

**Comparación de técnicas alternativas de potabilización de agua,
y su posible aplicación en el área rural del territorio nacional
colombiano**

**Comparative of alternative water treatment techniques and its
possible application in rural areas of the Colombian national
territory**

Ángela María Betancur Flórez, Sergio Augusto Upegui Sosa

Institución Universitaria Tecnológico de Antioquia

Tipo de Artículo: (Investigación científica y tecnológica, Revisión o Reflexión).

Recibido: 00/00/0000. Aprobado: 00/00/0000. Publicado: 00/00/0000

Resumen:

El abastecimiento del agua potable en las zonas rurales de los países en desarrollo ha venido presentado diferentes dificultades, donde Colombia no es ajena a esta situación dado a la dificultad de abastecer de agua potable a las comunidades rurales, debido a la poca probabilidad de implementar sistemas convencionales que permitan el acceso al agua en las condiciones que la normatividad lo exige, por lo tanto se ha hecho necesario la implementación de técnicas alternativas a la potabilización que no impliquen costos elevados y que proporcionen al agua las condiciones necesarias para el consumo humano, por lo tanto en este artículo se realizó un análisis de las diferentes técnicas alternativas para la potabilización con el fin de analizar su posible aplicación en el territorio nacional. Los resultados demostraron que estas técnicas no requieren de grandes inversiones y de tecnologías sofisticadas lo cual hace posible que las comunidades puedan acceder al agua potable mediante la práctica de sistemas naturales y alternativas simples.

Palabras clave: Potabilización de agua, técnicas alternativas, sector rural.

Abstract.

The supply of drinking water in rural areas of developing countries has presented different difficulties, where Colombia is no stranger to this situation due to the difficulty of supplying drinking water to rural communities, due to the low probability of implementing conventional systems that allow access to water in the conditions required by regulations, Therefore, it has become necessary to implement alternative techniques to potabilization that do not imply high costs and that provide the water with the necessary conditions for human consumption. Therefore, in this article an analysis of the different alternative techniques for potabilization was made in order to analyze their possible application in the national territory. The results showed that these techniques do not require large investments and sophisticated technologies, which makes it possible for communities to have access to drinking water through the practice of natural systems and simple alternatives.

Keywords: water treatment, alternative techniques, rural sector.

1. Introducción

“Aunque el abastecimiento del agua potable constituye un servicio público que los estados deben proveer de manera obligatoria a los individuos, ya que el acceso al recurso es una necesidad colectiva, básica fundamental, dicho abasto no ha podido ser enteramente satisfecho por muchos gobiernos en diversos países, sobre todo en aquellos donde prevalecen condiciones de subdesarrollo” [1].

Según el informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019, “tres de cada diez personas (2.100 millones de personas, el 29% de la población mundial) no tienen acceso al agua potable de forma segura, mientras que 844 millones de personas aún carecían de un servicio básico de agua potable). De todas las personas que utilizan servicios de agua potable gestionados de manera segura, solo una de cada tres (1.900 millones) viven en áreas rurales” [2].

Colombia no es ajena a esta situación, ya que aún no se ha podido satisfacer la necesidad de agua potable en todo el territorio nacional, lo cual denota la dificultad de abastecimiento en los sectores rurales, generando una crisis de gobernabilidad en la gestión del recurso hídrico. En Colombia son más de doce mil las organizaciones comunitarias que proveen servicios públicos domiciliarios, las cuales suministran agua potable y saneamiento básico a cerca del 40% de los pobladores rurales del país. Son sistemas de acueductos comunitarios que han logrado sobrevivir, por muchas décadas, a las continuas reformas administrativas y políticas, en las que se les desconoce y minimiza [3]. La situación termina siendo tan compleja, que la Comisión Económica Para América Latina y El Caribe realizó un estudio sobre los bienes y servicios públicos en la zona rural de Colombia; de acuerdo con este estudio, la cobertura de acueducto en la zona rural es de 53,3% [4].

Para minimizar un poco el déficit del agua potable en el área rural; en varios países en desarrollo, incluido Colombia, se estudian o se están implementando técnicas alternativas de potabilización, que sean de fácil acceso económico. Esto con la finalidad de que las comunidades tengan acceso al agua potable no de una manera convencional, la cual implica grandes inversiones y altos costos por parte del estado, pero sí de manera alternativa que le proporcione las características necesarias al agua para ser apta para consumo humano [5].

Lo anterior resalta una problemática actual en cuanto al servicio de agua potable en Colombia para el área rural. Garantizar el acceso al agua y al saneamiento básico a la población en las zonas rurales plantea problemas, debido a la propia naturaleza de las zonas rurales. Las limitaciones geográficas para el acceso al agua, los habitantes, el bajo nivel socioeconómico y la dificultad de utilizar tecnologías convencionales tienen

un impacto en el aumento en los costos de inversión y su sostenibilidad [6]. Sumando, además, la falta de intervención del estado.

De lo anterior surge el principal objetivo y la motivación para la realización de esta comparación de técnicas alternativas de potabilización de agua, con el fin de estudiar su posible aplicación en el área rural del territorio Nacional, el cual se llevará a cabo bajo la realización de los siguientes objetivos específicos:

- Realizar una revisión bibliográfica sobre estudios relacionados con técnicas alternativas para la potabilización del agua.
- Revisar la normativa nacional concerniente a la implementación de sistemas de potabilización del agua.
- Comparar los criterios técnicos de la normatividad con las técnicas alternativas de potabilización encontradas, para su implementación en las áreas rurales del territorio nacional.

Para lo anterior, la metodología aplicada fue de tipo exploratoria, empleando como técnica de recolección de la información la observación no participativa, a través de la selección y análisis de información cualitativa y cuantitativa relacionada con el objeto de estudio previamente mencionado. Para esto, se partió de una revisión bibliográfica en bases de datos indexadas, sobre técnicas alternativas para potabilizar el agua, sumado con el estudio de la normatividad nacional aplicable para la implementación de sistemas de agua potable, teniendo como punto de partida: el concepto de potabilización, su importancia y las operaciones unitarias para la potabilización en los sistemas convencionales, y de esta manera identificar criterios y características empleadas en los sistemas alternativos para la realización de este proceso; adicionalmente, se hizo una revisión de la normativa nacional para analizar la posible implementación de las técnicas alternativas encontradas, en las áreas rurales del territorio nacional a la luz de la norma.

2. Marco Teórico

2.1. Potabilización del Agua.

La potabilización del agua es un proceso que comprende las operaciones y procesos físicos y químicos que permiten llevar el agua cruda a condiciones saludables para el consumo humano [7].

2.1.1. Importancia de la potabilización.

Este proceso es importante para la protección del medio ambiente, para la salud y para mejorar la calidad de vida de la población, en especial aquellas en condiciones de pobreza, es indispensable para la realización de actividades cotidianas y tradicionales de la población humana, por medio de la potabilización se

puede hacer un manejo y un uso controlado del recurso hídrico [8].

2.2. Sistemas de Potabilización del Agua.

Los sistemas de potabilización del agua son los encargados de llevar este recurso en condiciones de potabilidad para el consumo humano, sin que represente un riesgo para la salud mediante la aplicación de tratamientos que hacen posible remover contaminantes. Dentro de estos sistemas encontramos sistemas convencionales y técnicas alternativas de potabilización [7].

2.2.1. Sistema convencional de abastecimiento de agua potable.

Es un sistema diseñado y construido bajo criterios ingenieriles tradicionalmente aceptados y compatibles a nivel comunitario, o de vivienda; con el propósito de abastecer a las poblaciones del servicio de agua potable, capaz de remover turbiedad, sedimentos, microorganismos, dureza, olor, color y las características que se requieran, dependiendo del estado en que se encuentre el agua cruda; estos sistemas se deben diseñar de acuerdo al análisis de trazabilidad y a las características propias de los lugares en los que es factible su implementación [9].

2.2.2. Sistemas alternativos de abastecimiento de agua potable.

Por su parte, los sistemas alternativos son aquellos que permiten realizar los procesos de potabilización del agua para consumo humano de manera no convencional, permitiendo que el agua tratada cumpla con los requerimientos establecidos para el agua potable. Es factible implementar estas alternativas, para el abastecimiento del agua en zonas rurales, donde es difícil el acceso al agua potable. Para ello, se pueden implementar desde técnicas naturales hasta alternativas tecnológicas poco convencionales, las cuales no implican grandes costos económicos [10].

2.2.3. Niveles de servicio en abastecimiento del agua.

Los niveles de servicio indican la forma en la que los usuarios reciben el servicio de agua potable en sus hogares, esto se da a nivel público o multifamiliar.

En el nivel de servicio multifamiliar, el abastecimiento de agua se da a partir de pequeñas fuentes, el uso es exclusivo a través de piletas públicas abastecidas a través de redes, donde las familias beneficiarias deben transportar el agua hasta su lugar de residencia.

El nivel de conexión domiciliaria o familiar se da a partir de conexiones individuales directas en las viviendas de una red pública, que se conectan a las instalaciones intradomiciliarias, éstas pueden ubicarse fuera o dentro de la vivienda [11].

Los factores que influyen en la selección del nivel pueden ser de varios tipos. **Factores técnicos:** como la dotación, para tener en cuenta el consumo por habitante; la fuente, ya sea superficial, subterránea o pluvial; la disponibilidad de la fuente que puede ser destinada para consumo humano; ubicación de la fuente, para determinar si se da el abastecimiento por bombeo o gravedad. **Factores sociales:** por categoría de la población sea rural o urbana; características de la población para determinar su distribución ya sea dispersa o concentrada; de acuerdo al tipo de servicio, familiar entre 1 a 5 familias, multifamiliar de 5 a 25 familias y comunal para atender a más de 25 familias; **factor económico:** con el fin de determinar el costo de la inversión de acuerdo al nivel del servicio, teniendo en cuenta el nivel socioeconómico de las personas que son beneficiarias catalogadas en nivel bajo, medio y alto [11].

2.2.4. Descripción de etapas del sistema de potabilización convencional

Dentro de los procesos para la obtención de agua potable se encuentran: fuente de abastecimiento, rejillas, pretratamiento, coagulación, floculación, sedimentación, filtración, desinfección, distribución, como se describe a continuación [7]:



Figura 1. Esquema convencional para agua potable. Fuente: [7].

Fuente de abastecimiento.

Las fuentes de abastecimiento son todas las aguas provenientes de cursos o cuerpos superficiales o subterráneos; también pueden considerarse como fuentes, en casos excepcionales, las lluvias y el agua del mar. La selección de la fuente debe de realizarse basándose en la calidad del agua, la ocurrencia de eventos de sequía y escogiendo aquella que permita la construcción de una captación económica, segura, confiable y que tenga unas características de acceso, operación y mantenimiento fáciles. Para lo anterior, deben de efectuarse estudios de impacto sobre el medio ambiente, el ecosistema y el hábitat natural de diferentes especies, que puedan producir las obras de la captación, se debe de conocer el caudal ecológico en la fuente de agua definido por la autoridad ambiental competente

para la estimación de la capacidad utilizable de la fuente [12].

Rejillas.

La captación de aguas superficiales a través de rejillas se utiliza especialmente en los ríos de zonas montañosas, los cuales están sujetos a grandes variaciones de caudal entre los periodos de estiaje y los periodos de crecientes máximas. El elemento base del diseño es la rejilla de captación, la cual debe ser proyectada con barras transversales o paralelas a la dirección de la corriente. Los otros tipos de toma también deben tener rejillas, con el fin de limitar la entrada de material flotante hacia la estructura de captación [12].

Pretratamiento: es necesario realizar uno o varios pretratamientos al agua cruda con el objetivo de dejarla en condiciones óptimas para el tratamiento subsiguiente. Entre los pretratamientos que pueden emplearse están los siguientes:

- **Remoción del material flotante:** este proceso se realiza para remover el material sobrante, para que posteriormente pueda ser tratada por los procesos convencionales. Para estos procesos preparatorios pueden utilizarse: rejillas, mallas, y trampas de grasa y aceite.

- Remoción del material suspendido y sedimentable.

Puede usarse cuando exista un exceso de material suspendido y sedimentable en el agua, en especial arena, arcillas y algas que pueden interferir en los procesos siguientes al tratamiento. Entre los procesos preliminares que pueden emplearse, se tienen: desarenadores, pre-sedimentadores con o sin aplicación de químicos, pre-filtros y micro tamices [7].

- Remoción de olor y sabor.

Los problemas de olor y sabor del agua se da por la acumulación de material orgánico en el agua, cuando el olor y el sabor no alcanzan a ser removidos en los procesos de tratamiento (coagulación, floculación, sedimentación y filtración), deben ser tratados previamente mediante procesos a base de oxidación o adsorción [7].

- Procesos de oxidación

Esta oxidación puede ser por aireación u oxidación química la cual permite la eliminación de los sólidos de las aguas contaminadas, su implementación se tiene en cuenta según la función del oxidante que se escoja. Para la aireación pueden emplearse: las bandejas de coque y la aireación forzada; además, debe probar su eficiencia, ya sea por resultados obtenidos a nivel internacional o nacional, por investigaciones o trabajos de laboratorio y/o planta piloto que demuestren su efectividad.

2.3. Procesos Unitarios Convencionales en la Potabilización del Agua.

2.3.1. Coagulación.

Es un proceso de gran importancia en la potabilización del agua ya que en él se adicionan sustancias químicas (coagulantes) al agua a altas velocidades, preparándola para la sedimentación de las partículas en suspensión que no pudieron ser removidas en los procesos de pretratamiento. La coagulación es el proceso que se usa más ampliamente para remover las sustancias inorgánicas, (generadoras de turbiedad en el agua), así como sustancias orgánicas (que causan olor, sabor o color). La coagulación es el método más importante para la remoción de partículas coloidales y suspendidas (80 a 90% de remoción) [13].

El proceso de coagulación se usa principalmente para [14]:

- Remoción de turbiedad orgánica o inorgánica que no puede sedimentar rápidamente.
- Remoción de color verdadero y aparente.
- Eliminación de bacterias, virus y organismos patógenos.
- Destrucción de algas y plancton en general.
- Eliminación de sustancias productoras de sabor y olor en algunos casos y de precipitados químicos suspendidos o compuestos orgánicos en otros.

En la coagulación inciden algunos factores como son: Dosis de coagulantes, pH, concentración de coloides o turbiedad, color o concentración de sustancias orgánicas en el agua, aniones o cationes presentes en el agua, intensidad de la mezcla rápida y gradiente de velocidad de la mezcla lenta, movilidad electroforética de las partículas, temperatura del agua. Como se ve, se trata de un fenómeno complejo en el que intervienen por lo menos ocho factores que pueden modificarlo. Los tres primeros factores se interrelacionan; del pH y de los coloides depende la dosis de coagulante que se le aplique al agua [14].

Los principales coagulantes utilizados en este proceso son: Sulfato de Aluminio, Aluminato de Sodio, Cloruro de Aluminio, Cloruro Férrico Sulfato Férrico, Sulfato Ferroso, Polielectrolitos, donde las sales de aluminio y de hierro son los más usados [15].

2.3.2. Floculación.

Este proceso es el que continuo después de la coagulación, donde la masa que generó la coagulación es agitada a bajas velocidades, permitiendo la aglomeración de los flóculos (flocs), con el fin de que estos tengan un tamaño adecuado para ser sedimentados. La floculación se divide en dos tipos: pericinetica que es inducido por energía térmica y por el movimiento natural de las moléculas del agua, y

ortocinetica que es inducida por energía exterior de origen mecánico o hidráulico, siendo éste un paso consecutivo de la floculación pericinetica [15]. La floculación es uno de los métodos más importante para la remoción de partículas coloidales y suspendidas (80 a 90% de remoción) [13].

Los parámetros para la floculación son los siguientes:

- Floculación Ortocinética.
- Gradiente de Velocidad.
- Número de colisiones.
- Tiempo de retención.
- Densidad y tamaño de floc.

Los floculadores empleados en el proceso son los hidráulicos (de flujo horizontal, vertical, helicoidal, Alabama y de lecho poroso), los mecánicos (giratorios, de turbina y reciprocantes); y los hidromecánicos que utilizan la energía hidráulica para mover las turbinas [7].

Los floculantes utilizados son polímeros o polielectrolitos, los cuales pueden ser de naturaleza mineral, orgánica natural y orgánica de síntesis [15].

2.3.3. Sedimentación.

La sedimentación es el proceso por medio del cual se separan los sólidos más densos del agua mediante el efecto de gravedad [14].

Según [16], los factores que influyen en la sedimentación son:

- Calidad del agua.
- Condiciones hidráulicas.
- Procesos previos a la sedimentación.

Los sedimentadores se clasifican en: sedimentadores, o decantadores estáticos, los cuales hacen su proceso mediante sedimentación de caída libre; decantadores dinámicos que necesitan una gran concentración de partículas; y los decantadores laminares, que son los que su eficiencia disminuye debido al aumento de la carga superficial.

2.3.4. Filtración.

Tiene como objetivo remover las partículas suspendidas y coloidales reduce la turbidez inicial de los coliformes entre 90-99 %del agua mediante un sistema poroso, es la fase responsable para que el agua cumpla con las condiciones de potabilidad [16].

Las unidades de filtración se clasifican de la siguiente manera:

- Lecho filtrante.
- Sentido del flujo.
- Forma de aplicar la carga de agua sobre el lecho.
- Forma de control operacional.

Los factores que influyen en la filtración son:

- Características del medio filtrante.
- Características hidráulicas.

2.3.5. Desinfección.

Este es el último proceso que se le realiza al agua para su tratamiento, eliminando todos los organismos contaminantes; donde el cloro es el principal desinfectante empleado. Los factores que influyen en la desinfección son [17]:

- Los microorganismos presentes y su comportamiento.
- La naturaleza y concentración del agente desinfectante.
- La temperatura del agua.
- La naturaleza y calidad del agua.
- El pH del agua.
- El tiempo de contacto.

2.4. Procesos Unitarios Alternativos en la Potabilización del Agua.

2.4.1. Coagulación.

El polvo de la *Moringa Oleífera* y el sulfato de aluminio se ha venido utilizando como coagulante alternativo en las comunidades rurales, donde se ha demostrado que es muy eficaz y menos costoso que el coagulante tradicional, [18] comprobó que estando el pH dentro de un rango de 7.2 a 7.9, la conductividad vario entre $\log_{10} 2.29$ a $\log_{10} 2.72 \mu\text{S}/\text{cm}$, y la turbidez arrojó un resultado de $\log_{10} 1.32$ NTU.

De acuerdo con [19] la *Moringa Oleífera* es de bajo costo, biodegrada el lodo producido, sus extractos demuestran una eficiencia elevada entre 92-99% en la reducción de la turbiedad.

En una investigación desarrollada por [20], se estudió el desempeño de la *M. Oleífera* en comparación con el sulfato de aluminio y férrico, donde se usó agua con una turbidez de 146 NTU y *E. coli*, y una mezcla de agua de diferentes ríos y agua híbrida con turbidez de 5 NTU y otra de 45 NTU, donde la *M. Oleífera* removió el 84% de turbiedad y el 88 % de *E. coli*. En el agua de 5 NTU se redujo la *E. coli* en 82% para la *M. Oleífera*, y en la de 45 NTU se presentó una remoción den turbidez del 76% y 93% en la reducción de la *E.coli* con respecto a la *M. Oleífera*.

Así mismo, se han evaluado otros extractos de origen natural, como es el caso del frijol común. Según [21], en una investigación realizada a la extracción de coagulante de proteínas de semilla de frijol común (*phaseolus vulgaris*) con relación a la concentración NaCl y pH, se reportaron resultados de coagulación al 40% en extracto crudo, concluyendo con este estudio que la semilla de frijol común tiene características importantes de coagulación natural.

Por otra parte, en un estudio realizado por [22], se evaluó las propiedades de *Opuntia spp*, para la eliminación de la turbidez en aguas sintéticas para dar paso a la coagulación, donde se redujo la turbidez en un 98% con respecto a un rango de turbidez inicial.

De igual manera se ha evaluado la aplicación de los extractos de semillas de habas (*vicia faba L*) como coagulante obtenido a base de cloruro de sodio y agua destilada, se experimentó en diferentes dosis de 0,05 hasta 1,5 ml/L en una prueba de jarras con agua sintética con turbiedades iniciales de 20, 45 y 90 NTU. La dosis del coagulante fue de 0,125 ml/L en la que se removió la turbiedad del agua entre 50 % y 55% [23].

En una investigación en malasia desarrollada por [24], se ha evaluado la aplicación de almidones de arroz, trigo, maíz y patata, como coagulantes naturales para tratar la turbiedad del agua, donde el arroz demostró una eliminación del 50% de turbidez en comparación con los otros, lo que da a concluir que el arroz tiene características favorables para la clarificación del agua.

2.4.2. Floculación.

De acuerdo con [25], el filtro de fibra se ha utilizado para el tratamiento de agua residual; pero recientemente se estudia para implementarlo en el tratamiento de agua potable, no como una alternativa para el filtro de arena pero si como una alternativa en los procesos de floculación, coagulación y sedimentación, en un experimento que se desarrolló en el río Nak-dong en Corea, donde se comprobó que el tiempo de resistencia de este filtro fue 100 veces menor que el filtro utilizado en los procesos convencionales utilizando 1 mg/L PAC, donde en los procesos de coagulación- floculación, sedimentación cumplió con los estándares de 1 NTU, con un porcentaje de porosidad del 93%.

A sí mismo [26], determino la capacidad de sustancias naturales, Moringa, Cactus, Nem y Maiz, en el tratamiento del agua en el río Magdalena, donde se establecieron varias velocidades en la coagulación, donde la moringa oleífera redujo la turbidez en 98%, el Neem disminuyo 99,4% los coliformes totales y 99,2% los coliformes fecales, y el Maiz redujo 99,4% los coliformes totales, como resultado se concluyó que estas alternativas son viables para la potabilización del agua.

Según [27], el empleo de almidón mezclado con cloruro férrico, en una dosis de 10mg/L de $FeCl_3$ y 0,2 mg/L de almidón, para la tratar un agua a base de caolinita con turbiedad inicial de 50 NTU y 100 NTU, alcanzó una remoción de la turbiedad de 86,5% y 92,4% respectivamente.

Basado en [28], el almidón como agente floculante puede mejorar las propiedades dado el cambio de estructura molecular, la modificación de estos almidones

puede ser por métodos químicos, físicos, enzimáticos o genéticos.

En la investigación desarrollado por [29], se evaluó el efecto floculante del mucilago acuoso extraído del cactus nopal *Opuntia ficus indica*, en los sólidos suspendidos que causan la turbiedad y la carga contaminante de los lixiviados, donde la remoción de los lixiviados alcanzo un 67%.

2.4.3. Sedimentación.

Según lo afirma [30] la sedimentación es un proceso unitario, donde la clarificación actúa en la remoción de las partículas que no actúan a partir de suspensiones diluidas se unen en la floculación durante la sedimentación.

Así mismo [31], en un estudio utilizando agua de ácido fulvico sintético donde se usaron cloruros y PAC de varios químicos, donde el PAC y el alumbre presentaron las mismas dosis óptimas para el agua con ácido fulvico, los PAC fueron eficaces en la floculación en 5 min, mientras que el alumbre necesito 10 min, donde la flotación por aire disuelto mejoro al aumentarla intensidad de la floculación, dando que la flotación funcione mejor que la sedimentación con tiempos más bajos de floculación y remoción de turbidez.

2.4.4. Filtración.

De acuerdo con [5], se habla que la biofiltración es una opción diferente a los procesos que comúnmente son utilizados para la potabilización del agua, este es un proceso que viene de tiempo atrás, con la finalidad de separar los agentes contaminantes del agua que no han podido ser eliminados en otros procesos, este sistema es beneficioso porque purifica el agua en una sola operación, presentando las siguientes ventajas:

- Los gérmenes patógenos son reducidos un 100%.
- La superficie disponible y el volumen ocupado por los materiales están relacionados, para facilitar el rendimiento y funcionamiento de los filtros.
- No requiere ocupar un espacio de gran tamaño, e independiente de la población puede aplicarse a cualquier núcleo.
- En la distribución del agua potable el nivel del cloro residual es bajo.
- Para la economía es más rentable que un sistema tradicional.

Así mismo, [5] afirma que los sistemas de filtración se pueden clasificar por:

- Gravedad o presión: este proceso se da mediante gravedad o la presión que ejerce el agua dentro del filtro permitiendo que el agua pase por este realizando el proceso de separación del material contaminante.
- Velocidad de filtración: rápida, lenta o variable. La filtración lenta es aquella que se da a velocidades

entre 0,1 y 0,2 m/h, mientras que la filtración rápida se da a velocidades entre 5 y 20 m/h.

- Filtración de torta o en profundidad: este es un proceso lento que forma una especie de torta que permite la filtración a través de esa superficie mediante mecanismos físicos y biológicos.

Córdoba *et al* [32], señalan que la filtración lenta con arena son sistemas económicos dado a los materiales, capaces de remover las características principales del agua dejándola en condiciones de potabilidad.

De acuerdo con [33], el filtro de arena cuenta con cinco zonas:

- Zona de reservorio para el agua de entrada: donde se vierte el agua al filtro.
- Zona de agua estancada: permite que la arena permanezca mojada.
- Zona biológica: es la encargada de extraer los patógenos los contaminantes y las partículas suspendidas.
- Zona no-biológica: por la falta de oxígeno no se encuentra ningún microorganismo vivo.
- Zona de grava: mantiene la arena en su lugar y evita que el tubo de salida se tapone.

Según [5], la filtración lenta de arena tiene una capacidad de la separación de bacterias coliformes totales de 99,4%, los quistes de tamaño entre 7 y 12 in tenían una tasa de separación del 96.8% o mayores. La disminución de la turbidez con tasas altas y valores que se reducen a 0,5 UNT.

De acuerdo con [34], una nueva técnica para la potabilización del agua es la ultrafiltración con la aplicación de carbono activado en polvo (PAC) de absorción, la cual en sus resultados demuestra que la turbiedad se elimina cerca de 0,15 NTU, independiente del agua cruda, donde la adición del PAC mejora la eliminación de materia orgánica, el proceso de ultrafiltración combinada con el PAC alcanza el 41% de remoción de índice de permanganato, el 46% de carbono orgánico disuelto, y el 57 % de disminución de absorbencia de UV254.

Basado en [35], en el año 2013 se instaló un sistema de filtración en zona rural del municipio de Tocaima (Cundinamarca), el cual arrojó los siguientes resultados: el color tuvo una remoción del 100% de unidades de platino cobalto, la turbidez disminuyó 96,4% NTU, la conductividad 266 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el pH un promedio de 7,2 neutro, acidez 41,6% de CaCO_3 , alcalinidad de disminuyó 6,5% de CaCO_3 , el oxígeno disuelto tuvo un promedio de 6,84 ppm; lo cual hace concluir que el filtro de arena lento es considerado como una alternativa apropiada para implementar en las zonas rurales dado a su simplicidad permitiendo que este haga el proceso para la potabilización del agua haciendo remoción de las partículas contaminantes. Para que el agua sea tratada

por medio de este filtro debe de contar con algunas características de temperatura, concentración de algas y turbiedad. Actualmente se dice que este es uno de los procesos que ha demostrado mejorar la calidad biológica del agua.

La tecnología de membranas es un método que permite tratar y potabilizar el agua de forma precisa y segura [36]. La ultrafiltración es una técnica que permite que el agua potable haga una separación para remover moléculas de gran peso, esta tiene muchas ventajas en comparación con la tecnología convencional dado a que no requiere de agentes químicos para el proceso de coagulación, floculación y desinfección [37].

De acuerdo con [38], el Biochar se ha venido convirtiendo en una alternativa innovadora para la filtración, ya que posee grandes propiedades fisicoquímicas absorbentes, Esto, debido a que el Biochar y sus derivados activados tienen la capacidad de eliminar los organismos patógenos que causan infecciones y enfermedades. Existe una fuerte base de evidencia extraída de África y los países en desarrollo que demuestran la capacidad del Biochar para eliminar contaminantes tóxicos en el agua, estos estudios proporcionan algunas ideas tempranas sobre las perspectivas de desarrollar filtros de agua basados en Biochar para el tratamiento de agua potable.

Según [39], el Biochar puede eliminar contaminantes orgánicos en el agua como algunos pesticidas (0.02–23 mg g⁻¹) Productos farmacéuticos y de cuidado personal (0.001– 59 mg g⁻¹) (2–104 mg g⁻¹) ácido húmico (60 mg g⁻¹) ácido húmico (sulfonato de fluorooctano (164 mg g⁻¹) y NORTE nitrosomodimetilamina (3 mg g⁻¹) Incluidas las aplicaciones de adsorción / filtración, el Biochar puede potencialmente usarse para inactivar *Escherichia coli* mediante desinfección y transforma el 95% de 2-clorobifenilo mediante procesos de oxidación avanzados. Sin embargo, más datos de absorción usando Biochar especialmente a escala de demostración, para tratar agua potable y reutilizar en aplicaciones de adsorción / filtración ayudará a establecer el potencial de Biochars para servir como sustitutos de los carbonos activados.

2.4.5. Desinfección.

Como lo afirma [40], el destilador de agua solar es una alternativa viable para que las comunidades rurales tengan acceso al agua potable, el cual consiste en la construcción de un destilador el cual contiene, una bandeja plana de latón y una caja cuadrada de vidrio transparente para su almacenamiento y una cubierta de vidrio transparente que permite que la luz solar ingrese y realice el proceso de transformación.

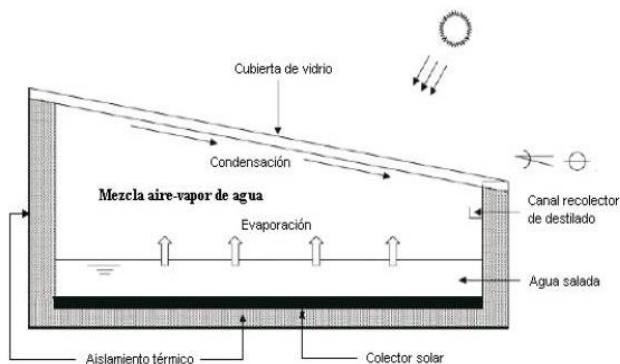


Figura 2. Esquema de un destilador solar. **Fuente:** [41]

Donde el agua que carece de tratamiento es introducida en la bandeja donde por medio de la radiación solar es evaporada para después condensarse en la cubierta que tiene una temperatura más baja, el agua condensada escurre y cae a los canales para ser colectada y dispuesta en envases. La inversión para este colector se hace una sola vez, y los costos de mantenimiento y reparación van disminuyendo en el transcurso de su vida útil; en la implementación de este colector es necesario tener en cuenta las temporadas de lluvia y de sequía ya que de este factor depende la cantidad de agua que se puede tratar.

Así mismo [42], Se evaluó la eficiencia del método empleando muestras de 5000 mL y un reflector solar. Se determinaron parámetros fisicoquímicos: pH, temperatura, OD, conductividad, turbidez, sólidos totales, nutrientes y parámetros microbiológicos (coliformes totales y fecales) a muestras de agua natural y tratada. Se emplearon equipos de medición, técnicas analíticas y métodos estándares. Se concluyó que los parámetros fisicoquímicos de las muestras se encontraron en norma, pero reportaron presencia de coliformes totales: 260-760 UFC/100mL y coliformes fecales: 20 UFC/100mL. La eficiencia del método fue del 100 %.

De acuerdo con [43], una alternativa que las comunidades rurales han implementado a lo largo de los años es la potabilización del agua a base de energía solar, donde los sistemas hacen un aprovechamiento de la temperatura para retirar los materiales pesados del agua. El procedimiento consiste en la captación de agua a la cual se le hace un proceso de cambio de temperatura para que el agua se vaporice dejando por fuera los materiales contaminantes, luego de esto el agua vuelve a su estado natural donde se puede recolectar y disponer como agua potable apta para consumo humano, En lugares donde existan sistemas de redes de acueducto potabilizar con energía solar podría no ser rentable, pero en lugares alejados de fuentes confiables de agua potable, esta metodología simple resulta ser muy útil para comunidades alejadas,

como para comunidades donde es económicamente factible.

En el estudio desarrollado por [44], se realizaron pruebas a diferentes tipos de aguas superficiales mediante el uso de membranas de ultrafiltración para la desinfección de agua potable con diferentes durezas de 5° F a 50°F, donde los resultados muestran que la carga microbiana es eliminada totalmente, la DQO tuvo tendencia a los límites permisibles para agua potable, lo que da como conclusión que este proceso de desinfección es viable para generar en el agua las condiciones adecuadas de potabilidad.

Entre otras alternativas para la desinfección esta la Cloración, el hipoclorito sigue siendo el mejor desinfectante por ser la mejor garantía de un agua microbiológicamente apta para consumo humano siendo económicamente accesible, este proceso es empleado en casos de desinfección de las aguas, control de olores y sabores, prevención del crecimiento de algas y microorganismos, desinfección preventiva buscando el efecto residual del cloro en el agua, donde la dosis para la desinfección del agua debe de ser del 2% [7].

La Ozonización por su alto poder oxidante lo convierte en un eficiente destructor de bacterias, virus quistes y hongos, se recomienda que una vez hecho este proceso se realice una desinfección secundaria inmediata con cloro, se recomienda su uso para mejorar la calidad organoléptica, por su acción bactericida, virulencia y parasitada, para la oxidación de micro-contaminantes, para el mejoramiento de la biodegradabilidad, eliminación de precursores de subproductos de la desinfección con concentraciones de entre 0,01-0,20 mg/L [7].

Los Rayos ultravioleta esto es recomiendan cuando los contenidos de materia orgánica y turbiedad del agua son bajos destruye el 99% de virus, patógenos, y gérmenes que se encuentran en el agua [7].

El Yodo es utilizado en volúmenes pequeños (5 gotas al 2%) y en casos de emergencia en periodos cortos de aplicación [7].

La Plata coloidal solo se recomienda su uso en filtros domésticos [7].

2.5. Normativa Colombiana Aplicable a la Potabilización del Agua en Zonas Rurales.

2.5.1. Resolución 2115 de 2007. En el capítulo 2 se habla de las características físicas y químicas del agua para consumo humano, en el artículo 9, de este capítulo se exponen las características químicas del agua para consumo humano se deberán tener en cuenta los siguientes valores aceptables para otras sustancias químicas utilizadas en el tratamiento del agua, así:

1. El valor máximo aceptable del residual de aluminio derivado de su uso como coagulante en el tratamiento de agua para consumo humano en su forma (Al³⁺) será de 0,2 mg/L. Si se utiliza otro coagulante basado en sales de hierro, el valor máximo aceptable para el residual será 0,3 mg/L.

En el caso de utilizar otras sustancias químicas en el tratamiento del agua para consumo humano, el valor aceptable para el residual correspondiente a otras consideraciones al respecto, serán las reconocidas por las Guías de la Calidad de Agua vigentes de la Organización Mundial de la Salud y adoptadas por el Ministerio de la Protección Social.

2. El valor aceptable del cloro residual libre en cualquier punto de la red de distribución del agua para consumo humano deberá estar comprendido entre 0,3 y 2,0 mg/L. Cuando se utilice un desinfectante diferente al cloro o cualquiera de las formulaciones o sustancias que utilicen compuestos distintos para desinfectar el agua para consumo humano, los valores aceptables para el residual correspondiente u otras consideraciones al respecto, serán los reconocidos por la Organización Mundial de la Salud y adoptados por el Ministerio de la Protección Social, quien tendrá en cuenta el respectivo concepto toxicológico del producto para expedir el concepto técnico.

3. Las plantas de tratamiento deben garantizar mediante sistemas, estructuras o procedimientos de control, el tiempo de contacto del cloro como desinfectante, antes de enviar el agua a las redes y de poner el alcalinizante, el cual debe ser establecido de acuerdo con las tablas del artículo 115 de la Resolución 1096 de 2000 del entonces Ministerio de Desarrollo Económico, o la norma que la sustituya, modifique o adicione.

4. La cal, el sulfato de aluminio, el cloro y el hipoclorito utilizados en el tratamiento o potabilización del agua para el consumo humano, deben cumplir con la calidad determinada por la Resolución N°. 2314 de 1986 del Ministerio de Salud hoy de la Protección Social o la norma que la sustituya, modifique o adicione y con lo previsto en el capítulo C.4 –Coagulación – Mezcla rápida - de que trata el Título C del Reglamento de Agua y Saneamiento del año 2000, expedido por el entonces Ministerio de Desarrollo Económico o el que lo sustituya, modifique o adicione.

Para otros productos, materiales (polímeros) o insumos que vayan a ser utilizados en la potabilización del agua para consumo humano, el Ministerio de la Protección Social emitirá el respectivo concepto técnico, el cual incluye el concepto toxicológico [45].

2.5.2 Decreto 1898 del 23 de noviembre de 2016

En el capítulo 1, sección 3, habla de los Esquemas diferenciales para el aprovisionamiento de agua potable y saneamiento básico.

En el **Artículo 2.3.7.1.3.1.** Hace referencia a la adopción de soluciones alternas en zonas rurales, donde expresa que los municipios y distritos son los responsables de suministrar agua potable y saneamiento básico a las zonas rurales diferentes a los centros poblados.

Artículo 2.3.7.1.3.2. Habla de las soluciones alternativas para el aprovisionamiento de agua para consumo humano y doméstico, en las que las zonas rurales deberán de cumplir con las siguientes condiciones:

1. El acceso al agua para consumo humano y doméstico podrá efectuarse mediante un abasto de agua o un punto de suministro, o directamente desde la fuente, acorde con la normatividad aplicable a la materia y con las necesidades de la comunidad.

2. El almacenamiento del agua para consumo humano y doméstico podrá realizarse en tanques o dispositivos móviles de almacenamiento.

3. El tratamiento del agua para consumo humano y doméstico, se realizará mediante técnicas o dispositivos de tratamiento de agua. Esto no será requerido para los inmuebles aprovisionados mediante puntos de suministro que entreguen agua apta para consumo humano.

En el parágrafo de este artículo se hace claridad de que los administradores de abastecimiento de agua y puntos de suministro no son personas prestadoras al servicio público de acueducto, en este caso las autoridades sanitarias son las encargadas de hacer la vigilancia para la promoción y prevención de enfermedades conformes con los lineamientos que expida el Ministerio de Salud y Protección Social, también hace claridad que estos puntos deben de contar con los permisos y autorizaciones ambientales que exige la normatividad vigente.

Artículo 2.3.7.1.3.5. Hace alusión a la administración de los puntos de suministro o de abasto de agua. Estos deberán de ser administrados por las comunidades que se benefician del proyecto, los cuales deberán de acogerse a lo que establece la norma en el artículo 338 del Decreto-Ley 2811 de 1974. Deja claro que quien administre un punto de acceso a agua potable deberá hacer partícipe a la comunidad tanto de las

responsabilidades como de los acuerdos para el beneficio de las soluciones alternativas [46].

2.5.3 Resolución 0844 del 8 de noviembre de 2018

En el **capítulo 1 en su artículo 7**. Habla de los requisitos generales para los proyectos en zonas rurales, los cuales deben de ajustarse a lo siguiente [47]:

- Los diferentes componentes de infraestructura, los equipamientos, y los accesorios y dispositivos usados para asegurar la entrega de agua para consumo humano y doméstico o el saneamiento básico, independiente de cual sea el esquema implementado conforma un sistema que debe de operar de manera permanente y eficiente en toda la zona de actuación, respondiendo a sus condiciones particulares.
- Estos sistemas deberán ser planeados, diseñados y construidos conforme a los requisitos técnicos contenidos en esta resolución y en la Resolución 330 de 2017 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio la norma que la modifique, adicione o sustituya, cuando ello aplique.
- Cuando se incluya en el proyecto el uso de sistemas prefabricados, el diseño de fabricación, ensamblaje de sus componentes y su puesta en marcha debe de considerarse como mínimo: las condiciones hidráulicas y sanitarias bajo las cuales va a trabajar, las condiciones geotécnicas específicas del sitio donde será ubicada, y las condiciones estructurales a las que va a ser sometido.
- Cuando en ellos se empleen materiales como fibra de vidrio u otros, estos deberán cumplir con las normas técnicas nacionales o en su defecto con las normas técnicas internacionales.
- Para todos los efectos de esta resolución, los proyectos deben de incluir las viviendas atendidas y los entornos en los que habitualmente transcurre la vida de la comunidad.
- Las viviendas dispersas que no pueden conectarse a los servicios de acueducto o a soluciones colectivas de agua deberán contar con soluciones individuales de agua y de saneamiento básico.

En el **capítulo 3, sección 1, artículo 24** se hace referencia a los tipos de sistemas de agua para consumo humano y doméstico en la zona rural se clasifican en sistemas de acueductos con tecnologías de distribución por redes con conexión domiciliar, y distribución por pila pública; en soluciones alternativas colectivas de agua con tecnologías de abasto y distribución de agua , puntos de suministro y captación de agua; y en

soluciones alternativas individuales especialmente para viviendas dispersas.

Los artículos 25 y 26, hacen alusión a selección de las alternativas de agua para consumo humano y doméstico y cuáles son los criterios de diseño que se deben de tener en cuenta para diseñar los sistemas.

2.5.4. Resolución 0571 del 14 de agosto del 2019

En su capítulo 2 habla del plan de gestión de las personas prestadoras del servicio público domiciliario de acueducto en zonas rurales, donde específicamente en el **artículo 9**, hace alusión al uso de técnicas o dispositivos de tratamiento de agua potable a nivel intradomiciliar, explicando el proceso que debe de seguir una persona prestadora del servicio de acueducto exclusivamente en el área rural para emplear técnicas o dispositivos de tratamiento de agua para asegurar el volumen apto para consumo humano, incluyendo el plan de gestión de acuerdo al numeral 1 del artículo 2.3.7.1.2.2 del Decreto 1075 de 2015 lo siguiente:

- Enunciar las razones técnicas o socioeconómicas que conducen al tratamiento de agua a nivel intradomiciliar, y las condiciones bajo las cuales cesara su empleo.
- Identificar a los suscriptores que serán atendidos con el tratamiento de agua a nivel intradomiciliar, de acuerdo con su catastro de usuarios.
- Establecer la duración del uso de las técnicas o dispositivos de tratamiento de agua a nivel intradomiciliar, con el año estimado de inicio y terminación.
- Establecer los costos de implementación de la técnica o del dispositivo de tratamiento de agua a nivel intradomiciliar, conforme al artículo 35 de la Resolución 844 de 2018 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.
- Identificar las actividades de la persona prestadora para divulgar orientaciones a los usuarios sobre el tratamiento del agua al interior de la vivienda [48].

2.5.5. Reglamento de Básico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).

En su Título J (Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural) se fijan los criterios en ingeniería para el funcionamiento de los sistemas de acueductos en el sector rural para implementar tecnologías y alternativas tecnológicas sostenibles y de bajo costo en todo el país, En el numeral 2 donde se habla de la formulación y diseño de sistemas de acueductos rurales, identifican, justifican y priorizan la necesidad del proyecto, también hace énfasis en los tramites ambientales que se deben de solicitar para la realización de las obras concernientes a agua potable y saneamiento básico [10].

3. Resultados y análisis.

3.1. Alcances y limitaciones de la normativa en materia de sistemas alternativos

Dentro de la normatividad colombiana que aplica para las alternativas de potabilización en los sectores rurales se presentan algunos lineamientos que se deben tener en cuenta a la hora de evaluar la implementación de una alternativa que sea diferente a la convencional, como se presenta a continuación en la tabla 1.

Tabla 1. Lineamientos normativos.

Normatividad	Lineamientos
Resolución 2115 de 2007.	Art. 9, se exponen los límites permisibles para el residual de aluminio, para las sustancias químicas diferentes a las usuales, para el cloro residual, para el sulfato de aluminio y para el uso de polímeros.
Decreto 1898 del 23 de noviembre de 2016	Art. 2.3.7.1.3.1. Hace referencia a la adopción de soluciones alternas en zonas rurales. Art. 2.3.7.1.3.2. Soluciones alternas en las que las zonas rurales deberán de cumplir con condiciones de abasto, almacenamiento, técnicas o dispositivos de tratamiento de agua.
Resolución 0844 del 8 de Noviembre de 2018	Art. 7 Habla de los requisitos generales para los proyectos en zonas rurales, independiente de cual sea el esquema implementado que conforma un sistema se debe de operar de manera permanente y eficiente en toda la zona de actuación. Las viviendas dispersas que no tengan acceso a los servicios de acueducto o a soluciones colectivas de agua deberán contar con soluciones individuales de agua y de saneamiento básico. art.24 hace referencia a los diferentes sistemas y alternativas de potabilización.
Resolución 0571 del 14 de agosto del 2019	Art. 9, hace alusión al uso de técnicas o dispositivos de tratamiento de agua potable a nivel intradomiciliar, de establecer los costos de implementación de la técnica o del dispositivo de tratamiento de agua para su aplicación en las zonas rurales.
Reglamento de Básico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).	Título J, Justificación y priorización del por qué se ha de implementar la técnica alternativa. Se fijan los criterios de ingeniería.

Fuente: elaboración propia (2020).

3.2. Uso potencial de coagulantes alternativos en el territorio nacional.

De los coagulantes alternativos que se analizaron en la realización de este trabajo en la Tabla 2 se compilan los resultados de eficiencia según las fuentes consultadas.

Tabla 2. Coagulantes alternativos.

Coagulante	Eficiencia	Fuente
Moringa Oleífera (<i>Moringácea</i>)	\log_{10} 1.32 NTU.	[18]
	Reducción del 92 % - 99 %	[19]
	-En agua de 5 NTU se redujo en 82%. -En agua con 45 NTU removió turbidez del 76% y 93%.	[20]
Frijol silvestre (<i>Phaseolus Vulgaris</i>)	Reducción del 40% de turbidez.	[21]
Nopal (<i>Opuntia spp</i>)	Reducción del 98%de turbidez	[22]
Haba (<i>Vicia faba L</i>)	En aguas con 20, 45 y 90 NTU.se removió entre 50 y 55%.	[23]

Fuente: Elaboración propia (2020).

Los estudios que se encontraron fueron desarrollados por diferentes autores, los cuales se enfocaron en evaluar la eficiencia de los coagulantes alternativos básicamente elaborados a base de extractos naturales, dentro de estos el más estudiado actualmente es la *Moringa Oleífera* por su alta capacidad de depurar grandes cantidades de agua y por reducir la turbidez en porcentajes cercanos al 100%.

Por su parte, en la tabla 3 se presenta un comparativo entre el proceso de coagulación convencional y procesos de coagulación alternativos a partir de diferentes características.

Tabla 3.Comparación de coagulantes.

Característica	Coagulante Convencional	Coagulante Alternativo
Eficiencia	Reducción del 80% - 90%	Eficiencias de remoción entre 40 a 93%.
Costo	Son costosos debido a que se tratan de compuestos químicos, que en el momento de su fabricación requieren de energía eléctrica y materia lo cual se traduce en sus costos.	Son de bajo costo, ya que permiten la implementación de métodos naturales.

Característica	Coagulante Convencional	Coagulante Alternativo
Asequibilidad	Son de fácil acceso en el mercado.	Dependiendo del coagulante.
Impactos ambientales	Requieren el uso de productos químicos. Generan lodos tóxicos que no pueden ser usados en la agricultura	Son biodegradables.
Efectos a la salud	Se le relaciona enfermedades como el Alzheimer y cáncer	Reducen los microorganismos patógenos susceptibles de producir enfermedades.

Fuente: Elaboración propia (2020).

De lo anterior se puede decir que los coagulantes alternativos cuentan con características que permiten realizar los procesos de remoción de turbiedad del agua, en condiciones similares o superiores a los procesos convencionales; por medio de esto y basados en los estudios analizados, es técnicamente viable que los coagulantes alternativos se implementen en las áreas rurales del territorio nacional colombiano, dado a su fácil manejo, a los costos y a las propiedades que hacen que estos no afecten las condiciones naturales del agua y la salud de las personas (en comparación con los coagulantes convencionales por el uso de productos químicos). Estos coagulantes por ser generalmente a base de extractos naturales tienen condiciones biodegradables, lo cual es favorable para la reducción de residuos contaminantes y adicionalmente puede potenciarse su obtención a partir de cultivos de estas especies vegetales en las zonas rurales (lo que aportaría a su fácil acceso), y según lo que se estipula en decreto 1898 del 23 de noviembre de 2016 y la Resolución 0844 del 8 de Noviembre de 2018 el tratamiento de agua potable se puede hacer bajo técnicas colectivas o individuales en las zonas rurales donde el Ministerio de la Protección Social y la organización mundial para la salud deberán de emitir los estudios técnicos y toxicológicos de las sustancias diferentes a las convencionales.

3.3. Uso potencial de floculantes alternativos en el territorio nacional.

Las alternativas de floculación que se estudiaron en el desarrollo de este trabajo se describen a continuación en la tabla 4.

Tabla 4. Floculantes alternativos.

Floculante	Eficiencia	Fuente
Filtro de fibra	Remoción del 93%.	[25]
Almidón con cloruro férrico	Remoción de turbiedad de 86,5% y 92,4%.	[27]
Tuna (<i>opuntia ficus indica</i>)	Remoción de hasta el 67%	[29]
Moringa Oleífera (<i>Moringácea</i>)	Remoción de turbidez en 96,8%	[26]
Neem (<i>Azadirachta indica</i>)	Remoción del 99,2%	[26]
Maíz (<i>Zea mays</i>)	Remoción del 94,4%	[26]

Fuente: elaboración propia (2020).

A partir de la tabla anterior se puede decir que en los artículos de investigación de los diferentes autores citados para las alternativas en floculación para la potabilización del agua se enfocaron en evaluar las eficiencias para la eliminación de los agentes generadores de la turbidez, de coliformes totales y fecales con floculantes alternativos a base de extractos naturales, con porcentajes superiores al 90%, dentro de estas alternativas se encuentra el filtro de fibra con un porcentaje de porosidad del 93% lo cual lo hace un filtro que cumple con los estándares establecidos en la normatividad para la floculación de 1 NTU. Estas alternativas para la floculación son técnicamente viables para llevarse a cabo en los procesos de potabilización del agua en el sector rural del país ya que son alternativas naturales o alternativas simples que no requieren de personal calificado, no presentan riesgos a la salud y cumplen con efectividad el objetivo que es proporcionar al agua las características de potabilidad necesarias para el consumo humano.

Tabla 5. Comparación de los floculantes.

Característica	Floculante convencional	Floculante alternativo
Eficiencia	80-90%	67-93%
Costo	Son costosos debido a que están compuestos a base de productos químicos.	Son de bajo costo por lo general estos están pensados para ser utilizados en zonas rurales.
Asequibilidad	Son de fácil acceso en el mercado.	Son fáciles de encontrar en el mercado.
Impactos ambientales	Generadores de lodos contaminantes.	Al ser biodegradables favorecen los procesos en la

Característica	Floculante convencional	Floculante alternativo
	Tienen procesos largos de degradación.	reducción de contaminantes.
Efectos a la salud	Generadores de enfermedades respiratorias.	Eliminan sustancias de olor y sabor y patógenos.

Fuente: elaboración propia (2020).

De acuerdo al comparativo realizado en la Tabla 4 se puede decir que aunque los porcentajes de remoción son en general más altos en los floculantes convencionales, los floculantes alternativos logran porcentajes de remoción significativos y esto sumado a que las alternativas floculantes presentan características ambientales favorables, tanto para la salud de las personas como para el mejoramiento del ambiente, los dos métodos se pueden aplicar en las comunidades rurales; pero por los costos y por la dificultad de contar con estructuras sofisticadas en áreas rurales, los floculantes alternativos son la mejor solución para afrontar algunos de los problemas que se evidencian en estas comunidades rurales alejadas, que padecen actualmente una falta de acceso a agua potable en condiciones adecuadas.

3.4. Sedimentación.

Cabe resaltar que la sedimentación es un proceso que no presenta muchas variaciones en cuanto a alternativas que permitan sustituir la sedimentación convencional, dentro de este proceso existen cambios en cuanto al tiempo de la sedimentación (esto por lo general dependiendo del diseño y el tamaño del sedimentador); por esto, en ocasiones este proceso es sustituido por técnicas de filtración ya que para lograr dichas condiciones se requiere de áreas extensas y estructuras que resultarían de alto costo para implementar en zonas rurales. Una posible alternativa que puede reemplazar la sedimentación es la flotación ya que esta al igual que la sedimentación se da por efectos de la gravedad, en las comunidades rurales donde no es posible la implementación de un sistema convencional no es muy probable la implementación de sedimentadores ya que este proceso requiere tanques con estructuras diseñadas para funcionar de forma efectiva y de acuerdo a lo establecido en la Resolución 0844 del 8 de noviembre de 2018, estos sistemas deberán de ser diseñados con el fin de tener un funcionamiento permanente y eficiente, este proceso se puede emplear en comunidades donde se da el abastecimiento de forma colectiva y donde los costos en la inversión sean asumidos por las entidades prestadoras del servicio de agua potable. Adicionalmente como como se expresa en el Decreto 1898 del 23 de noviembre de 2016, que hace referencia a que municipios y distritos son los responsables de

suministrar agua potable y saneamiento básico a las zonas rurales diferentes a los centros poblados.

3.5 Uso potencial de sistemas alternativos de filtración en el territorio nacional.

En la tabla 6 se presenta un consolidado de los sistemas alternativos que sean evaluados para la filtración.

Tabla 6. Filtración alternativa.

Filtro	Eficiencia	Fuente
Biofiltración	Eliminación de patógenos del 100%	[5]
Filtración lenta	Separación de bacterias coliformes totales de 99,4%. Tasa de separación del 96.8%. Reducción de turbidez a 0,5 UNT.	[5]
Filtro de arena lento	Remoción de color 100% de unidades de platino cobalto, turbidez disminuyo 96,4% NTU. La conductividad 266 μ S/cm. acidez 41,6% de CaCO_3 .	[35]
Ultrafiltración con PAC	Remoción de turbiedad a 0,15 NTU. 41% de remoción de índice de permanganato. 46% de carbono orgánico disuelto,	[34]

Fuente: elaboración propia (2020)

Los estudios evaluados sobre sistemas de filtración alternativos mostraron que estos cuentan con eficiencias considerables que permite hacer la separación de los agentes contaminantes del agua; dentro de los cuales, los filtros más utilizados son los de arena lenta, otras alternativas que son consideradas por algunos autores son el Biochar y las tecnologías de membranas.

En la Tabla 7 se presenta un comparativo entre los sistemas de filtración convencionales y los sistemas alternativos.

Tabla 7. Comparación de la filtración.

Característica	Filtración convencional	Filtración alternativa
Eficiencia	90% - 99%	46% - 100%
Costo	Son costosos debido a estructura	Depende de los materiales

Característica	Filtración convencional	Filtración alternativa
Asequibilidad	Se encuentran fácilmente en el mercado.	Se encuentran fácilmente en el mercado.
Impactos ambientales	Consumo excesivo de agua	Ahorradores de agua, evita la generación de residuos.
Efectos a la salud	Reducen sustancias que dejan mal sabor, el agua libre de impurezas es beneficioso para el organismo	Reduce los riesgos de infecciones gastrointestinales

Fuente: elaboración propia (2020).

Teniendo en cuenta lo anterior, las alternativas de filtración estudiadas presentan eficiencias considerables en cuanto a la remoción de las partículas contaminantes. En cuanto a los costos, estos son asequibles (lo que representa un factor de importancia para la implementación en acueductos rurales); respecto al componente ambiental y de efectos a la salud, estos sistemas tienen una viabilidad alta a ser implementados en zonas rurales ya que no requieren de grandes inversiones en estructura y presentan una buena reducción de riesgos por infecciones gastrointestinales. La normatividad hace énfasis en que los sistemas alternativos cumplan con los lineamientos en cuanto a la calidad del agua, presten un buen servicio y en que su implementación se debe de justificar por requerimientos de acceso de agua cuando no se cuentan con sistemas convencionales.

3.6. Uso potencial de desinfectantes alternativos en el territorio nacional

Los desinfectantes alternativos que se evaluaron en este trabajo se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Desinfectantes alternativos.

Desinfectante	Eficiencia	Fuente
Destilador de agua solar	100%	[42]
Cloración	100%	[7]
Ozonización	100%	[7]
Rayos ultravioleta	99%	[7]
Plata coloidal	99%	[7]
Yodo	99%	[7]

Fuente: elaboración propia (2020).

La desinfección del agua es uno de los procesos más importantes en el tratamiento del agua potable, donde el cloro ha sido la principal sustancia aplicada para el proceso, como alternativas diferentes se encuentran los desinfectantes que se enunciaron en la tabla anterior,

aunque la variación en cuanto a la eficiencia de las alternativas de desinfección no varía mucho dado a que este genera agentes activos que permitan prevenir el crecimiento de microorganismos que incidan en la contaminación del agua se han presentado críticas al uso de ciertos compuestos por los efectos adversos en la salud y los ecosistemas que su presencia representa.

En la Tabla 9 se presenta un comparativo entre algunas características evaluadas para los sistemas convencionales y los sistemas alternativos de desinfección.

Tabla 9. Comparación de desinfectantes.

Característica	Desinfección Convencional	Desinfección Alternativa
Eficiencia	100%	100%
Costo	Económico	Son asequibles en el mercado.
Dosis	Entre 0,3 y 2,0 mg/L	2%
Impactos ambientales	Alto consumo de agua	Reduce el consumo de agua, no producen residuos, baja toxicidad.
Efectos en la salud	Efecto irritante en ojos y piel, agrede al sistema respiratorio.	Protege el agua contra los gérmenes y lucha contra las enfermedades que estos generan.

Fuente: elaboración propia (2020).

De la comparación anterior se puede evidenciar que tanto los desinfectantes convencionales como los desinfectantes alternativos cumplen la función de desinfectar el agua con eficiencias cercanas al 100%, permitiendo, estos últimos, reducir los agentes patógenos que tienen efecto en la salud de las personas, y reduciendo la toxicidad ambiental de los residuos que se generan en la práctica ya que por lo general estos impactos están ligados al proceso de potabilización de agua para consumo. Los desinfectantes evaluados se encuentran regulados bajo la normatividad colombiana (Resolución 2115 del 2007); lo que hace posible que estos procesos de desinfección, mediante estas alternativas, sean posibles en las zonas rurales del territorio nacional debido a su fácil acceso en el mercado, haciendo de éstos, unos productos de alto potencial para implementarlos en dichas zonas.

En el caso del destilador solar, se debe de implementar un sistema que cuente con varios materiales, los cuales se ven reflejados en los costos (lo que puede limitar su amplia utilización en estas zonas), pero es una alternativa viable en aquellas poblaciones donde se pueda pagar el costo inicial de implementación, ya que permite el ahorro del agua mediante la recolección de agua lluvia. Este método, al igual que los demás desinfectantes, es una alternativa que se puede emplear

en las áreas rurales dado a que no requieren de grandes estructuras convencionales para poder realizar el proceso de desinfección de manera individual y colectiva.

4. Conclusiones.

Durante el desarrollo de este trabajo se evaluaron diferentes técnicas alternativas que existen como métodos para la potabilización del agua, diferentes a las empleadas en el método convencional, evidenciando que es de vital importancia comprender los sistemas y procesos que se desarrollan en diferentes lugares del mundo, garantizando de esta manera que estas alternativas sean una solución que permite hacer los procesos adecuados, y de forma segura, para el tratamiento del agua potable en las comunidades rurales donde es difícil el acceso al agua potable por sus falencias técnicas y económicas.

Dentro de la normatividad Colombia se encuentran Decretos y Resoluciones que permiten hacer un uso diferencial en cuanto a la prestación y el servicio de agua potable y a la implementación colectiva e individual de alternativas dando vía al abastecimiento del agua potable en condiciones similares a las sistemas convencionales, algunas de estas normas están estrictamente dirigidas al uso, infraestructura, alternativas y sistemas de potabilización con sistemas, diseños, y límites para la calidad del agua que permitan que estas comunidades tengan el servicio de agua potable de manera segura, controlada y regulada por la normatividad aplicable.

Por lo anterior, se determinó que las técnicas alternativas analizadas durante el desarrollo de este trabajo cuentan con las condiciones tanto normativas como de factibilidad en cuanto a los requerimientos que se necesitan para que el agua cuente con las condiciones de agua potable en las zonas rurales del país, haciéndolas una alternativa con gran potencial para disminuir la brecha en el acceso a este recurso que actualmente se tiene en estas zonas alejadas de las cabeceras municipales.

5. Agradecimientos.

La realización de esta investigación se la dedico principalmente a Dios, por darme la fuerza para continuar en este proceso para obtener uno de los logros más anhelados. A mis padres, por su amor, dedicación, sacrificio y trabajo durante todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí, "GRACIAS POR SER LOS MEJORES PADRES", a todas las personas que estuvieron brindando motivación y apoyo incondicional, a los docentes por sus conocimientos y paciencia, a mi asesor por guiarme de la mejor manera en el desarrollo de esta investigación y a mis compañeros por todo lo vivido durante este tiempo, a la Corporación para la Educación Superior por brindarme esta oportunidad de crecer.

6. Referencias

- [1] L. F. Tello, «El acceso al agua potable, ¿un derecho humano?,» *Instituto de investigaciones jurídicas*, pp. 101-123, 2008.
- [2] Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura, «No dejar a nadie atrás,» UNESCO, Paris, 2019.
- [3] J. P. C. Moncada y G. Valencia, «Comunidades organizadas y el servicio público de agua potable en Colombia: una defensa de la tercera opción económica desde la teoría de recursos de uso común,» *Ecos de Economía*, vol. 17, nº 37, Diciembre 2013.
- [4] L. M. Céspedes y E. Prieto, «La visión del acuerdo de paz sobre el abastecimiento del agua en el medio rural,» de *Utopía de oportuna fallida: Análisis crítico del acuerdo de paz*, Bogota, Universidad del Rosario, 2017, p. 392.
- [5] A. Arango, «La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua.,» *revista la sallista de investigación*, vol. 1, nº 2, pp. 61-66, julio-diciembre 2004.
- [6] C. Diaz, D. Garcia y C. Solis, «Abastecimiento de aguas potable para pequeñas comunidades rurales por medio de un sistema de coleccion de lluvia- planta potabilizadora,» *CIENCIA ergo sum*, vol. 7, nº 2, pp. 129-134, Julio 2000.
- [7] Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, colombia, *Titulo C, Reglamento tecnico del sector de agua potable y saneamiento basico-RAS*, C. y. T. Ministerio de Vivienda, Ed., Bogota, 2010.
- [8] Naciones Unidas, «Cuestiones sustantivas que se plantean en la aplicación del pacto internacional de derechos economicos, sociales y culturales,» Ginebra, 2002.
- [9] «ACUATECNICA S.A.S.» 15 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://acuatecnica.com/caracteristicas-las-plantas-tratamiento-agua-potable-convencionales/>.
- [10] Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, *TÍTULO J Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural*, Bogota, 2010.
- [11] Barrios, Torrez, Lampoglia y A. Pittan, «Guía de orientación en saneamiento básico para alcaldías de municipios,» Organización Panamericana para la Salud, 2009.
- [12] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Titulo B, Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Basico-RAS*, Bogota: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2010.
- [13] C. Vargas , E. Romero y E. Guillermo, «Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica,» *Tecnología en Marcha.*, vol. 19, nº 4, pp. 37-41, 2006.
- [14] J. Arboleda, «Teoría y Práctica de la Purificación del Agua,» vol. 1, p. 390, 2000.
- [15] B. Pomalaza, S. Fannie, R. Mashyory y R. Victoria, «Optimización del método de coagulación-floculación para la remoción de arsénico de fuentes de agua potable empleando sulfato de aluminio tipo A.,» 2016. [En línea]. Available: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/3759>.
- [16] N. C. Chulluncuy, «Tratamiento de agua para consumo humano,» *Ingeniería industrial*, nº 29, pp. 153-170, 2011.

- [17] Comision Nacional del Agua, «Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento,» Diciembre 2007. [En línea].
- [18] F. Kweku y A. Benang, «Effectiveness of Moringa Oleifera seed as coagulant for water purification,» *African Journal of Agricultural Research*, vol. 4, n° 1, pp. 119-123, 19 Enero 2009.
- [19] S. Jahn, «Using Moriga Seeds as Coagulants in Developing Countries,» *Journal AWWA*, pp. 43-50, 1988.
- [20] M. Pritchard, T. Craven, T. Mkandawire, A. Edmondson y J. O' neil, «A comparison between Moringa Oleifera and chemical coagulants in the purification of drinking water-An alternative sustainable solution for developing countries,» *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vol. 35, n° 13-14, pp. 798-805, 2010.
- [21] M. G. Antov, M. B. Sciban, S. R. Adamovic y M. T. Klasnja, «Investigation of isolation conditions and ion-exchange purification of protein coagulation components from common bean seed,» *Acta periodica technologica*, n° 38, pp. 3-10, 2007.
- [22] S. M. Miller, E. J. Fugate, V. O. Craver, J. A. Smith y J. B. Zimmerman, «Toward understanding the efficacy and mechanism of Opuntia spp. as a natural coagulant for potential application in water treatment,» *Environmental science & technology*, vol. 42, n° 12, pp. 4274-4279, 2008.
- [23] D. V. Kukic, M. B. Sciban, J. M. Prodanovic, A. N. Tepic y M. A. Vasic, «Extracts of fava bean (Vicia faba L.) seeds as natural coagulants,» *Ecological engineering*, vol. 84, pp. 229-232, 2015.
- [24] S. Y. Choy, K. N. Prasad, T. Y. Wu, M. E. Raghunandan y R. N. Ramanan, «Performance of conventional starches as natural coagulants for turbidity removal,» *Ecological engineering*, vol. 94, pp. 352-364, 2016.
- [25] J. Lee, J. H. Cha, R. Ben, K. B. Han y C. W. Kim, «Fiber filter as an alternative to the process of flocculation-sedimentation for water treatment,» *Desalination*, vol. 231, pp. 323-331, 2008.
- [26] S. E. Aguirre, N. V. Piraneque y R. K. Cruz, «Sustancias naturales: alternativa para el tratamiento de agua del rio Magdalena en Palermo, Colombia,» *Informacion Tecnologica*, vol. 29, n° 3, pp. 59-79, 2018.
- [27] T. Shahriari, B. G. NABI, G. BIDHENDI y S. Shahriari, «Evaluating the efficiency of plantago ovata and starch in water turbidity removal,» *International journal of environmental research*, vol. 6, n° 1, pp. 259-264, 2012.
- [28] M. MAJZOUBI, M. Radi, A. FARAHNAKI, J. Jamalian y T. Tongdang, «Physico-chemical properties of phosphoryl chloride cross-linked wheat starch,» *IRANIAN POLYMER JOURNAL*, vol. 18, n° 6108, pp. 491-499, 2009.
- [29] M. C. Castellanos, N. Becerra, L. Carreño y L. P. Paez, «Estudio comparativo de la acción coagulante-floculante del mucilago de opuntia ficus indica por los métodos: coagulación y electrocoagulación en los lixiviados del relleno sanitario pargua de tunja,» *AIDIS de ingeniería y ciencias ambientales*, vol. 5, n° 1, pp. 44-55, 2012.
- [30] N. Shammas, I. J. Kumar, S. Chang y Y. Hung, «Sedimentation,» *Handbook of Environmental Engineering*, vol. 3, pp. 379-429.
- [31] J. K. Edzwald, D. Q. Bunker, J. Dahlquist, L. Gillberg y T. Hedberg, «Dissolver air flotation: pretreatment and comparisons to sedimentation,» *In Chemical Water and Wastewater Treatment*, vol. 3, pp. 3-18, 1994.
- [32] J. Cordoba, R. Acosta, J. Pacheco y C. Ramirez, «Recopilación de experiencias en la potabilización del agua por medio del uso de filtros,» *INVENTUM*, vol. 11, n° 20, pp. 53-60, 27 Marzo 2016.
- [33] M. Espinosa y S. Vasquez, «Evaluación de biofiltros de arena como sistemas de desinfección unifamiliares en comunidades rurales,» Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Mexico, 2011.
- [34] X. Sheng-ji, L. Ya-nan, L. Xing y Y. Juan-juan, «Drinking water production by ultrafiltration of Songhuajiang River with PAC adsorption,» *Journal of Environmental Sciences*, vol. 19, n° 5, pp. 536-539, 2007.
- [35] C. Torres y S. Villanueva, «El filtro de arena lento: Manual para el armado, instalación y monitoreo,» 2014. [En línea]. Available: <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/4457>.
- [36] J. M. Arnal, B. Garcia, M. Sancho, J. Lora y G. Verdu, «Water potabilization in developing countries: membrane technology and natural coagulants,» *Desalination*, vol. 200, pp. 325-326, 6 Marzo 2006.
- [37] J. M. Arnal, M. Sancho, G. Verdu, J. Lora, J. M. Gonzales, J. Ibañez, I. Febrer y I. Terrades, «Design and construction of a water potabilization membrane facility and its application to the third world countries. Preliminary tests,» *Desalination*, vol. 145, n° 1-3, pp. 305-308, 10 Septiembre 2002.
- [38] W. Gwenzi, «Biochar-Based Filters: A Frugal Technology for Drinking Water Supply in Developing Countries?,» *Self-reliance in safe drinking water provision in Africa. Africa & Science (In Revision)*, pp. 1-15, 2018.
- [39] I. Mandu y E. Dickenson, «The potential role of biochar in the removal of organic and microbial contaminants from potable and reuse water: A review,» *Chemosphere*, vol. 134, pp. 232-240, 2015.
- [40] I. Chinappi, «Destilador de agua solar: alternativa para potabilizar agua en zonas rurales. determinación de costos,» *ACADEMIA*, vol. V, n° 11, pp. 70-76, enero 2007.
- [41] J. C. Torchia, M. A. Porta y J. G. Cervantes, «Análisis de exergía en estado permanente de un destilador solar simple,» *Ingeniería, investigación y tecnología*, vol. 11, n° 1, pp. 25-34, Enero-Marzo 2010.
- [42] I. Garrido, D. S. Fernández y V. Storac, «Evaluación del método "SODIS" en la desinfección del agua para abastecimiento en La Guadalupe, Chirgua, municipio Bejuma del estado Crabobo,» *INGENIERÍA UC*, vol. 20, n° 2, pp. 29-38, 2013.
- [43] J. Castrillon y D. Hincapie, «Potabilizar agua con energía solar, una alternativa para las comunidades más alejadas de los centros urbanos,» *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, vol. 4, n° 6, pp. 121-132, ABRIL 2012.
- [44] D. Z. Alessia, M. Prisciandaro y B. Diego, «Desinfección of surface waters with UF membranes,» *Desalination*, vol. 179, pp. 297-305, 2005.
- [45] Ministerio de la Protección Social, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, *Resolución 2115 de 2007*, Bogotá, 2007.
- [46] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Decreto 1898 Del 23 de Noviembre de 2016*, Bogotá, 2016.

- [47] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Resolucion 0844 del 8 de Noviembre de 2018*, Bogota, 2018.
- [48] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, *Resolucion 0571 del 14 de Agosto del 2019*, Bogota, 2019.