos de potabilización de aguas superficiales.....	33
5.5.1 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua	34
6. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....	37
6.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES IMPLEMENTADAS EN SURAMÉRICA Y LAS UTILIZADAS EN COLOMBIA	37

CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de clasificación según el IRCA	23
Tabla 2. Clasificación de los procesos con membranas.....	26
Tabla 3. Plantas de tratamiento de agua potable en los municipios de Albán, Nainima, Nocaima	30
Tabla 4. Plantas de tratamiento de agua en Colombia y sus tecnologías.....	31
Tabla 5. Características físicas del agua	33
Tabla 6. Características químicas del agua	34
Tabla 7. Características físicas del agua y valores máximos aceptables	34
Tabla 8. Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana	35
Tabla 9. Características químicas que tienen implicaciones en la salud.....	35
Tabla 10. Características Químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana.....	35
Tabla 11. Características microbiológicas del agua.....	36
Tabla 12. Porcentaje de remoción de tecnologías implementadas a nivel global.....	38
Tabla 13. Porcentaje de remoción de tecnologías implementadas en Colombia.....	39
Tabla 14. Ventajas y desventajas de las tecnologías implementadas	40
Tabla 15. Ventajas y desventajas de las tecnologías implementadas en Colombia.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Distribución por área hidrográfica de la oferta hídrica superficial total	13
Figura 2. Evolución de cobertura de acueducto en Colombia (2011-2017)	16
Figura 3. Cobertura nacional de acueducto en zona urbana y rural en Colombia (2017).....	17
Figura 4. Proceso convencional de potabilización de aguas.....	25
Figura 5. Tratamiento convencional del agua potable	25
Figura 6. Procesos de separación por membranas en función al tamaño de partícula.....	27
Figura 7. Diseño de una planta de tratamiento convencional de potabilización del agua superficial.....	28
Figura 8. Diseño de una planta compacta de tratamiento de agua potable	29

1. INTRODUCCIÓN

El agua es indispensable y necesaria para el bienestar del ser humano y desarrollo de la vida, existen diferentes tipos de agua y su clasificación depende de las características químicas, físicas o biológica, dentro esta clasificación se encuentran las aguas superficiales, entendiéndose como “aquella que se encuentra circulando o en reposo sobre la superficie de la tierra. Estas masas de agua sobre la superficie de la tierra, forma ríos, lagos, lagunas, pantanos, charcas, humedales, y otros similares, sean naturales o artificiales” (Carrillo, 2017, p.9), y que dependiendo su origen pueden contener un elevado contenido de solidos suspendidos, bacterias, materia orgánica, entre otros contaminantes.

Según la literatura se dice que las principales fuentes de contaminación son las industrias o acciones causadas por el hombre, estas fuentes pueden generar un impacto negativo sobre la calidad del agua y por ende afectar a la población que se beneficia de este tipo de aguas, ya que puede perjudicar la salud mediante la transmisión de enfermedades.

Debido a esto, es fundamental el tratamiento de las aguas, el cual es realizado a través de diversos procesos y operaciones, donde su principal propósito es la eliminación y reducción de sustancias contaminantes o características que pueden afectar la calidad del agua, además, con estos procedimientos se evita la propagación de enfermedades de las personas consumidoras.

En tal sentido, es importante conocer los procesos y tratamientos de potabilización del agua, los cuales se conforman por procesos físicos y químicos que contribuyen a la eliminación de partículas y agentes contaminantes, asimismo, estos procedimientos se deben realizar bajo unas técnicas y normas estipuladas que controlan y garantizan la calidad del agua para el consumo humano, sin embargo, para lograr la eficacia en la remoción de las sustancias es fundamental la implementación de tecnologías que aseguren la calidad del agua.

El objetivo de esta monografía es analizar las tecnologías para la potabilización y tratamiento de aguas superficiales, en primer lugar, se abordará la importancia de la potabilización y los procesos de potabilización y tratamientos de aguas superficiales, seguidamente, se conocerán las tecnologías que se implementan en los procesos de potabilización y cuáles se aplican en las plantas de tratamiento en Colombia. Posteriormente, se identificarán los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se reglamentan en la normatividad de Colombia.

Por último, se mencionarán las tecnologías que son implementadas en los tratamientos de aguas superficiales en el contexto suramericano y las usadas en Colombia con el fin de conocer

la efectividad en la remoción de los contaminantes, además de describir sus ventajas y desventajas para lograr la construcción de un análisis comparativo que permita identificar cual es la tecnología que tiene mayor efectividad en los procesos de eliminación de sustancias y partículas contaminantes.

2. PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN

2.1 PLANTEAMIENTO

Los seres humanos necesitan del agua como componente esencial de supervivencia, además, es considerado como un derecho humano de acuerdo al reconocimiento realizado por la Asamblea General de las Naciones Unidas en el año 2010, donde se constituyó como una norma la Resolución No. 64/292, por medio de la cual “consagra el reconocimiento del derecho humano al agua potable segura y limpia y al saneamiento como derechos humanos esenciales para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos” (Moura & Maia, 2019, p.14). Aunque debido al incremento de la contaminación en el recurso hídrico a nivel mundial el consumo de agua potable ha disminuido, para tal efecto, la Organización Mundial de la Salud indicó que “desde el año 2015 solo el 89% de la población mundial tiene acceso a agua apta para consumo y se anticipa que este porcentaje continuará disminuyendo” (Citado por Gómez Duarte, 2018, p.7).

Asimismo, la UNESCO (2019) presentó un informe titulado “Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019” donde refiere que “Tres de cada diez personas (2.100 millones de personas, el 29% de la población mundial) no utilizaron un servicio de agua potable gestionado de forma segura, en 2015, mientras que 844 millones de personas aún carecían de un servicio básico de agua potable” (p.20); dada la situación presentada es importante analizar que una de las causas principales es la contaminación de las fuentes de abastecimiento, además, en algunos países no cuentan con los suficientes recursos para dar capacidad de cobertura a toda la población, por ejemplo, países donde se vive en constantes enfrentamientos se disminuye la gestión y las probabilidades de servicios básicos como el agua.

Colombia se caracteriza por ser un país que presenta abundancia del recurso hídrico, en especial, las fuentes superficiales (Lozano, 2017); debido al incremento de la población se ha evidenciado el alto consumo de agua, sin embargo, en el año 2012 el acceso al agua potable tuvo una cobertura del 92%, discriminada en un 99% para la zona urbana y un 72% en la zona rural, donde la última se ha visto mayormente afectada por la falta del recurso en la población (Guzmán, Nava & Díaz, 2015).

Ante la problemática de escasas de agua, se suma la contaminación, debido al aumento de la industrialización, la producción de sustancias químicas, entre otros, disminuyendo poco a poco la calidad del agua, aunque se han establecido tratamientos convencionales en los

procesos de potabilización, estos no han sido suficientes para la eliminación de los altos niveles de contaminación (Madera et al., 2018).

En tal sentido, es esencial el conocimiento de las tecnologías existentes para la adecuada potabilización del agua, las cuales deben cumplir con ciertos principios que contribuyan a la remoción de los residuos y contaminantes, el primero de ellos consiste en la parte *higiénica*, el cual se encarga de eliminar bacterias y material orgánico; el siguiente es el principio *estético*, tiene como responsabilidad “corregir el olor, la turbidez, el color y el sabor” (p.18); por último, se destaca el principio *económico*, el cual se ocupa de la remoción de los desechos producidos por elementos químicos o concentraciones relacionadas con el hierro (Barajas & León, 2016).

Conforme a la situación planteada, en la cual ha reflejado una disminución de la cobertura de agua potable a nivel mundial y en especial en Colombia, es fundamental que el agua antes de ser consumida pase por tratamientos y procesos de potabilización para analizar las impurezas y posibles factores contaminantes, y al mismo tiempo mantener la calidad de la misma. Si bien es cierto que algunos de estos tratamientos requieren de altos costos, se hace necesario conocer y adoptar medidas que proporcionen la sostenibilidad y consumo del recurso a través de nuevas tecnologías que promuevan la efectividad en la remoción de contaminantes (González, Roa & Ortiz, 2019).

2.2 JUSTIFICACIÓN

El agua es un elemento fundamental para la vida y el sostenimiento, se consolida como el medio indispensable para la preservación de la naturaleza y medio ambiente, asimismo, la base de la vida en el ser humano es el agua, de modo que desde el enfoque fisiológico el organismo del hombre está constituido “en un 70 % por agua del peso del cuerpo humano” (Guevara, 2017, p.33). Entre las principales funcionalidades que brinda el agua al individuo se encuentra el mantenimiento de los órganos para el buen funcionamiento y la adecuada temperatura corporal, favorece los procesos del metabolismo y digestión; por último, funciona como medio de transporte para la eliminación de sustancias que puedan afectar el desarrollo y crecimiento del cuerpo humano (Benhammou, 2016).

Igualmente, es considerado como el más grande tesoro, teniendo en cuenta que el mundo abarca 43.764 km³ de agua por año, a Colombia le corresponde un 5% y un 28% de los recursos hídricos lo conforma Suramérica. (IDEAM, 2018). Una de las principales características de Colombia es su abundante riqueza hídrica (ríos, lagos, lagunas y humedales), comprendiendo 2.011.665 millones metros cúbicos (Mm³), dividida en las 5 áreas hidrográficas: Magdalena –

Cauca (271.049 Mm³), Caribe (182.865 Mm³), Pacífica (283.201 Mm³), Orinoco (529.469 Mm³) y el área del Amazonas (745.070 Mm³) (Martínez, 2016); no obstante, la distribución hidrográfica presenta variabilidad debido a las épocas de sequía o actividades tales como la deforestación, la pesca, o cualquier trabajo que pueda perjudicar el área hidrográfica. Según el IDEAM (2019) en el informe titulado “Estudio nacional del agua: 2018” la oferta total de las áreas hidrográficas fue de 2.023.113 millones metros cúbicos (Mm³), asimismo, los porcentajes en relación a la distribución se relacionaron de la siguiente forma:

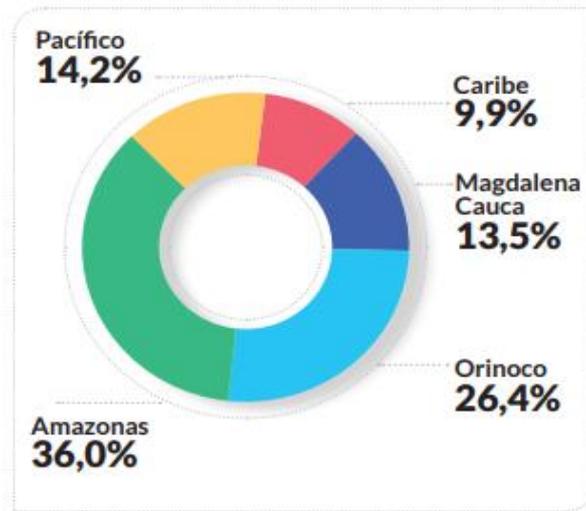


Figura 1. Distribución por área hidrográfica de la oferta hídrica superficial total

Fuente: IDEAM (2019, p.45)

Como se puede evidenciar en el párrafo anterior, Colombia posee un alto porcentaje en relación al recurso hídrico, destacando la región del Amazonas, sin embargo, debido a la contaminación se ha generado hace que el uso de aguas no aptas para el consumo humano presente múltiples enfermedades, según Ramírez, Ramírez, Cuesta y Rodríguez (2018) se encuentran la Hepatitis A, Giardiasis, Amebiasis o Disentería Amebiana, Fiebre Tifoidea, Cólera, Ascariasis, Leptospirosis; específicamente en Colombia, datos presentados por la Defensoría del Pueblo (2009), Ministerio de Salud y Protección Social (2014) e Instituto Nacional de Salud (2014), las enfermedades asociadas con el agua contaminada son Hepatitis A, EDA (enfermedad diarreica aguda), ETA (enfermedad transmitida por alimentos), Fiebre tifoidea y paratifoidea, Cólera, Dengue clásico, Malaria falciparum, Malaria vivax y Leptospirosis (Citado por Correa, 2015).

Por ello, para garantizar la calidad del agua en el consumo humano es importante que se encuentre libre de microorganismos que pueden ser causantes de dichas enfermedades, por consiguiente, es necesario la adecuación de una calidad microbiológica que identifique los

riesgos a la salud que se pueden enfrentar los consumidores, para definir controles que permitan prevenir el suministro de agua insalubre. La determinación de la calidad del agua se realiza por medio de un análisis de las características físicas y químicas del agua con el fin de garantizar que sea saludable y apta para el consumo humano (Severiche, Acevedo & Jaimes, 2015).

En virtud de ello, Colombia tiene constituida la Resolución No. 2115 del año 2007, establecida por El Ministerio de la Protección Social y el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, donde se señalan las “características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano” (Enciso & Jiménez, 2019, p.45)

Ante este panorama, para asegurar la calidad del agua es fundamental tratarlas desde su captación (aguas superficiales), debido a que en ese momento no se percibe cuáles son los contaminantes que contiene. Es ahí donde actúan las plantas de tratamiento de agua potable, las cuales posibilitan conocer las propiedades que se encuentran en esa agua, para tratarla, haciendo los respectivos análisis para la eliminación de los diferentes agentes contaminantes (Medina & Realpe, 2018).

Pero, para lograr una remoción total de las impurezas, es necesario implementar el uso de tecnologías para los respectivos procesos de potabilización, este recurso técnico que contribuye a la agilización y eficacia en los procesos del tratamiento de las aguas superficiales en la eliminación de los contaminantes.

Las tecnologías más reconocidas son las de tratamiento convencional y coagulación convencional (Torres, Fuentes, Barba & Cruz, 2019). Tecnologías con membranas: microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, ósmosis reversa. (Mesa, Orjuela, Ortega & Sandoval, 2018). También son reconocidas las tecnologías establecidas en procesos electroquímicos: “la electro-coagulación, la electro-diálisis, la electro-flotación y la electro-deposición, entre otras” (Moya, 2018, p.1)

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, con este trabajo se pretende conocer las tecnologías existentes para el proceso de potabilización y tratamiento de aguas superficiales de consumo humano a nivel global y cuáles son las principales tecnologías aplicadas en la potabilización y tratamiento de aguas superficiales en las plantas de tratamiento en Colombia, posteriormente se identificarán los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que regulan los procesos de potabilización de aguas superficiales, finalmente se realizará una comparación con las tecnologías implementadas exitosamente en el contexto suramericano. Igualmente, la monografía servirá de base de consulta bibliográfica donde se condensarán las principales tecnologías y se suministrará como herramienta para la implementación en Colombia.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Analizar las tecnologías para la potabilización y tratamiento de aguas superficiales en Colombia.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las tecnologías existentes para el proceso de potabilización y tratamiento de aguas superficiales de consumo humano.
- Analizar las principales tecnologías aplicadas en la potabilización y tratamiento de aguas superficiales en las plantas de Colombia.
- Identificar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que regulan los procesos de potabilización de aguas superficiales para el consumo humano.
- Realizar una comparación con las tecnologías implementadas exitosamente en el contexto suramericano.

4. ESTADO DE ARTE

4.1 COBERTURA DEL AGUA POTABLE

La cobertura de agua potable en la mayoría de los países ha presentado variabilidad en el abastecimiento de agua, por ejemplo, en el año 2017, Argentina tuvo un porcentaje del 84,4%, Bolivia 90%, Brasil 87%, Chile 99,92%, Colombia 97%, Ecuador 75%, Paraguay 75%, Perú 86.1%, Uruguay 100%, Venezuela 86%, resaltando a Uruguay como el único país en obtener una totalidad en el abastecimiento del bien hacia los consumidores (Pochat & Donoso, 2018). Particularmente, en Colombia desde el año 2011 hasta el año 2017 se ha mantenido estable en relación a la cobertura de agua potable tanto en la zona urbana como en la zona rural, iniciando con un total de 90,9% para el año 2011, sosteniéndose en el año 2017 con un total de 92,4% en el 2017, sin embargo, se evidencia que los avances en la zona rural desde el año 2013 solo han tenido un incremento del 3% en materia de cobertura (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2018).

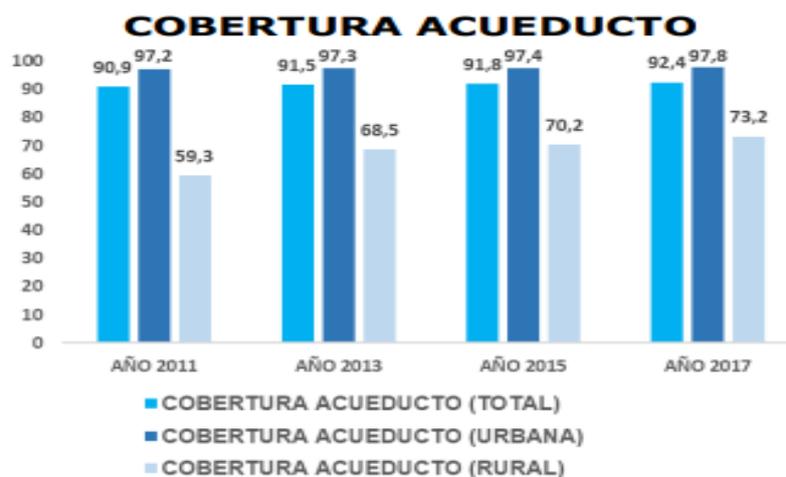


Figura 2. Evolución de cobertura de acueducto en Colombia (2011-2017)

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2018, p.14)

La problemática de acceso al agua potable en las zonas rurales se ha visto reflejada desde los años 90, dado que en esa época se realizaron cambios estructurales en las entidades encargadas del suministro de agua potable y saneamiento básico rural, las cuales no contaban con el presupuesto suficiente generando como consecuencias un estancamiento en el apoyo al sector rural en relación a las necesidades de la población. Posteriormente, surgieron otras instituciones que apoyan con un mayor porcentaje en inversión a la comunidad urbana (Carrasco, 2016), por lo tanto, en la realización de todos estos procesos se ha tenido como

resultado el bajo apoyo del estado en materia de acceso de agua potable a la zona rural en la actualidad, lo cual se puede ver reflejado en la figura 3 la cual muestra la diferencia de porcentaje que tiene la cobertura en la zona urbana frente a la zona rural.

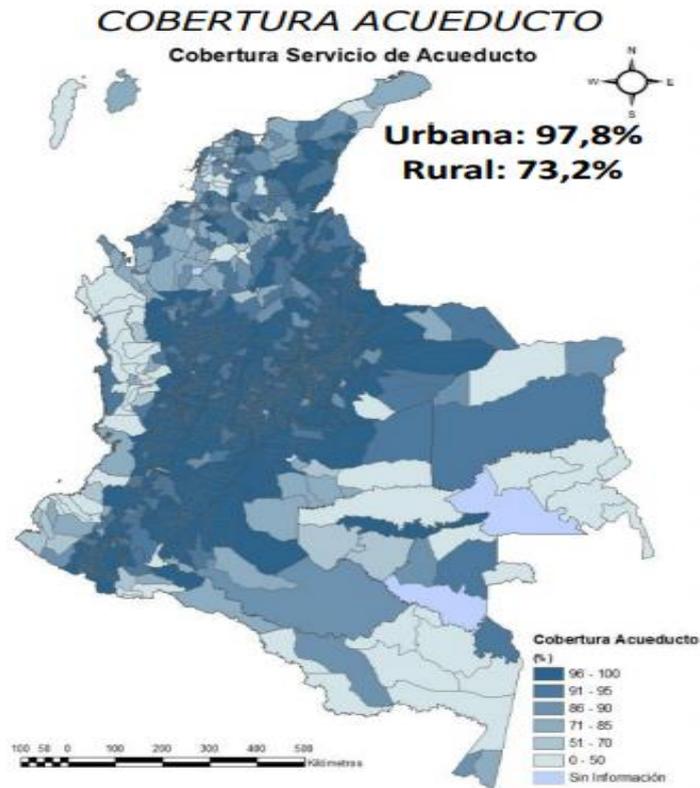


Figura 3. Cobertura nacional de acueducto en zona urbana y rural en Colombia (2017)

Fuente: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2018, p.14)

4.2 INVESTIGACIONES INTERNACIONALES

Un estudio desarrollado por Rodríguez y Escobar (2018) titulado “Evaluación del funcionamiento de filtros de biocarbón/arcilla en la potabilización del agua, mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos” de la Universidad de el Salvador. Señala que el filtro de biocarbón utilizado para la evaluación está compuesto por una mezcla de barro y aserrín al cual se le añade agua y es posteriormente colocado en un molde que se sostiene por un gato hidráulico, al momento de secarse se ubica en un horno a 890° centígrados, después de un tiempo se transforma en una membrana de micro-poros que detiene el paso de contaminantes, además, se adiciona la placa coloidal, la cual opera como una barrera para el control de bacterias.

El estudio fue desarrollado bajo la metodología de investigación experimental, cuyo propósito fue la evaluación del funcionamiento de los filtros artesanales por medio de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos. La duración del experimento se efectuó por un periodo de seis meses en las ciudades de Llobasco y San Salvador, realizando una evaluación para conocer la capacidad de retención de contaminantes a través de muestras de agua cruda, dando como resultado después de un análisis microbiológico un alto porcentaje de efectividad en la remoción de microorganismos bacterianos.

Las aguas superficiales están expuestas a la contaminación de diversos elementos, entre ellos, el arsénico, por lo tanto, Castro y Mollocondo (2015) realizaron un estudio denominado “Aplicación tecnológica del óxido de hierro en lecho fijo para la reducción de arsénico de aguas superficiales provenientes del río Tambo a nivel laboratorio” de la Universidad Nacional de San Agustín – Perú, la metodología implementada fue sobre un diseño experimental, trabajando parámetros y variables establecidas a una muestra de agua cruda tomada de una planta de tratamiento de agua, con el objetivo de reducir la concentración de arsénico por medio del óxido de hierro.

En las fases de análisis se utilizó hipoclorito de calcio y pH como complemento para el estudio con el óxido de hierro, posteriormente, a las muestras se les realizó un proceso a través de un filtro lento. Finalmente, como resultado se confirma la remoción del arsénico logrando establecer niveles factibles de porcentaje en materia de eliminación del componente.

El sector rural se ha considerado en diversas investigaciones que a lo largo del tiempo han presentado dificultades de acceso de agua potable, adicionalmente, no cuentan con suficientes recursos para la implementación de tecnologías que permitan erradicar la contaminación del agua y así evitar enfermedades, debido a esto, Gonzaga (2016) plantea la tecnología de membranas como alternativa de solución bajo un estudio titulado “Potabilización de aguas crudas mediante tecnología de membranas para 500 habitantes. Caso de estudio Cangonamá - Ecuador”, de la Universidad Politécnica de Valencia. La metodología es de tipo exploratoria, determinando el análisis de las condiciones de vida de la población, adicionalmente, se aplica una encuesta descriptiva para conocer la forma de abastecimiento y cuáles son los servicios básicos a los que tiene acceso la población.

De acuerdo a la revisión sanitaria, se estableció que la enfermedad parasitosis era la causante de la morbilidad en la población, por ello, se requiere de la adecuación de una tecnología que sea eficaz en la remoción de contaminantes, puesto que existe una planta de tratamiento constituida por un “filtro lento descendente (FLD) y pasa directamente a la desinfección” (Gonzaga, 2016, p.84), pero, por falta de mantenimiento no funciona correctamente,

disminuyendo la capacidad de remoción de materia orgánica, dando paso al origen de enfermedades como la parasitosis afectando a la población.

Dada las investigaciones de los tipos de tecnologías adecuadas, el estudio optó por implementar la tecnología de membranas, compuesta por microfiltración (MF), ultrafiltración (UF) y nanofiltración (NF), dado que es una tecnología muy completa y elimina virus, bacterias, en este caso, el virus transmitido a la población.

4.3 INVESTIGACIONES NACIONALES

A lo largo de los años ha existido la problemática de cobertura de agua potable, al mismo tiempo se ha evidenciado la contaminación en las aguas superficiales, situación dada por diversos factores, aun cuando se han implementado tratamientos convencionales, estos no han sido totalmente efectivos, por tal motivo, algunos autores han abordado esta temática relacionando algunas tecnologías que se han utilizado para el tratamiento de agua potable.

En primer lugar, se trae a mención el trabajo de Ramírez y Jaramillo (2015) denominado “Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua”, de la Universidad militar nueva granada, cuya investigación fue desarrollada bajo una metodología de tipo exploratoria y comparativa, esto con el fin de llevar a cabo un “análisis de la información existente sobre el desempeño de diferentes agentes de origen natural en el proceso de coagulación-floculación, evaluando su eficiencia y los mecanismos empleados en el proceso de remoción de partículas suspendidas y coloidales (turbidez)” (p.141).

La investigación también resalta algunos los coagulantes que son utilizados a nivel mundial, y diversos estudios donde se han implementado dichos agentes, de los cuales señalan algunos utilizados en Colombia, mostrando como alternativa la implementación de los agentes naturales como parte de la remoción de impurezas en el agua empleada para el consumo humano, además, por ser procedentes de origen vegetal o animal son viables desde el enfoque ambiental.

El estudio señala que considerando que algunos países en desarrollo no cuentan con los suficientes recursos para adoptar tecnologías de alto costo, escogen como alternativa tecnologías tradicionales que sirvan de ayuda en la remoción de agentes contaminantes en el ámbito doméstico, entre ellas se destaca la “Moringa oleífera - agente vegetal”, adaptada en los procesos de coagulación y floculación, el “Cactus”, usados en la clarificación del agua, almidones, entre otros. La investigación tuvo como resultado que el uso de los agentes naturales promueve “la remoción de turbidez del agua” (Ramírez & Jaramillo, 2015, p.149).

El acceso de agua potable a las zonas rurales de Colombia es un fenómeno que siempre ha sido un factor de preocupación para las comunidades, aunque existe el decreto 421 del 2000 donde se reglamenta que las organizaciones están en la obligación de prestar servicios públicos de agua potable y saneamiento básico en municipios menores, zonas rurales y áreas urbanas (Presidencia de la Republica, 2000), la cobertura ha sido escasa.

Por ello, Gómez y Moreno (2017) en el trabajo titulado “Diseño a escala real de un sistema de filtración en múltiples etapas (Fime): Estrategia para la potabilización del agua de la comunidad rural de guamal en Supía, Caldas”, de la Universidad Católica de Manizales, hacen un análisis de la factibilidad de dicha tecnología en la eliminación de bacterias en la zona rural. El documento no presenta el tipo de metodología, pero por su contenido se puede evidenciar que tiene un enfoque cualitativo al centrarse en una investigación desarrollada en un determinado territorio. El análisis del estudio destaca que la tecnología Filtración en Múltiples Etapas (FiME) ha sido evaluada desde los años 80 como una alternativa de bajo costo para pequeñas poblaciones, igualmente, se refleja como conclusión que esta tecnología se caracteriza por potabilizar el agua que contiene altos niveles de contaminación.

Continuando con el análisis de tecnologías que sean factibles para el tratamiento del agua, se hace referencia al estudio realizado por Pérez, Díaz, Salamanca y Rojas (2016) denominado “Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y Olla Cerámica”, de la Universidad de Boyacá, teniendo como objetivo evaluar la eficiencia de los filtros caseros. La investigación fue desarrollada mediante una metodología de tipo experimental comprendiendo 3 fases: “preparación del sustrato sintético, operación y mantenimiento de los sistemas de filtración y análisis estadístico de resultados” (p.278).

Además de la interpretación del análisis, también hacen referencia a los diversos tipos de tratamiento del agua, presentando los siguientes métodos que contribuyen a la remoción de organismos bacterianos:

- *Sistemas basados en la aplicación de calor o Luz Ultravioleta (hervir el agua; radiación solar; desinfección solar; lámparas UV)*
- *Tratamientos químicos (coagulación, floculación y precipitación; Adsorción; Intercambio iónico; desinfección química)*
- *Métodos físicos de remoción (sedimentación o clarificación; Filtración con membranas, Filtros cerámicos; Filtros con medio granular o arena; Aireación)* (Pérez, Díaz, Salamanca & Rojas, 2016, p.277)

El desarrollo del trabajo entregó como resultado que los dos sistemas de filtración lograron remover la turbiedad de agentes bacterianos, asimismo, cumplen con las normas establecidas

y funcionan para tratamientos a nivel casero, además, destacan que el filtro LifeStraw®family - FM tiene mayor capacidad de eliminación de sustancias, sin embargo, el filtro de olla cerámica - FOC tiene mayor ventaja de aceptación en zonas rurales.

4.4 BASES LEGALES

Decreto 475 de 1998: Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable. Pero, el decreto fue derogado por el artículo 35 del Decreto 1575 de 2007. (Presidencia de la Republica, 1998).

Decreto 1575 de 2007: Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. (Presidencia de la Republica, 2007)

Decreto 421 del 2000: Por el cual se reglamenta el numeral 4 del artículo 15 de la Ley 142 de 1994, en relación con las organizaciones autorizadas para prestar los servicios públicos de agua potable y saneamiento básico en municipios menores, zonas rurales y áreas urbanas específicas. (Presidencia de la República, 2000)

Resolución 1096 del 2000: Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. (Ministerio de desarrollo económico, 2000)

Resolución 2115 del 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. (Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, 2007)

5. DESARROLLO DEL PROYECTO

5.1 POTABILIZACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES

El agua es un bien de vital importancia en el ser humano, en el transcurso del ciclo hidrológico adquiere fluidos (gases – vapor) y partículas que pueden afectar las fuentes naturales, entre ellas las aguas superficiales, alterando las características físicas, biológicas y químicas (Buenaño, 2017), por lo tanto, para ser consumida se requiere de un tratamiento que contribuya a la eliminación de contaminantes o microorganismos, además, ayuda a evitar el riesgo de contraer enfermedades; de esta manera se da paso a la implementación de la potabilización, la cual se define como “una serie de operaciones y procesos que permiten obtener un líquido apto para el consumo humano” (Mayorga & Mayorga, 2016, p. 376).

Al mismo tiempo, Palomero y Hernández (s.f.) señalan que la potabilización es “el tratamiento para adecuar el agua al consumo humano modificando sus parámetros físico-químicos y biológicos para que no supongan un riesgo para la salud” (p.1). Igualmente, Jurado, Meza y López (2018) indican que las etapas de la potabilización tienen como finalidad el tratamiento del agua y a su vez la modificación de las características y turbiedad, transformándola en agua de alta calidad y adecuada para el consumo de la población.

La calidad de vida del ser humano está ligada directamente de la calidad del agua, al generarse una mala calidad por la contaminación o por falta de saneamiento adecuado puede originar un alto impacto negativo tanto en el medio ambiente como en el individuo, es por esta razón que se debe determinar la calidad del agua bajo unas directrices y estándares que aseguren el suministro de agua saludable para el consumo de las personas, es así como en Colombia, dentro del marco legal, existen normas de calidad para controlar que el agua sea apta para el consumo humano, de las cuales se encuentran: **Decreto 421 de 2000, Resolución 330 de 2017, Decreto 1575 de 2007, Resolución 2115 de 2007.**

Con el fin de determinar el grado de riesgo en la calidad del agua, se han establecido indicadores constituidos por el Decreto 1575 del año 2007, que funcionan como instrumentos para garantizar que el agua sea apta para el consumo humano: **IRCA** “Índice de riesgo de la calidad de agua para consumo humano, , encargada de establecer “el grado de riesgo de ocurrencia de enfermedades relacionadas con el no cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua para consumo humano” (p.24), también, está conformada

por una serie de características por medio de puntajes que definen la clasificación de los niveles de riesgo; **IRABA** “Índice de Riesgo Municipal por Abastecimiento de Agua para Consumo” y por último se encuentra el Mapa de riesgo de la calidad del agua para consumo humano (Alvarado & Rocha, 2018).

Tabla 1. Niveles de clasificación según el IRCA

Fuente: Elaboración propia basado en Ministerio de salud y protección social (2018, p.54)

IRCA %	Nivel de riesgo
80.1 – 100	Inviabile sanitariamente
35.1 – 80	Alto
14.1 – 35	Medio
5.1 – 14	Bajo
0 – 5	Sin riesgo

5.2 PROCESOS DE POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES

El agua antes de ser utilizada debe pasar por unos procesos y tratamientos de purificación para la eliminación de colores, sabores u olores que perjudiquen el consumo humano, estos tratamientos son de índole importancia en la sociedad, de manera que de la calidad procesada y la aplicación correcta permiten a la población satisfacer las necesidades esenciales para el desarrollo y crecimiento; en relación a las aguas superficiales, los procesos están en la capacidad de remover de materiales como la arcilla, limo y lodos, que son producidos en los ciclos hidrológicos; no obstante, los procesos de potabilización varían de acuerdo a la complejidad de la PTAP.

En tal sentido, esto indica que depende del uso y las necesidades que tenga la planta de tratamiento de agua potable se determinan los procesos, entre los comunes se destacan:

- **Captación**, es el proceso donde se lleva a cabo la toma del agua directamente de la fuente y dependiendo del tipo de planta se conduce primero a un pre-tratamiento o seguidamente a la planta potabilizadora.
- El **pre-tratamiento**, se realiza mediante los siguientes métodos: *procesos físicos* donde se produce la separación de partículas gruesas y cuerpos sólidos; *procesos químicos* para la aplicación de productos como el cloro, coagulantes y floculantes; *procesos de captación en planta*, estos se ejecutan mediante una unidad hidráulica a través de la

implementación de coagulantes que son distribuidos en el caudal y llevados a las secciones de tratamiento; *procesos de coagulación/floculación*.

- En el proceso de **coagulación** se realiza la “desestabilización química de las partículas coloidales” por medio de coagulantes, después se continua con el proceso de floculación, el cual consiste en agitar las partículas hasta crear una masa que permita aumentar el tamaño de los flóculos con el objetivo de facilitar la sedimentación.
- El siguiente paso es la **decantación**, su funcionalidad es “la separación de los sólidos con mayor peso específico que el agua y que tienen una velocidad de caída tal que puede llegar al fondo del decantador en un tiempo económicamente aceptable”; *proceso de filtración*, “es la separación de partículas coloidales y microorganismos objetables que no han quedado retenidos en los procesos anteriores (coagulación y decantación) a través de un medio poroso llamado lecho filtrante” (Pulido & Carrillo, 2016, p.25), este proceso depende de la efectividad en la producción de las actividades anteriores; *desinfección*, tiene como propósito garantizar que el agua no contenga partículas que puedan afectar el consumo desde el enfoque microbiológico.
- Por último, se finaliza con el proceso de almacenamiento, donde se procede a depositar el agua desinfectada en las unidades adaptadas con la capacidad necesaria para posteriormente ser distribuidas a los sectores que sean requeridos (Pulido & Carrillo, 2016).



Figura 4. Proceso convencional de potabilización de aguas

Fuente: Elaboración propia basado en Carpio, Martínez y Ruiz (2016, p.10)

5.3 TECNOLOGÍAS PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES

Las tecnologías en la actualidad han jugado un papel fundamental en todos los ámbitos: educativo, económico, político y social, asimismo, forman parte de la solución ante la problemática de la contaminación y escases del agua potable; por consiguiente, el diseño e implementación de tecnologías beneficia la eficiencia en los procesos de potabilización de aguas superficiales y de igual forma ayuda al mejoramiento en el desarrollo de las plantas de tratamiento. Entre las tecnologías más usadas se encuentra el *sistema convencional*: pretratamiento, coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (Medina, 2017). Por otro lado, las tecnologías de filtración son utilizadas para la remoción de partículas a través del proceso de absorción, las más utilizadas en el tratamiento de aguas son: “la filtración lenta a rápida en lechos de arena y los sistemas de empaque para filtración” (Salamanca, 2016, p.36).

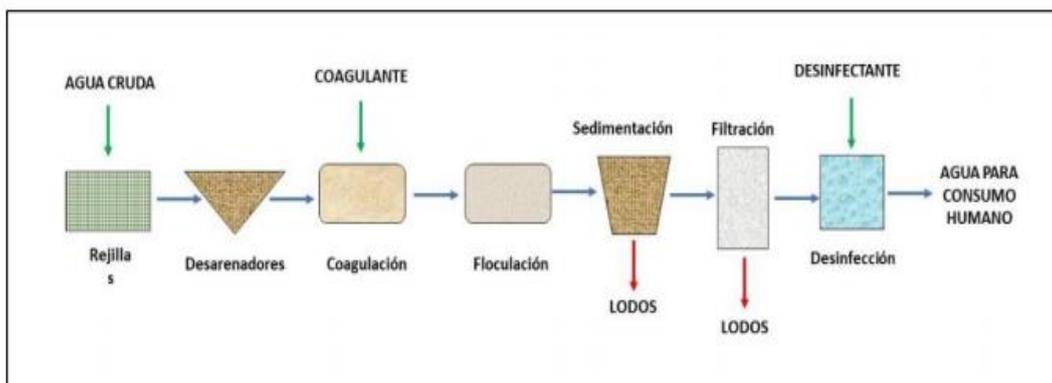


Figura 5. Tratamiento convencional del agua potable

Fuente: Medina (2017, p.13)

El agua pierde la claridad debido a la presencia de materiales como la arcilla, arena, entre otros, formando una turbidez que tiene como consecuencia un impacto negativo ante el consumidor, para dar solución a esta problemática actúa el *filtro lento de arena*, funciona como un sistema para la desinfección del agua y es de gran ayuda en los procesos y tratamientos de aguas superficiales. Por otra parte, elementos químicos como el “arsénico” hace parte de las impurezas que se pueden encontrar en las aguas superficiales, causado por los minerales de los depósitos geológicos y las industrias (Arévalo, 2016), en virtud de ello, se hace uso de las *tecnologías electroquímicas*, las cuales son desarrolladas para el tratamiento de aguas, entre ellas sobresale la electrocoagulación que es aplicada en varios aspectos: “recuperación de

suelos contaminados, desalación de disoluciones, regeneración de oxidantes, reductores, bases y ácidos por su gran economía y variedad” (Perozo & Abreu, 2017, p.59).

Las **tecnologías de membranas** ha sido una alternativa para los procesos de filtración convencional, debido a que contribuyen al procesamiento de aguas a través de un menor consumo comparado con otros métodos (Montalván, s.f.), además, presenta ventajas como: la separación de las partículas de manera continua, es adaptable a otros procesos de separación, los procesos se llevan a cabo de manera sencilla, reducción de residuos que afectan el medio ambiente; igualmente, esta tecnología contribuye a la separación de sales (desalinización del agua de mar) y de acuerdo al tamaño de las partículas se clasifican en: “microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración, osmosis inversa y electrodiálisis” (Solís, Vélez & Ramírez, 2017, p.27).

Igualmente, las membranas actúan como barrera para evitar el transporte de sustancias que puedan generar algún contaminante, además, se caracterizan por presentar diámetros de poro que sirven para retener las moléculas o partículas de acuerdo a los diferentes procesos a través de una fuerza de presión (Figura 6) (Girón, 2019).

Respecto a la separación por membranas, esta consiste en la división de componentes que son procesados en la fase líquida utilizando una membrana ejerciendo una fuerza o presión, su función principal es el mejoramiento en la calidad del agua y su efectividad hace énfasis en la extracción de sustancias orgánicas y desinfección (Lipa, 2019).

A continuación se describen las operaciones realizadas en cada proceso de las tecnologías de membranas:

Tabla 2. Clasificación de los procesos con membranas

Fuente: Elaboración propia basado en Blaga (2019, p.25)

<p>Microfiltración (MF)</p>	<p>Operación de separación por membranas más antigua, en la que se trabaja a baja presión para separar partículas de alto peso molecular y sólidos en suspensión.</p>
<p>Ultrafiltración (UF)</p>	<p>Proceso selectivo en el que se necesita cierta presión, se utiliza tanto para concentrar como para purificar compuestos de alto y medio peso molecular. No retiene sólidos de bajo peso molecular ni sales.</p>
<p>Nanofiltración (NF)</p>	<p>Proceso entre la UF y la OI, diseñado para la separación de compuestos como azúcares, minerales disueltos y sales polivalentes.</p>
<p>Ósmosis inversa (OI)</p>	<p>Operación de separación de alta presión, que permite concentrar compuestos de bajo peso molecular o purificar efluentes. Permite también la separación de sales monovalentes. El permeado contiene una concentración muy baja de sólidos disueltos (agua muy pura).</p>

Electrodiálisis (ED)

Proceso en el que se separan las especies iónicas del agua, que son inducidas a moverse por un potencial eléctrico. La separación se realiza mediante membranas de intercambio iónico

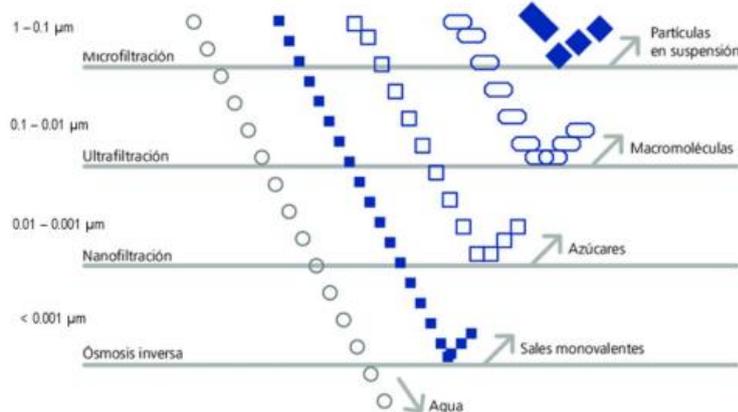


Figura 6. Procesos de separación por membranas en función al tamaño de partícula

Fuente: Girón (2019, p.6)

Un estudio desarrollado por Carreño, Lucas, Hurtado, Barrios y Silva (2018) en Ecuador, titulado “Sistema de tratamiento de aguas superficiales para consumo humano en la microcuenca del Río Carrizal, Ecuador” con el objetivo de realizar un sistema de tratamiento del agua utilizando la **tecnología de FIME (Filtración en múltiples etapas)**, como una opción para la población que no tenga acceso a una planta de tratamiento.

Consiste en realizar los tratamientos mediante dos o tres procesos de filtración de acuerdo al grado de contaminación del agua, empleando la filtración en arena + grava, filtración en zeolitas y desinfección con cloro activo, dando como resultado en primer lugar que los niveles obtenidos en los procesos de filtración funcionan de acuerdo a la normatividad del agua para el consumo, en segundo lugar, la implementación de las zeolitas y el tratamiento del cloro disminuyeron partículas de forma eficiente, además, es un sistema de fácil uso y a un bajo costo.

Mientras tanto, según lo señalado por Loo, Fane, Krantz, y Lim (2012), en las zonas rurales se utilizan las siguientes tecnologías convencionales:

- *Métodos de tratamiento físico. Filtración convencional, Filtración rápida o filtración lenta de arena.*
- *Métodos que emplean productos químicos. Coagulación/floculación, cloración y/o adsorción.*
- *Métodos de tratamiento térmico o ligero (ebullición, pasteurización, desinfección solar, desinfección UV y destilación solar).*

- *Métodos que implican el tratamiento integrado. pequeñas plantas de tratamiento de agua que combinan métodos de tratamiento (Citado por Gómez, 2017, p.25).*

5.4 TECNOLOGÍAS APLICADAS EN LA POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES EN PLANTAS DE COLOMBIA

Existen 2 tipos de plantas de tratamiento de agua potable: **Planta convencional**, el cual lleva a cabo los siguientes procesos: “coagulación (sulfato de aluminio o cloruro férrico), floculación (puede ser con adición de reactivo o sin adición), sedimentación, filtración (multicapa con carbón activado y arena sílice) y desinfección (cloro u ozono para el caso de Europa)” (Mendoza & Montaña, 2016, p.27).

Planta compacta, construidas de planchas metálicas o fibras de vidrio, las estructuras internas son construidas con divisiones para ser desarrolladas por diversos procesos (Loayza, 2019), otra característica de esta planta es que “demandan menos espacio y los tiempos de retención son bajos; los procesos de coagulación, floculación y sedimentación se desarrollan en una misma unidad para luego pasar a los filtros” (Mendoza & Montaña, 2016, p.7)

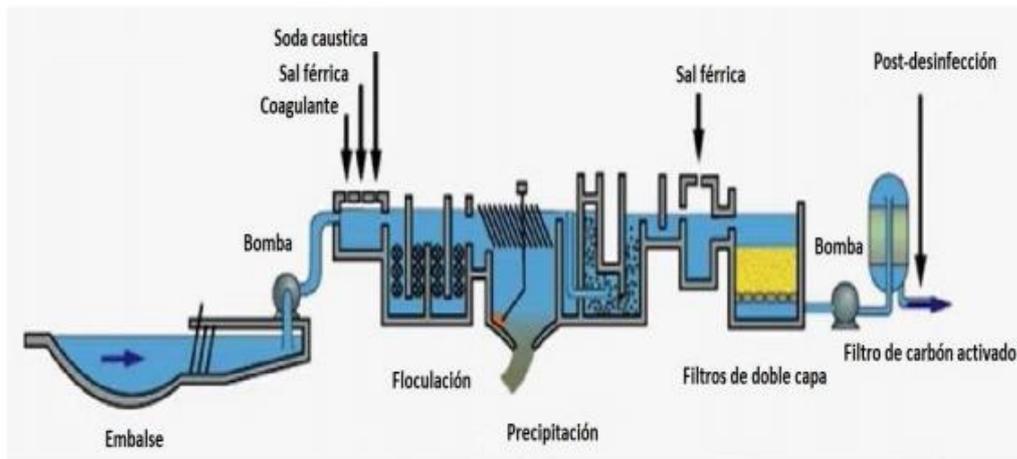


Figura 7. Diseño de una planta de tratamiento convencional de potabilización del agua superficial

Fuente: Loayza (2019, p.27)

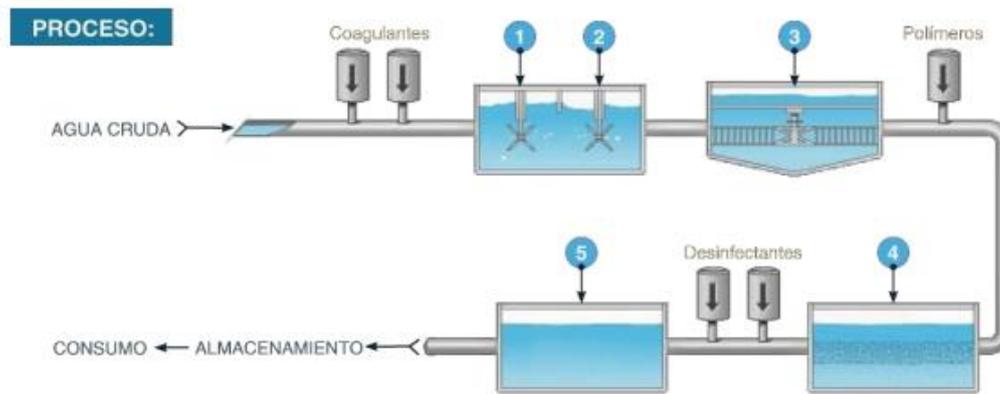


Figura 8. Diseño de una planta compacta de tratamiento de agua potable

Fuente: Loayza (2019, p.28)

En Colombia, la mayoría de las plantas de tratamiento de agua potable utilizan las tecnologías convencionales para realizar los procesos y tratamientos de potabilización, considerando que son sistemas que sirven para abastecer a población ubicada en zonas medianas y grandes, además, por ser un proceso fisicoquímico consta de una serie de etapas que contribuyen a la remoción de partículas contaminantes en las aguas superficiales para transformarlas en agua apta para el consumo, sin embargo, para la implementación se debe realizar primero un estudio de la calidad del agua para escoger que elementos se deben adicionar o eliminar en los procesos de potabilización del agua, asimismo, ayuda a escoger la metodología o tratamiento adecuado (Lugo, 2017).

Para escoger un sistema o tecnología que sea efectiva al momento del diseño de una planta de potabilización es necesario la evaluación de costos y presupuestos, por ello, en Colombia desde el año 1982 se han realizado estudios para analizar los costos de inversión para el diseño de plantas de tratamiento de agua potable, donde se estudian aspectos como el tipo de tecnología, el tiempo, las variables que se tienen en cuenta para medir la calidad del agua “turbiedad, color, pH, conductividad, Coliformes fecales”, entre otros (León, Rey & Rodríguez, 2016, p.110). Es por esta razón, que las plantas de tratamiento de agua potable en Colombia han implementado el uso de las tecnologías convencionales, puesto que se realiza un análisis por medio de una herramienta que genera ecuaciones de costos que sirven como un indicador para la selección de la mejor alternativa al escoger la tecnología más conveniente.

En tal sentido, para el diseño de una planta de tratamiento de agua potable se deben considerar los anteriores aspectos, dado que la calidad del agua se asocia a la salud, por lo tanto, es primordial preservar la salud sanitaria de la población ofreciéndole agua de calidad sin tener riesgos en el desarrollo de enfermedades.

Tabla 3. Plantas de tratamiento de agua potable en los municipios de Albán, Ninaima, Nocaima

Fuente: Elaboración propia basado en Martínez (2015, p.21).

Municipio	Tipo de sistema	Estado actual	Operador
Albán	Convencional	En operación	Oficina de Servicios Públicos de Albán
	Compacta	En operación	
Ninaima	Convencional	En operación	Oficina de Servicios Públicos de Ninaima
	Compacta	Fuera de servicio	Empresa de Servicios Públicos del Gualivá Emsergualiva S.A. E.S.P
Nocaima	Convencional	Fuera de servicio	
	Convencional	Fuera de servicio	
	Compacta	Fuera de servicio	
	Convencional	En operación	

Tabla 4. Plantas de tratamiento de agua en Colombia y sus tecnologías

Fuente: Elaboración propia

Planta	Ciudad y Departamento	Tipo de tecnología	Procesos aplicados	Autor
Planta de tratamiento para la potabilización del agua de Arbeláez	Arbeláez - Cundinamarca	Sistema convencional	Captación - Desarenación - Coagulación - Floculación Sedimentación - Filtración - Desinfección	Mesa, Parra y Roldán (2015)
Planta de tratamiento de agua potable Casa de Teja - Santa Lucia	Ábrego - Norte de Santander	Sistema convencional	Captación - Desarenador - Dosificación Floculación Sedimentación - Filtración Desinfección - Tanques de almacenamiento y Distribución	Palacio (2019)
PTAP Francisco Wiesner	Bogotá D.C.	Filtración directa no convencional	Floculación tradicional y sedimentación	Alvarado y Rocha (2018)
Planta de tratamiento de agua potable (PTAP) El Dorado Bogotá/Colombia	Bogotá D.C.	Sistema convencional	Coagulación - Floculación - Sedimentación - Filtración y Tanque de desinfección	López, Martínez y Quevedo (2018).
Planta de tratamiento de agua potable de Cajibío	Cajibío - Cauca	Sistema convencional	Captación - Aducción - Desarenador - Coagulación Floculación - Sedimentación - Filtración - Desinfección Almacenamiento	Rojas y Torres (2019)
Planta de potabilización de Caparrapí	Caparrapí - Cundinamarca	Sistema convencional	Captación y desarenador - Coagulación - Floculación Sedimentación - Filtración - Desinfección	Riaño y Quintero (2016)
Planta de tratamiento de Castillo	Castillo - Meta	Sistema convencional	Mezcla rápida - Floculación - Sedimentación Filtración	Ligardo (2019)
Planta de tratamiento de agua potable de la vereda la trinidad	Duitama - Boyacá	Sistema convencional	Coagulación - Floculación Sedimentación - Filtración Desinfección - Almacenamiento	Paque (2016)
Planta de tratamiento de agua potable 2 de la tribunal	Facatativá - Cundinamarca	Compacta - Convencional	Captación - Desarenador - Cloración - Mezcla rápida Sedimentación - Filtración - Tanque de almacenamiento - Red de distribución	Mahecha (2019)

Planta	Ciudad y Departamento	Tipo de tecnología	Procesos aplicados	Autor
Planta de tratamiento de agua potable de Flandes	Flandes - Tolima	Sistema convencional	Bocatoma - Canaleta parshall - Coagulación Sedimentación - Filtración - Desinfección	Coy y González (2016)
PTAP del municipio de la Palma	La Palma - Cundinamarca	Sistema convencional	Captación - Desarenador Coagulación - Floculación Sedimentación - Filtración- Desinfección - Distribución	García y Correa (2018)
Planta de tratamiento de agua potable "Jerusalém"	Municipio de río de oro - Cesar	Sistema convencional	Captación - Clarificación - Filtración - Cloración Almacenamiento y distribución	Armenta (2015)
Planta de tratamiento de agua potable "El algodonal"	Ocaña - Norte de Santander	Sistema convencional	Captación - Canal de aducción - Desarenador Estación de bombeo - Cámara de quietamiento Canaleta parshall - Coagulación - Canal de aproximación - Floculación - Sedimentación - Filtración Cloración	Rueda Ferreira (2016)
Planta de tratamiento de agua potable "El llanito"	Ocaña - Norte de Santander	Sistema convencional	Captación - Desarenador - Floculación Sedimentación - Filtración - Cloración	Rueda Ferreira (2016)
Planta de tratamiento de agua potable de los hoteles Colsubsidio	Paipa - Boyacá	Sistema convencional	Coagulación – Floculación Sedimentación, Filtración y Desinfección	Gamboa (2016)
Planta de tratamiento Villasantana	Pereira - Risaralda	Sistema convencional	Captación - Desarenación Coagulación y mezcla rápida - Floculación Sedimentación - Filtración Desinfección - Almacenamiento y Distribución	Hurtado (2016)
Planta de potabilización de Pitalito	Pitalito - Huila	Sistema convencional	Captación - Línea de Aducción - Desarenadores Línea de conducción - Cámara de quietamiento Medición del caudal y mezcla rápida - Floculación Sedimentación - Filtración - Desinfección - Conducción Almacenamiento	Valenciano (2016)
Planta de tratamiento de Purificación	Purificación - Tolima	Sistema convencional	Coagulación - Floculación - Sedimentación - Filtración Desinfección	Ochoa y Vélez (2016)

5.5 PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE LOS PROCESOS DE POTABILIZACIÓN DE AGUAS SUPERFICIALES

El agua puede acumular sustancias contaminantes por medio del aire, suelo u otros factores, es por esta razón, que se debe realizar un tratamiento que permita cumplir con los parámetros establecidos para el consumo humano, además, garantizar la evaluación en la calidad de la misma. Es por esta razón que entidades gubernamentales como la Organización mundial de la salud (OMS), Organización panamericana de la salud (OPS), entre otras, se han preocupado por realizar investigaciones que tienen como objetivo mostrar las consecuencias de la contaminación en los recursos, en especial, los agentes bacterianos del agua. Debido a esto, es importante conocer las características y parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua, ya que estos determinan los índices para el uso adecuado los cuales se encuentran reglamentados en la resolución 2115 de 2007 (Rincón, 2016).

En el diseño de una Planta de tratamiento de agua potable (PTAP), es importante la realización de un profundo conocimiento acerca de la caracterización del agua y los valores de cada parámetro que la componen, puesto que de este proceso depende la selección del tratamiento adecuado que se requiere para el buen funcionamiento. Sin embargo, es importante destacar que el buen funcionamiento de la planta no solo depende del manejo operativo, pues si no se hace un seguimiento a los parámetros puede causar un impacto negativo en el consumo incumpliendo con las características establecidas en la normatividad, por lo que es fundamental la constante verificación de los sistemas de abastecimiento y su respectivo control técnico.

En tal sentido, las características fisicoquímicas del agua son consideradas la parte estética del agua y pueden ser percibidas con los sentidos: turbiedad, color, olor y sabor, temperatura, ph, acidez, alcalinidad, dureza, oxígeno disuelto (tablas 5 y 6) (Rueda Castañeda, 2016), los componentes de dichas características son expuestos en la resolución 2115 de 2007.

Tabla 5. Características físicas del agua

Fuente: Elaboración propia basado en Rueda Castañeda (2016, pp.11-12)

Turbiedad	Fenómeno óptico que puede medirse por la mayor o menor resistencia del agua al paso de la luz. Se debe a partículas que estando en suspensión, como los coloides, le dan al líquido la capacidad de dispersar la luz.
Color	El color se debe a diferentes componentes de la materia mineral y vegetal en descomposición; cuando se encuentran disueltos, reciben el nombre de color verdadero. Cuando se torna un color aparente, se debe a la aparición de arcillas o arenas que causan la turbiedad en el agua.
Olor y sabor	Son producidos por algas, materia orgánica en descomposición, desechos industriales y sales de diferentes orígenes.
Temperatura	La temperatura del agua tiene incidencia en la presentación. Se dice que el agua es fresca cuando está a unos 5°C por debajo de la temperatura del lugar.

Tabla 6. Características químicas del agua

Fuente: Elaboración propia basado en Rueda Castañeda (2016, pp.12-13)

pH	Es el logaritmo negativo de la concentración molar de ion hidrógeno.
Acidez	Es una medida de la cantidad total de sustancias ácidas presentes en ella, expresadas como carbonato de calcio equivalente.
Alcalinidad	La alcalinidad del agua se mide por su capacidad para neutralizar ácidos, además, es importante en el tratamiento del agua porque reacciona con coagulantes para favorecer la floculación.
Dureza	Aguas duras son las que no permiten que se disuelva el jabón, es decir, no dejan hacer espuma. La dureza afecta procesos industriales y en algunos casos puede dar sabor al agua. Cuando las aguas son muy suaves o blandas disuelven rápidamente el jabón.
Oxígeno disuelto	Las aguas limpias están saturadas de oxígeno disuelto; si a estas aguas se les descargan residuos orgánicos se les agota el oxígeno disuelto. El oxígeno en el agua permite la existencia de peces y plantas, y da sabor agradable al agua.

5.5.1 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua

En el capítulo II de la resolución 2115 de 2007, puntualmente, en el *artículo 2* se exponen las características físicas del agua para consumo humano y los valores máximos aceptables de cada elemento (tabla 7). El *artículo 3* indica que la conductividad puede considerarse un valor máximo de 1000 microsiemens/cm, conforme a los valores promedios del mapa de riesgo de la zona el valor podrá ser ajustado, no obstante, se debe tener presente que cuando hay un valor que supere el 50% de la conductividad, este demuestra que puede encontrarse con alguna anomalía en la cantidad de sólidos, por ello debe realizarse una investigación por las autoridades sanitarias competentes o personas a cargo de la distribución del agua para el consumo. (Castro, 2017)

Tabla 7. Características físicas del agua y valores máximos aceptables

Fuente: Elaboración propia basado en Castro (2017, p.21)

Características físicas	Expresadas como	Valor máximo aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y Sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2

En cuanto al *artículo 4*, hace referencia al potencial de hidrogeno (ph del agua), el cual debe tener valores comprendidos entre 6,5 y 9,0. El *artículo 5* señala las características químicas de las sustancias que tienen un efecto adverso en la salud de las personas y los valores máximos aceptables (tabla 8). El *artículo 6* corresponde a las características químicas de las sustancias

que tienen implicaciones sobre la salud de las personas (tabla 9). El *artículo 7* indica las características químicas que tienen consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana (tabla 10). El *artículo 11* indica las características microbiológicas del agua para consumo humano (tabla 11) (Castro, 2017).

Tabla 8. Características químicas que tienen reconocido efecto adverso en la salud humana

Fuente: Elaboración propia basado en Castro (2017, pp.21-22)

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Antimonio	Sb	0,02
Arsénico	As	0,01
Bario	Ba	0,7
Cadmio	Cd	0,003
Cianuro libre y disociable	CN	0,05
Cobre	Cu	1,0
Cromo total	Cr	0,05
Mercurio	Hg	0,001
Níquel	Ni	0,02
Plomo	Pb	0,01
Selenio	Se	0,01
Trihalometanos Totales	THMs	0,2
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAP)	HAP	0,01

Tabla 9. Características químicas que tienen implicaciones en la salud

Fuente: Elaboración propia basado en Castro (2017, p.23)

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Carbono Orgánico Total	COT	5,0
Nitritos	NO ₂	0,1
Nitratos	NO ₃	10
Fluoruros	F ⁻	1,0

Tabla 10. Características Químicas que tienen mayores consecuencias económicas e indirectas sobre la salud humana

Fuente: Elaboración propia basado en Castro (2017, pp.23-24)

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Calcio	Ca	60 de alcalinidad total
Alcalinidad Total	CaCO ₃	200
Cloruros	Cl	250
Aluminio	Al ³⁺	0,2 dureza total
Dureza Total	CaCO ₃	300

Elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos diferentes a los plaguicidas y otras sustancias	Expresados como	Valor máximo aceptable (mg/L)
Hierro Total	Fe	0,3
Magnesio	Mg	36
Manganeso	Mn	0,1
Molibdeno	Mo	0,07
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	2
Zinc	Zn	3
Fosfatos	PO ₄ ³⁻	0,5

Tabla 11. Características microbiológicas del agua

Fuente: Elaboración propia basado en Castro (2017, p.24)

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

6. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

6.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS TECNOLOGÍAS PARA EL PROCESO DE POTABILIZACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS SUPERFICIALES IMPLEMENTADAS EN SURAMÉRICA Y LAS UTILIZADAS EN COLOMBIA

Como se puede observar en la tabla 12, países como Argentina, Ecuador, Perú y El Salvador han optado por implementar diversos métodos, estrategias y tecnologías para el tratamiento y potabilización de aguas, tales como, “Clarificante natural, Filtros domiciliarios, Biofiltro de arena, Filtro a base de arcilla y plata coloidal, Filtros de biocarbón/arcilla, Óxido de hierro en lecho fijo, Tecnología de membranas y Tecnologías artesanales”, alternativas enfocadas para la mitigación en los problemas que tiene la población para el consumo de agua potable.

Resaltando datos significativos, se encuentran los porcentajes de remoción, generando como resultado en la mayoría una extracción del 99% en los métodos utilizados para la eliminación de diversos aspectos, entre ellos, la turbidez, el arsénico, el plomo y contaminantes microbiológicos. Estos elementos mencionados, afectan la calidad del agua, puesto que generan apariencias negativas impiendo que el agua sea apta para el consumo humano.

Además, un aspecto a resaltar son las ventajas que presentan estas tecnologías, entre las principales se destacan: la disminución de costos por ser tecnologías que requieren poca inversión, fácil manejo, remoción de turbiedad y color del agua, favorecimiento en zonas rurales.

Por otro parte, en Colombia, los estudios expuestos relacionan tecnologías como las Sustancias naturales, Filtración en Cerámica con Plata Coloidal (FCPC) y Filtros Lifestraw® y Olla Cerámica, estos últimos métodos, se evidencia que tienen similitud con los técnicas usadas por Argentina (Clarificante natural) y Perú (Filtro a base de arcilla y plata coloidal), demostrando que el tratamiento por medio de la Filtración en Cerámica con Plata Coloidal (FCPC) da un porcentaje del 100% en la remoción de los microorganismos, mejorando el ph comparado con el agua cruda que se obtuvo inicialmente para el estudio.

Uno de los estudios realizados en Perú fue la aplicación de Óxido de hierro en lecho fijo para la reducción de arsénico en aguas superficiales, la investigación se realizó en vista de que el rio registraba concentraciones de arsénico y los métodos convencionales no eran suficientes. Los resultados arrojaron una remoción del 98,4%, por consiguiente, es importante considerar en estudios posteriores si en Colombia se presenta arsénico en las aguas superficiales para la posible implementación de dicha tecnología.

Tabla 12. Matriz comparativa de tecnologías implementadas a nivel global y la eficiencia en cuanto porcentaje de remoción.

Fuente: Elaboración Propia

Título	Autor	País	Método/Tecnología	Porcentaje de Remoción
Diferentes maneras de uso de un clarificante natural en procesos de potabilización de aguas turbias	Almazán, Domínguez, Gutiérrez, Romero y Rajal (2018)	Argentina	Clarificante natural	Remoción Turbidez >96%
Evaluación de la remoción de arsénico en agua superficial utilizando filtros domiciliarios	Villa, Huamaní, Chávez y Huamaní (2018)	Argentina	Filtros domiciliarios	Remoción de Arsénico en un 99,8%
Evaluación del funcionamiento de un biofiltro de arena. para tratamiento de agua potable, a nivel domiciliario en el sitio pitahuiña, parroquia casacay, cantón pasaje, provincia de el oro.	Ullauri (2015)	Ecuador	Biofiltro de arena	Remoción de un 99%
Potabilización de aguas crudas mediante tecnología de membranas para 500 habitantes. Caso de estudio Cangonamá - Ecuador	Gonzaga (2016)	Ecuador	Tecnología de membranas	Remoción: 99%
Eficiencia del filtro a base de arcilla y plata coloidal en la potabilización de agua, medidas por pruebas fisicoquímicas y microbiológicas en el río casca del distrito de independencia-huaraz-ancash	Cochachin (2018)	Perú	Filtro a base de arcilla y plata coloidal	Remoción de coliformes fecales y totales varían entre 99,09% al 100% de remoción, obteniendo en mayor remoción el filtro de arcilla mezclados con aserrín y plata coloidal de 30 ppm, y el filtro de arcilla sin plata coloidal removieron el 96,43%.
Aplicación tecnológica del óxido de hierro en lecho fijo para la reducción de arsénico de aguas superficiales provenientes del río tambo a nivel laboratorio	Castro y Mollocondo (2015)	Perú	Óxido de hierro en lecho fijo	Remoción de arsénico: 98.4 %

Título	Autor	País	Método/Tecnología	Porcentaje de Remoción
Evaluación del funcionamiento de filtros de biocarbón/arcilla en la potabilización del agua, mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos	Rodríguez y Escobar (2018)	El Salvador	Filtros de biocarbón/arcilla en la potabilización de agua	Resultados microbiológicos: Remoción de Coliformes : 54.90 % Remoción de Escherichia: 95.49 Remoción de Pseudomona aeruginosa: 85.58%
Evaluación de dos tecnologías artesanales para la remoción de plomo y arsénico en agua para consumo humano	Carranza (2015)	El Salvador	Tecnologías artesanales: Para la remoción de plomo y arsénico en agua para consumo humano: la unidad de tratamiento con dos cubetas y el método de remoción asistido por luz solar (RAOS)	Remoción de plomo: Método RAOS: 99.98% Unidad de tratamiento con dos cubetas: 99.92% Remoción de arsénico: Método RAOS: 81.5% Unidad de tratamiento con dos cubetas: 83.5%

Tabla 13. Matriz comparativa de tecnologías implementadas en Colombia y la eficiencia en cuanto porcentaje de remoción.

Fuente: Elaboración Propia

Título	Autor	Método/Tecnología	Porcentaje de Remoción
Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia	Aguirre, Piraneque y Cruz (2018)	Sustancias naturales: Moringa, Cactus, Neem y Maíz	Remoción: 96,8%
Tratamiento de Agua Potable por Medio de Filtración en Cerámica con Plata Coloidal (FCPC) en el Acueducto rural Ojo de Agua, municipio de Socha	Gómez Ruíz (2018)	Filtración en Cerámica con Plata Coloidal (FCPC)	Remoción: 100%
Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y Olla Cerámica	Pérez, Díaz, Salamanca y Rojas(2016)	Filtros Lifestraw® y Olla Cerámica	FM: 99,2% FOC: 97,6%

Tabla 14. Ventajas y desventajas de las tecnologías implementadas

Fuente: Elaboración Propia

	Método/Tecnología	Ventaja	Desventaja
TECNOLOGÍAS IMPLEMENTADAS	Clarificante natural	Disminución de costos en los procesos de potabilización	Agrega materia orgánica extra a la matriz acuosa
		Favorece a las poblaciones rurales	
		Prevención de riesgos para la salud	
		No requiere de un control PH	
	Filtros domiciliarios	Remueve el arsénico de manera eficaz	La eficiencia de remoción dura más tiempo de acuerdo al volumen de filtración por día
		Fácil funcionamiento	
		Favorece a las poblaciones rurales	
	Biofiltro de arena	Bajo costo	Se requieren de otros procesos químicos para mejorar la calidad del biofiltro
		Para mantener el biofiltro funcionando, no se debe agregar químico.	Requieren de limpieza periódica
	Filtro a base de arcilla y plata coloidal	Económico - bajo costo	Requiere mantenimiento periódico
Remueve turbiedad			
La plata coloidal ayuda a mantener en buen estado los filtros, pues inhibe cualquier tipo de crecimiento microbiológico			

TECNOLOGÍAS IMPLEMENTADAS	Método/Tecnología	Ventaja	Desventaja
	Filtros de biocarbón/arcilla	Bajo costo	No remueven el 100% del arsénico
		No requieren de manejo con personal calificado	
		Disminuye concentraciones de bacterias en el agua	Requieren de limpieza periódica
		Disminuyen concentraciones de contaminantes microbianos	
	Óxido de hierro en lecho fijo	Baja la concentración de arsénico presente en el agua	El uso solo es para pequeñas instalaciones o familias
	Tecnología de membranas	Facilidad de manejo	Alto costo
		Fiabilidad y eficacia	
Robustez de funcionamiento y seguridad de calidad de agua producida			
Tecnologías artesanales	La capacidad de ambos métodos para remover plomo es mayor que para remover arsénico	Los métodos evaluados solo contribuyen al mejoramiento de la calidad del agua desde el punto de vista químico y no microbiológico	

Tabla 15. Ventajas y desventajas de las tecnologías implementadas en Colombia

Fuente: Elaboración Propia

	Método/Tecnología	Ventaja	Desventaja
TECNOLOGÍAS IMPLEMENTADAS EN COLOMBIA		No requiere energía eléctrica para su operación	Puede presentarse colmatación del lecho filtrante debido a: altas concentraciones de SS, florecimiento de algas en los FLA, concentraciones mayores a 1mg/L de hierro y/o manganeso.
	Sistema de filtración en múltiples etapas (fime)	No requiere de personal muy calificado para su operación y mantenimiento	Pueden presentarse condiciones que inhiban o reduzcan la eficiencia del sistema como: bajas temperaturas, limitada disponibilidad de nutrientes para microorganismos activos en los lechos filtrantes y bajos niveles de oxígeno disuelto en el agua, que conllevan a generar condiciones anaeróbicas en el sistema, lo que incita a presentar irregularidades en la calidad del agua.
		No demanda insumos químicos para su operación	
	Sustancias naturales: Moringa, Cactus, Neem y Maíz	Efectivas para la remoción de la turbidez y el color del agua	Pocas investigaciones acerca del uso del método
		Económicamente viable y ambientalmente sostenible	
	Filtros Lifestraw® y Olla Cerámica	FM: Eficiente en remoción de turbiedad y tasa de filtración	FM: No es apropiado en zonas rurales
Los dos sistemas de filtración son adecuados para el tratamiento del agua a nivel casero			

CONCLUSIONES

La potabilización del agua consiste en la eliminación de sustancias y partículas que pueden representar un riesgo para la salud de las personas, está conformado por una serie de etapas y procesos que permiten transformar el agua cruda en agua potable y ser apta para el consumo humano.

Los procesos y tratamientos de potabilización son considerados la parte fundamental para la calidad del agua, porque se llevan a cabo de manera secuencial y sistemática, en cada etapa se realizan diferentes actividades eliminando sólidos y sustancias orgánicas con ayudas de elementos que favorecen la remoción de las partículas buscando obtener la calidad del agua potable garantizando el bienestar al consumidor.

Las tecnologías en los procesos de potabilización son fundamentales para lograr de manera eficaz la eliminación de los contaminantes debido a que se puede determinar un mayor control en los procesos y ayuda a disminuir el impacto de sustancias que afectan la calidad del agua.

Las tecnologías para el proceso de potabilización y tratamiento de aguas superficiales en Suramérica mostraron en su mayoría una efectividad de remoción de turbidez del 99% frente a los distintos métodos y técnicas aplicadas, a su vez, demostraron gran cantidad de ventajas orientadas especialmente a las zonas rurales por considerarse de bajo costo.

Se destacaron diversas tecnologías a base de componentes naturales, entre ellas, el Clarificante natural que presenta como ventaja la disminución de costos en los procesos de potabilización, además, por estar hecha de materiales naturales favorece el medio ambiente y la salud de la población.

El Biofiltro de arena y el Filtro a base de arcilla y plata coloidal se destacan por ser de bajo costo, asimismo, el filtro de arcilla ayuda a prevenir el crecimiento de materiales y partículas microbiológicas.

Para la remoción de arsénico, se identificaron los Filtros domiciliarios que tienen como ventaja el fácil funcionamiento y por su tamaño se pueden implementar en las zonas rurales, por otro lado, la tecnología Óxido de hierro en lecho fijo contribuye a bajar la concentración de arsénico en las aguas superficiales.

Unas de las características principales del Sistema de filtración en múltiples etapas (fime) es que no requiere energía eléctrica para su operación, esto contribuye a la reducción de costos en las zonas donde se pueda implementar.

RECOMENDACIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Se recomienda en futuras investigaciones el análisis de tecnologías de uso natural en Colombia para conocer más afondo su aplicabilidad y efectividad en la remoción de contaminantes y turbidez del agua, puesto que son aplicables en los países suramericanos y han arrojado porcentajes de remoción con mayor efectividad.

Se requiere una investigación más profunda acerca de los tratamientos de aguas por medio de Sustancias naturales: Moringa, Cactus, Neem y Maíz, debido a que se obtuvo como desventaja que faltan más estudios e investigaciones acerca de los usos y aplicaciones de esta tecnología en los procesos de tratamiento y potabilización del agua potable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., & Cruz, R. K. (2018). Sustancias Naturales: Alternativa para el Tratamiento de Agua del Río Magdalena en Palermo, Colombia. *Información tecnológica*, 29(3), 59-70. Recuperado de <https://bit.ly/36ySjJ8>
- Almazán, J. E., Domínguez Castro, R. M., Gutiérrez Cacciabue, D., Romero Dondiz, E. M., & Rajal, V. B. (2018). Diferentes maneras de uso de un clarificante natural en procesos de potabilización de aguas turbias. *Revista de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 5, 33. Recuperado de <https://bit.ly/2ZczR7t>
- Alvarado Bohórquez, J. S., & Rocha Sanabria, M. A. (2018). Análisis multitemporal mediante modelos ARIMA de la calidad del agua en la potabilizadora “Francisco Wiesner” y el embalse “San Rafael” (Bogotá DC, Colombia). Recuperado de <https://bit.ly/2W2omvW>
- Arévalo Aranda, C. P. (2016). Influencia de la densidad de corriente y tiempo de residencia en la reducción de arsénico de efluentes artificiales mediante el proceso electrocoagulación. Recuperado de <https://bit.ly/3aSmE5Y>
- Armenta Castillo, D. E. (2015). Diseño de un manual de operación de equipos para la planta de tratamiento de agua potable Jerusalém en el municipio de río de oro—cesar, Colombia (doctoral dissertation). Recuperado de <https://bit.ly/2zqRXaK>
- Barajas Garzón, C. L., & León Luque, A. J. (2016). Determinación de la dosis óptima de sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) en el proceso de coagulación-floculación para el tratamiento de agua potable por medio del uso de una red neuronal artificial. Recuperado de <https://bit.ly/2Z5qoyv>

- Benhammou Maazouzi, S. (2016). Parámetros de calidad de las aguas de consumo humano en los reinos de España y Marruecos. Recuperado de <https://bit.ly/3cgseAd>
- Blaga, A. C. (2019). Diseño de una planta de tratamiento de aguas superficiales para su posterior alimentación a caldera. Recuperado de <https://bit.ly/2z0FMBe>
- Buenaño Bautista, B. B. (2017). Estudio de las características coagulantes/floculantes de polímeros orgánicos naturales, extraídos de materiales de desecho alimenticio, para la potabilización del agua (Bachelor's thesis, Quito, 2017.). Recuperado de <https://bit.ly/3f1UkBa>
- Carrasco Mantilla, W. (2016). Estado del arte del agua y saneamiento rural en Colombia. *Revista de Ingeniería*, (44), 46-54. Recuperado de <https://bit.ly/2LYkpno>
- Carranza Estrada, F. A. (2015). Evaluación de dos tecnologías artesanales para la remoción de plomo y arsénico en agua para consumo humano (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador). Recuperado de <https://bit.ly/2zBtNuC>
- Carreño-Mendoza, Á., Lucas-Vidal, L., Hurtado, E. A., Barrios-Maestre, R., & Silva-Acuña, R. (2018). Sistema de tratamiento de aguas superficiales para consumo humano en la Microcuenca del río Carrizal, Ecuador. //Surface water treatment system for human consumption in the Microbasin of the Carrizal River, Ecuador. *Ciencia Unemi*, 11(28), 76-87. Recuperado de <https://bit.ly/2KPdlt0>
- Carrillo, M. K. (2017). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de agua superficial para potabilización, proveniente del Río Mopán, Petèn, Guatemala (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala). Recuperado de <https://bit.ly/2VuaZ7M>
- Carpio Arteaga, C. R., Martínez Osorto, A. V., & Ruiz Barrientos, R. O. (2016). Diseño de un proceso químico para la recuperación de aluminio contenido en los lodos

- provenientes de la Planta Potabilizadora de Agua Las Pavas (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador). Recuperado de <https://bit.ly/3cYua0r>
- Castro Barrantes, U., & Mollocondo Huanca, M. N. (2015). Aplicación tecnológica del óxido de hierro en lecho fijo para la reducción de arsénico de aguas superficiales provenientes del Rio Tambo a nivel laboratorio. Recuperado de <https://bit.ly/2zYk0yw>
- Castro Benavides, C. P. (2017). Conciencia Evolutiva Sobre La Importancia Del Agua (Doctoral dissertation, Universidad Industrial de Santander, Escuela De Quimica). Recuperado de <https://bit.ly/364y1qG>
- Cochachin Morales, J. M. (2018). Eficiencia del filtro a base de arcilla y plata coloidal en la potabilización de agua, medidas por pruebas fisicoquímicas y microbiológicas en el rio casca del distrito de Independencia-Huaraz-Ancash. Recuperado de <https://bit.ly/3bOtY37>
- Correa Assmus, G. (2015). Laudato Si y la cuestión del agua en Colombia. Revista de la Universidad de La Salle, 2015(68), 215-231. Recuperado de <https://bit.ly/2K2F7Sc>
- Coy Vargas, J. P., & González Trujillo, D. (2016). Formulación de alternativas técnicas y operativas para el mejoramiento de la planta de potabilización del acueducto de Flandes, Tolima. Recuperado de <https://bit.ly/2YUQS65>
- Enciso Barragán, W.E., & Jiménez Gordillo, C. E. (2019). Análisis De La Calidad Del Agua Del Acueducto Rural Vereda El Limón, Municipio San Juan De Rioseco-Cundinamarca. Recuperado de <https://bit.ly/3a7GREv>
- Gamboa Murillo, L. V. (2016). Diagnóstico y Alternativas de Mejoramiento para la Planta de Tratamiento de Agua Potable de los Hoteles Colsubsidio Paipa-Boyacá 2016 (Doctoral dissertation). Recuperado de <https://bit.ly/3bnBelX>

- García Bautista, B. H., & Correa Bellido, L. (2018). Diagnóstico y propuesta de mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable del municipio de La Palma-departamento Cundinamarca-Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/2TeyDVp>
- Girón Nava, T. M. (2019). Obtención de membranas mediante electrospinning para tratamiento de agua con alto contenido de sólidos (Master's thesis). Recuperado de <https://bit.ly/300aFSa>
- Gómez Duarte, O. G. (2018). Contaminación del agua en países de bajos y medianos recursos, un problema de salud pública. *Revista de la Facultad de Medicina*, 66(1), 7-8. Recuperado de <https://bit.ly/2Vpln0q>
- Gómez Giraldo, L., & Moreno Moreno, M. (2017). Diseño a escala de un sistema de filtración en múltiples etapas (FIME) estrategia para la potabilización del agua de la comunidad rural de Guamal en Supía, Caldas. Recuperado de <https://bit.ly/3bxLqbF>
- Gómez Mosquera, W. (2017). Abastecimiento de agua potable en comunidades rurales en el Chocó biogeográfico. Aplicación de tecnologías no convencionales. Escuela de Geociencias y Medio Ambiente. Recuperado de <https://bit.ly/2Wiaf5Q>
- Gómez Ruíz, A. S. (2018). Tratamiento de agua potable por medio de filtración en cerámica con plata coloidal (FCPC) en el acueducto rural Ojo de Agua, municipio de Socha. Recuperado de <https://bit.ly/2zrqtT5>
- Gonzaga Vallejo, S. L. (2016). Potabilización de aguas crudas mediante tecnología de membranas para 500 habitantes. caso de estudio Cangonamá Ecuador. Recuperado de <https://bit.ly/2TEmqtX>

- González Sarmiento, E., Roa Pérez, J., & Ortiz-Ospino, L. (2019). Análisis de las tecnologías en sistemas de abastecimiento de agua potable. *Investigación y desarrollo en TIC*, 10(2), 32-44. Recuperado de <https://bit.ly/2KcoVOc>
- Guevara Pérez, E. (2017). *Ética y educación ambiental*. Recuperado de <https://bit.ly/3efbdbc>
- Guzmán, B. L., Nava, G., & Díaz, P. (2015). La calidad del agua para consumo humano y su asociación con la morbilidad en Colombia, 2008-2012. *Biomédica*, 35(2), 177-190. Recuperado de <https://bit.ly/2WtEqIM>
- Hurtado Giraldo, G. M. (2016). Evaluación de los procesos de operación de la planta de tratamiento para potabilización de agua Villasantana ubicada en la ciudad de Pereira, Risaralda. Departamento de Ingeniería Química. Recuperado de <https://bit.ly/2WMV990>
- IDEAM. (2018). Reporte de avance del Estudio Nacional del Agua 2018. Bogotá, D.C. Recuperado de <https://bit.ly/3bLRAPy>
- IDEAM. (2019). Estudio Nacional del Agua: 2018. Bogotá, D.C. Recuperado de <https://bit.ly/3cX3c9l>
- Jurado Eraso, M. A., Meza Delgado, Y., & López Toro, K. M. (2018). Coagulante de origen natural para la potabilización del agua. *Boletín Informativo CEI*, 5(3), 70-71. Recuperado de <https://bit.ly/2WaWDcy>
- León Peña, K. L., Rey Ardila, G. L., & Rodríguez Miranda, J. P. (2016). Ecuaciones econométricas para los costos de inversión en plantas de tratamiento de agua potable en Colombia. *I+ D Revista de investigaciones*, 7(1), 109-115. Recuperado de <https://bit.ly/3cdf0DM>

- Ligardo Moreno, A. E. (2019). Diagnóstico Planta de tratamiento de agua potable, desde su punto de captación, hasta la red de distribución en el Municipio del castillo, Departamento del Meta. Recuperado de <https://bit.ly/2SRyqr4>
- Lipa Paye, Y. L. (2019). Influencia de la Caracterización del Agua en la Determinación de los Procesos de Tratamiento para consumo Humano en el Centro Poblado de San Isidro, año 2017. Recuperado de <https://bit.ly/2SgHxkP>
- Loayza Aguilar, N. L. (2019). Diseño, construcción y evaluación de un prototipo de tratamiento de agua para su potabilización a nivel planta piloto. Recuperado de <https://bit.ly/3fgtfuq>
- López Niño, Y.A., Martínez Mesa, P.A., Quevedo Acuña, K.D. (2018). Análisis comparativo de tecnologías de potabilización del agua de las plantas jebel ali (dubái) y el dorado (Bogotá) para determinar la aplicabilidad técnica del osmosis inversa en la guajira (doctoral dissertation, universidad piloto de Colombia). Recuperado de <https://bit.ly/2X9iBOR>
- Lozano Romero, C. A. (2017). Apoyo a la elaboración del estudio para la reglamentación de los usos y aprovechamientos de la quebrada yaguilga parte baja y sus principales afluentes, que discurren en límite del municipio del agrado hasta desembocar en la represa el quimbo en el departamento del Huila. Recuperado de <https://bit.ly/2Wtfp05>
- Lugo Arias, J. L. (2017). Evaluación de alternativas de potabilización a bajo costo en comunidades palafíticas en el Caribe norte colombiano (Master's thesis, Universidad del Norte). Recuperado de <https://bit.ly/2X7XrAH>
- Madera-Parra, C. A., Jiménez-Bambague, E. M., Toro-Vélez, A. F., Lara-Borrero, J. A., Bedoya-Ríos, D. F., & Duque-Pardo, V. (2018). Estudio exploratorio de la presencia de microcontaminantes en el ciclo urbano del agua en Colombia: Caso

de estudio Santiago de Cali. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(3), 475-487. Recuperado de <https://bit.ly/2WtIEQG>

Mahecha García, P. A. (2019). Elaboración de una propuesta para la recuperación de agua de lavado de filtros en el sistema de potabilización veredal Tribuna-Planta 2 del Municipio de Facatativá, Cundinamarca. Recuperado de <https://bit.ly/3duiXox>

Martínez Pérez, A. S. (2015). Análisis de la situación actual de la infraestructura existente para potabilización del agua (PTAP) en los municipios de Albán, Nimaima y Nocaima de la provincia del Gualiva del departamento de Cundinamarca teniendo en cuenta el aseguramiento de la prestación del servicio (Bachelor's thesis). Recuperado de <https://bit.ly/3bVCez8>

Martínez Zambrano, D. A. (2016). Aguas: entre la privatización y las alternativas. Recuperado de <https://url2.cl/7LJ3v>

Mayorga, O., & Mayorga, J. (2016). Proposal for the treatment of drinking water in small communities. Case: Santa Rosa-La Hechicera sector (Merida, Venezuela). *Revista Ingenieria UC*, 23(3), 376-380. Recuperado de <https://bit.ly/3bNDgwT>

Medina Carmona, Y. M. (2017). Evaluación a escala laboratorio de la viabilidad de recirculación de los lodos generados en el proceso de potabilización de agua en San Sebastián de Mariquita-Tolima. *Ingeniería Química*. Recuperado de <https://bit.ly/3aNUc52>

Medina Vallejo, A. F., & Realpe Portilla, E. F. (2018). Diseño e implementación de la etapa de filtrado para un prototipo de planta de tratamiento de agua potable-ptap, en el laboratorio de automatización en la corporación universitaria autónoma de Nariño (doctoral dissertation, aunar). Recuperado de <https://bit.ly/3b5Y6HD>

- Mendoza Benítez, H., & Montaña Pichimata, M.I. (2016). Evaluación del Sistema de Acueducto en la Cabecera Municipal de Zipacón Cundinamarca. Recuperado de <https://bit.ly/2SkhyJ1>
- Mesa, S. L., Orjuela, J. M., Ortega, A. T., & Sandoval, J. A. (2018). Revisión del panorama actual del manejo de agua de producción en la industria petrolera colombiana. *Gestión y Ambiente*, 21(1), 87-98. Recuperado de <https://bit.ly/3evxIsT>
- Mesa García, C. A., Parra Daza, A. S., & Roldán Beltrán, C. A. (2015). Estudio para la optimización de los diseños existentes en la planta de tratamiento para la potabilización del agua ubicada en el municipio de Arbeláez, Cundinamarca. Recuperado de <https://bit.ly/35NiIXT>
- Ministerio de desarrollo económico. (2000). Resolución 1096 del 2000. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Publicado en el Diario Oficial No. 44.242, del 29 de noviembre de 2000. Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/2ZpRssy>
- Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. (2007). Resolución 2115 de 2007. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Publicado en el Diario Oficial No. No. 46.679 de 4 de julio de 2007. Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/2zX3rTE>
- Ministerio de salud y protección social. (2018). Informe nacional de calidad del agua para consumo humano - Inca: 2016. Recuperado de <https://bit.ly/2KNg0mE>
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 0330 de 2017. Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y

Saneamiento Básico (RAS) y se derogan las Resoluciones números 1096 de 17 de noviembre de 2000, 0424 de 18 de mayo de 2001, 0668 de 19 de junio de 2003, 1459 de 5 de octubre de 2005, 1447 de 5 de octubre de 2005 y 2320 de 27 de noviembre de 2009. Publicado en el Diario Oficial No. 50.267 de 17 de junio de 2017. Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/2WO9mnf>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2018). Plan Director Agua y Saneamiento Básico: Visión Estratégica 2018 - 2030. Recuperado de <https://bit.ly/3cji0Pj>

Montalván Estrada, A., Apel, P., Dmitriev, S., Urguellés Rosado, A., Flores, O. B., Sananastacio Rebollar, I., & Aguilar Fuster, J. (s.f.). Las tecnologías de membranas en la gestión del recurso hídrico. Recuperado de <https://bit.ly/3cXJ1Z2>

Moura Do Carmo, V., & Maia Melo, Á. J. (2019). El reconocimiento de los derechos humanos al agua y al saneamiento básico por las naciones unidas. *Summa Iuris*, 7(1), 14-19. Recuperado de <https://bit.ly/2RCNqbP>

Moya Llamas, M. J. (2018). Tecnologías electroquímicas aplicadas en el tratamiento de aguas: Electrocoagulación. Recuperado de <https://bit.ly/2VD0P4S>

Ochoa Olaya, A. J., & Vélez Ramírez, M. Y. (2016). Impacto del fenómeno de " El niño" 2015-2016 en la calidad de Agua del Rio Magdalena como fuente de abastecimiento del Municipio de Purificación (Tolima-Colombia) (Doctoral dissertation). Recuperado de <https://bit.ly/2Lfpw2m>

Palacio Gómez, D. (2019). Formulación de alternativas para el mejoramiento de las plantas de tratamiento de agua potable a través de la evaluación a los procesos de potabilización en el municipio de Ábrego, Norte de Santander (doctoral dissertation). Recuperado de <https://bit.ly/3gu8JHd>

- Palomero González, J.A., & Hernández Sancho, F. (s.f.). Análisis de la eficiencia en los procesos de potabilización de agua desde una perspectiva dinámica. Recuperado de <https://bit.ly/2VM2Dtf>
- Paque Ramírez, N. (2016). Análisis de diseño y operación del sistema de potabilización de la planta de tratamiento de agua potable de la vereda La Trinidad del municipio de Duitama de acuerdo con el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. Recuperado de <https://bit.ly/3f9lc2a>
- Pérez-Vidal, A., Díaz-Gómez, J., Salamanca-Rojas, K. L., & Rojas-Torres, L. Y. (2016). Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y Olla Cerámica. *Revista de salud pública*, 18(2), 275-289. Recuperado de <https://bit.ly/3fUJrl4>
- Perozo Cuicas, J. R., & Abreu Cuadra, R. L. (2017). Evaluación de la electrocoagulación en el tratamiento de agua potable. *Química Viva*, 16(1), 56-69. Recuperado de <https://bit.ly/2KOGNiw>
- Pochat, V., & Donoso, M. (2018). Proceso Regional de las Américas: Foro Mundial del Agua 2018: Informe subregional América del Sur: Resumen ejecutivo. Recuperado de <https://bit.ly/2yfDqya>
- Presidencia de la República. (1998). Decreto 475 de 1998. Por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable. Publicado en el Diario oficial No. 43.259, del 16 de marzo de 1998. Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/2LJLXz>
- Presidencia de la República. (2000). Decreto 421 de 2000. Por el cual se reglamenta el numeral 4 del artículo 15 de la Ley 142 de 1994, en relación con las organizaciones autorizadas para prestar los servicios públicos de agua potable y saneamiento básico en municipios menores, zonas rurales y áreas urbanas

- específicas. Publicado en el Diario Oficial No 43.932, del 13 de marzo de 2000. Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/2ZjWTcB>
- Presidencia de la República. (2007). Decreto 1575 de 2007. Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Publicado en el Diario Oficial No 46.623, del 9 de mayo de 2007. Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/2WLKe0e>
- Pulido Muñoz, H. S., & Carrillo Bernal, M.F. (2016). Diseño hidráulico de una planta de potabilización de agua en la Vereda de San Antonio de Anapoima. Recuperado de <https://bit.ly/2W6ZG5C>
- Ramírez Arcila, H. & Jaramillo Peralta, J. (2015). Agentes naturales como alternativa para el tratamiento del agua. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 11(2), 136-153. Recuperado de <https://bit.ly/36zkoQw>
- Ramírez Cuenca, M., Ramírez Cuenca, P., Cuesta Mata, N., & Rodríguez González, P. (2018). Contaminación de agua potable y enfermedades: causas, consecuencias y soluciones. In *Avances de Investigación en Salud a lo largo del Ciclo Vital: Volumen II* (pp. 41-46). ASUNIVEP. Recuperado de <https://bit.ly/2V3aceX>
- Riaño Mahecha, L. C., & Quintero Vera, A. (2016). Diagnóstico técnico de la planta de potabilización de agua del municipio de Caparrapí Cundinamarca al año 2016. Recuperado de <https://bit.ly/2STR3uy>
- Rincón Silva, N. G. (2016). Evaluación de parámetros físico-químicos del agua en el proceso de potabilización del río Subachoque. *Tecnogestión: Una mirada al ambiente*, 13(1). Recuperado de <https://bit.ly/3bHoaYN>
- Rojas Lengua, J. S., & Torres Samper, G. (2019). Desarrollo de una propuesta de mejora para un sistema de potabilización de agua para el acueducto la venta el Cofre,

Cajibío, Cauca (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).

Recuperado de <https://bit.ly/2SOczAA>

Rodríguez Meza, V. S., & Escobar Ponce, J. F. (2018). Evaluación del funcionamiento de filtros de biocarbón/arcilla en la potabilización del agua, mediante análisis fisicoquímicos y microbiológicos (Doctoral dissertation, Universidad de El Salvador). Recuperado de <https://bit.ly/2XcutOT>

Rueda Castañeda, M. (2016). Evaluación de la planta Calacala de purificación de agua del municipio de Beltrán. Recuperado de <https://bit.ly/3dSK2lw>

Rueda Ferreira, I. L. (2016). Formulación del plan de contingencia para la continuidad en el suministro de agua potable a los usuarios de la empresa de servicios públicos de Ocaña (Espo S.A) (doctoral dissertation). Recuperado de <https://bit.ly/3fy8xGo>

Salamanca, E. (2016). Tratamiento de aguas para el consumo humano. Modulo Arquitectura CUC, 17, 29-48. Recuperado de <https://bit.ly/2VNVRmT>

Severiche, Sierra., C. A., Acevedo Barrios, R. L., & Jaimes Morales, J. D. C. (2015). Calidad del agua para consumo humano: municipio de Turbaco - Bolívar, norte de Colombia. Recuperado de <https://bit.ly/3b5SoWd>

Solís, C. A., Vélez, C. A., & Ramírez-Navas, J. S. (2017). Tecnología de membranas: Ultrafiltración. Entre Ciencia e Ingeniería, 11(22), 26-36. Recuperado de <https://bit.ly/2ybnXiU>

Torres-Lozada, P., Fuentes-López, L., Barba-Ho, L. E., & Cruz-Vélez, C. (2019). I-396- Reducción de plaguicidas en el tratamiento de agua potable por medio de la aplicación de la coagulación mejorada. Recuperado de <https://bit.ly/2XDYwkl>

Ullauri Erraez, E. A. (2015). Evaluación del funcionamiento de un biofiltro de arena para tratamiento de Agua Potable, a nivel domiciliario en el sitio Pitahuiña, Parroquia

Casacay; cantón Pasaje, Provincia del El Oro. Recuperado de <https://bit.ly/2TgN5MO>

UNESCO. (2019). Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos (WWAP). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019. No dejar a nadie atrás. Recuperado de <https://bit.ly/3bcxDbh>

Valenciano Perdomo, J. S. (2016). Propuesta de diseño para la optimización de la planta de potabilización del municipio de Pitalito (Huila). Recuperado de <https://bit.ly/3bhIboR>

Villa-Gonzales, G. F., Huamaní-Pacsi, C., Chávez-Ruiz, M., & Huamaní-Azorza, J. A. (2018). Evaluación de la remoción de arsénico en agua superficial utilizando filtros domiciliarios. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública, 35(4), 652-6. Recuperado de <https://bit.ly/3e7dYo3>