



EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE BAJO COSTO Y FÁCIL IMPLEMENTACIÓN  
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA VEREDA RÍO BLANCO EN  
EL MUNICIPIO DE GUTIÉRREZ CUNDINAMARCA.

Luis Eduardo Rodríguez Depablos

Código 11231527913

Johan Sebastián Morales Riveros

Código 11231623110

Universidad Antonio Nariño

Facultad de ingeniería ambiental y civil

Programa de ingeniería ambiental

Ciudad, Colombia

2021



EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE BAJO COSTO Y FÁCIL IMPLEMENTACIÓN  
PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE EN LA VEREDA RÍO BLANCO EN  
EL MUNICIPIO DE GUTIÉRREZ CUNDINAMARCA.

Luis Eduardo Rodríguez Depablos

Johan Sebastián Morales Riveros

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero ambiental

Director (a):

Ing, Esp, Msc

Luis Raúl Echeverry Barreto

Línea de Investigación:

Proyecto de investigación

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería ambiental y civil

Programa Ingeniería ambiental

Ciudad, Colombia

2021

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

El trabajo de grado titulado  
\_\_\_\_\_, Cumple  
con los requisitos para optar  
Al título de \_\_\_\_\_.

\_\_\_\_\_

Firma del Tutor

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

\_\_\_\_\_

Firma Jurado

## Contenido

	<b>pág.</b>
1. Resumen .....	9
2. Abstract.....	10
3. Introducción.....	11
4. Antecedentes.....	12
5. Objetivos.....	14
5.1 Objetivo general .....	14
5.2 Objetivos específicos.....	14
6. Justificación .....	15
7. Marco conceptual .....	16
7.2 Cobertura de acueductos en Colombia.....	17
7.3 Evaluación del recurso hídrico.....	18
7.4 Índice de calidad de agua en corrientes superficiales ICA .....	18
7.5 Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano IRCA.....	19
7.6 Calculo del IRCA.....	20
7.7 Índice variación de concentración de sedimentos en suspensión .....	21
7.8 Tratamiento de agua.....	21
7.10 Uso de bio floculantes en el tratamiento de agua potable.....	25
7.11 Sistemas de filtración analizados .....	26
7.11.2 Filtro lento de arena.....	28
7.11.3 filtros de cerámica .....	28
7.11.4 Filtro de la vela.....	29
7.11.5 Filtro de carbón activado.....	30
7.12 Nanos materiales para la purificación de agua potable.....	31
7.12.1 Uso de nano partículas de óxido de titanio TiO <sub>2</sub> .....	33
7.12.2 Uso de nano partículas de óxido de zinc.....	34
7.12.3 Uso de nano partículas de hierro para la purificación de agua .....	34
7.13 Desinfección solar convencional SODIS .....	35
7.14 Información general Municipio de Gutiérrez .....	36



8. Marco normativo .....	38
8.1 Resolución 2115 del 22 de junio del 2007.....	38
8.2 Capítulo 2 Características físicas y químicas del agua para el consumo humano .....	38
9. Diagrama de la metodología.....	39
.....	39
10. Metodología.....	40
10.1 Identificación de la zona de estudio .....	40
10.2 Diagnóstico de las alternativas consultadas .....	40
10.3 Evaluación de las alternativas .....	40
10.4 Selección de la alternativa o alternativas .....	41
11. Estado de conocimiento .....	42
11.1 Caso de estudio: Eficacia de la mezcla de nopal y almidón de yuca como sustancias clarificantes en la purificación del agua.....	42
11.2 Preparación del coagulante.....	43
12. Caso de estudio: Comparación entre la Moringa oleífera y los coagulantes químicos en la purificación del agua potable .....	46
13. Caso de estudio 3 <i>Aspergillus Oryzae</i> , un nuevo bio floculante fúngico ecológico para el tratamiento de aguas potables turbias .....	50
14. Caso de estudio: Actividad antibacteriana de nano partículas de plata y zinc contra <i>Vibrio cholerae</i> y <i>Escherichia coli</i> entero tóxica .....	52
15. Caso de estudio: Depuración de aguas contaminadas por petrolíferos por medio de filtros de cerámica mediante filtros de ceniza modificados con cascara de arroz .....	54
16. Caso de estudio de la calidad bacteriológica del agua de lluvia recogida en los tejados y evaluación de SODIS como tecnología de tratamiento adecuada en el África rural subsahariana.....	56
17. Desarrollo de una estrategia de funcionamiento económico para reactores de desinfección UV multi lámpara en sistemas de suministro de agua.....	57
18. RESULTADOS.....	59
19. EVALUACION DE ALTERNATIVAS.....	60
19.1 Escala de puntuación.....	60
20. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	61
21. Recomendaciones .....	64
22. Conclusiones .....	65
23. Anexos .....	67

24.	Referencias Bibliográficas .....	68
-----	----------------------------------	----

### Lista de Figuras

	Pág.
<b>Figura 1</b> <i>interacción de coloides con el coagulante</i> .....	24
<b>Figura 2</b> <i>Productos comerciales de mano materiales</i> .....	31
<b>Figura 3</b> <i>Ubicación geográfica de Gutiérrez</i> .....	38
<b>Figura 4</b> <i>Etapas de la investigación</i> .....	39
<b>Figura 5</b> <i>Equipo de tratamiento (TA-scale FQ-005/PE)</i> .....	42
<b>Figura 6</b> <i>Diagrama de flujo preparación del coagulante de nopal</i> .....	43
<b>Figura 7</b> <i>Etapas para la producción de la planta M oleifera</i> .....	46
<b>Figura 8</b> <i>Reducción de turbidez y e-coli respecto a la concentración de M oleifera</i> .....	47
<b>Figura 9</b> <i>Eficiencia de M Oleífera con respecto a la muestra control</i> .....	48
<b>Figura 10</b> <i>Concentración requerida de cada uno de los coagulantes analizados</i> .....	49
<b>Figura 11</b> <i>Diámetros de los gránulos del hongo Aspergillus oryzae.</i> .....	50
<b>Figura 12</b> <i>Cifras relevantes Hongo A. Oryzae</i> .....	51

### Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1</b> Clasificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA.....	18
<b>Tabla 2</b> Puntaje de riesgo .....	19
<b>Tabla 3</b> <i>Sistemas de filtración usados actualmente</i> .....	30
<b>Tabla 4</b> <i>Mecanismos antimicrobianos de los nano materiales para la purificación del agua</i> .....	32
<b>Tabla 5</b> <i>características físicas y químicas</i> .....	38
<b>Tabla 6</b> <i>Rendimiento de M. oleifera y férrico en agua de río de baja turbidez</i> .....	48
<b>Tabla 7</b> <i>Dimensiones de los filtros de vela</i> .....	55



### Lista de ecuaciones

<b>Ecuación 1</b> <i>Porcentaje IRCA</i> .....	20
<b>Ecuación 2</b> <i>Calculo indicador de evaluación</i> .....	41





## 1. Resumen

La mayor parte de las zonas rurales en el planeta no cuentan con el servicio al agua potable por lo tanto es indispensable la búsqueda de nuevas alternativas con el fin de solucionar dicho problema, la presente investigación se basó en la búsqueda de alternativas o metodologías de bajo costo y que sean fáciles a la hora de implementar, concentrándonos en la vereda Rio Blanco perteneciente al municipio de Gutiérrez Cundinamarca, estas alternativas fueron evaluadas teniendo en cuenta aspectos como eficiencia de remoción del contaminante, costos en su implementación, posibles ventajas y desventajas, su vida útil y el acceso a ella. De acuerdo a su calificación procedemos a la selección de la alternativa o alternativas más adecuadas a la hora de poner en práctica.

**PALABRAS CLAVE:** Agua potable, metodologías, eficiencia de remoción, alternativas.



## 2. Abstract

Most of the rural areas in the world do not have drinking water service, therefore it is essential to search for new alternatives in order to solve this problem, this research was based on the search for alternatives or low cost methodologies that are easy to implement, concentrating on the Rio Blanco village belonging to the municipality of Gutiérrez Cundinamarca, these alternatives were evaluated taking into account aspects such as contaminant removal efficiency, costs in its implementation, possible advantages and disadvantages, its useful life and access to it. According to their qualification, we proceed to the selection of the most adequate alternative or alternatives to be implemented.

**Keywords:** Drinking water, methodologies, removal efficiency, alternatives.



### **3. Introducción**

El agua es primordial para el ser humano por lo que el cuidado y el tratamiento de las fuentes hídricas para consumo deben contar con las mejores condiciones tanto físicas como químicas. En la actualidad contamos con múltiples tecnologías para su tratamiento, tecnologías que son de altos costos, los cuales están relacionados con la infra estructura y productos químicos en cada una de las operaciones utilizadas, razón por la cual la mayor parte de las zonas rurales no tienen la posibilidad de acceder a agua de calidad.

Teniendo en cuenta el cumplimiento de parámetros como turbidez, color y sabor. Se debe considerar tratamientos físico químicos, como la coagulación y floculación, en vista de que las aguas naturales raramente cumplen con la calidad adecuada para ser consumidas.

Esta investigación se concentra en la búsqueda de diferentes alternativas con el propósito de perfeccionar la calidad de agua específicamente en las zonas rurales contemplando diferentes alternativas como por ejemplo usar coagulantes y floculantes naturales a base de plantas, para el tratamiento de aguas con altos valores de turbiedad (Sanghi et al. 2002). La implementación de componentes naturales que nos permita valorar y seleccionar la mejor técnica de purificación de agua para el consumo y que no se generen costos elevados.



Debido a la preocupación que se tiene en la actualidad con respecto a la contaminación del agua y los altos costos que conlleva tratar las fuentes por métodos industrializados convencionales.

#### **4. Antecedentes**

En los últimos 10 años la cobertura de acueducto en el país reconoce una mejora de 79.7% para 1993 a 86.1% en el 2003. (UNICEF, 2016), Este aumento se enfoca principalmente en las zonas rurales donde aún existen grietas relevantes en comparación a los sistemas de distribución de las zonas urbanas. Todavía hay una extensa travesía para que todos los habitantes del territorio nacional se beneficien con el servicio de agua potable, tal como lo manifiesta el departamento nacional de planeación DPN de 708 municipios del país el 65% de estos no cuentan con el suministro de agua potable.

Según la Constitución Política de Colombia 1991 en su capítulo IV inciso 4 Modificado. A.L. 4/2007, artículo 1º se establece que una de las finalidades principales del estado es garantizar el cubrimiento de las necesidades básicas, dando prioridad a diversos servicios como los servicios públicos domiciliarios de agua potable y saneamiento básico, para garantizar una cobertura total del territorio nacional y beneficiando a las poblaciones más vulnerables.

Este servicio es considerado un derecho indispensable para la humanidad, por lo tanto, es necesario garantizar el abastecimiento de agua óptima para el consumo humano ya que en promedio una persona debe consumir entre 1,5 y 2 litros de agua al día, por lo que es importante que el suministro de agua potable sea de calidad y constante (UNICEF, 2016).



Para el caso de Gutiérrez Cundinamarca, que se caracteriza por sus abundantes fuentes hídricas y el agua captada proviene de dos afluentes conocidos con los nombres de quebradas El Playón, ubicada en la vereda El Cedral a una altura de 2621 M.S.N.M. y la segunda captación ubicada en un nacedero en la vereda La Reina a una altura de 2682 M.S.N.M. Sin embargo, la prestación del servicio de agua potable no abarca una cobertura del 100%, solamente se proporciona el servicio a 338 suscriptores los cuales pertenecen al sector urbano evidenciando que en el área rural no se presta el servicio, por lo tanto se deben indagar e investigar algunas metodologías que aporten a la mejora de la calidad del agua ayudando a los habitantes de la vereda Rio Blanco y cumpliendo con uno de los objetivos del desarrollo sostenible (agua limpia y saneamiento para todos).



## **5. Objetivos**

### **5.1 Objetivo general**

Analizar las distintas metodologías de bajo costo y fácil implementación para la potabilización del agua, en la vereda Río Blanco.

### **5.2 Objetivos específicos**

- Consultar e investigar las diferentes técnicas, métodos y procedimientos para el tratamiento de agua potable fácil de implementar y de bajo costo
- Evaluar la eficiencia de cada uno de las alternativas o procesos consultados con los que se lleva a cabo la purificación del agua para el uso doméstico
- Determinar por medio de la información compilada la alternativa que más se adapte en la vereda Río Blanco para el tratamiento de agua óptima para el consumo.



## **6. Justificación**

La Organización Mundial de la Salud informa que aproximadamente 2.200 millones de habitantes en todo el mundo no cuentan con servicios de agua de calidad tramitados de modo seguro. Tal es el caso del municipio de Gutiérrez el cual se encuentra conformado por 19 veredas según el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en el año 2005, resaltando la vereda río blanco ubicada a 23 km del casco urbano.

El esquema de ordenamiento territorial del municipio indica que el cubrimiento del sistema de abastecimiento de agua apta para el consumo en el sector rural es de aproximadamente el 68% de la población total, con un número de 1912 habitantes. Por lo tanto, es necesario fortalecer el servicio de agua potable en el sector rural. (Esquema Ordenamiento Territorial - Alcaldía Municipal de Gutiérrez, Cundinamarca, 2010). Mediante la búsqueda de alternativas o procedimientos para contribuir a la mejora de las características de agua potable en la vereda.



## 7. Marco conceptual

El agua se debe considerar como el núcleo del desarrollo sostenible y recurso indispensable para el crecimiento socio-económico. (Decenio Internacional Para La Acción “El Agua, Fuente de Vida”. Área Temática: Agua y Desarrollo Sostenible, 2015). Sin embargo, cuando se habla del saneamiento básico y acceso al agua potable a nivel global, millones de personas de las cuales la mayor proporción pertenecen al sector rural, no cuentan con estos servicios básicos. A nivel mundial, uno de cada tres habitantes no tiene acceso a agua potable, y dos de cada cinco personas no disponen de una instalación básica para el lavado de manos (Organización de las Naciones Unidas (ONU), 2015)

Es por esto que contar con agua potable, saneamiento e higiene, es considerado un derecho fundamental para el ser humano, no obstante, en la actualidad muchas personas se ven enfrentadas a diversas adversidades con el fin de obtener dichos servicios básicos, ya que la falta de agua perjudica a más del 40% de la población mundial. (ONU, 2015). Este porcentaje puede aumentar alcanzando el 80%.

Es por esto que, la Organización de Naciones Unidas prioriza dentro de sus objetivos asegurar la gestión sostenible y la reserva del recurso, con el propósito de beneficiar aproximadamente 800 millones de habitantes en el mundo que presentan insuficiencia en el acceso de servicios básicos (PNUD, (agosto 24, 2021)).





## 7.2 Cobertura de acueductos en Colombia

La carta magna de la república de Colombia le da prioridad a la respuesta de las necesidades básicas con las que debe contar cualquier poblador colombiano, entre ellas encontramos el servicio de agua libre de impurezas el cual debe ser acorde a los lineamientos establecidos por la normativa para el suministro de agua potable y así dar solución de las necesidades básicas insatisfechas. El acceso a agua de calidad es necesario para evitar casos de enfermedades como la diarrea, entre otras enfermedades que puedan ser producidas por patógenos. En promedio una persona debe tomar aproximadamente 1,5 y 2 L de agua diaria, esto con el fin de evitar posibles enfermedades por eso es importante que el agua se encuentre de la mejor calidad posible (UNICEF, 2016).

Sin embargo 156 municipios informan en sus planes coberturas menores a las requeridas, permitiendo deducir que una gran parte de la población no cuenta con el acceso al servicio de acueducto. Estas entidades territoriales responsables deben contemplar un registro catastral actualizado con el fin de diagnosticar cuántas viviendas poseen o no cobertura del servicio, si el hogar no cuenta con el servicio se deben realizar las medidas necesarias para extender las coberturas a todos los habitantes (UNICEF, 2016).

Según la Ley 142 de 1994, sanciona que las administraciones municipales son la entidad responsable de suministrar el servicio de agua potable de manera directa



siempre y cuando las características técnicas, económicas del servicio y los acuerdos generales lo permitan.

### 7.3 Evaluación del recurso hídrico

Para interpretar el estado actual frente a la calidad y proporción de agua en el territorio nacional se desarrolló el sistema de indicadores del líquido los cuales intentan resolver las dudas en cuanto la oferta y calidad del recurso, estos índices se encuentran adjuntos al régimen natural (Ambientales, 2009), siendo necesario el monitoreo periódico que soporte la identificación de cambios en la calidad del recurso (Castro et al., 2014).

### 7.4 Índice de calidad de agua en corrientes superficiales ICA

El ICA es una cuantificación en donde sus valores oscilan entre 0 y 1, indicando el nivel del estado en la calidad del afluente y sus posibles problemas que se obtienen en cada uno de los parámetros físico-químicos (IDEAM, 2011), tales como: materia orgánica, oxígeno disponible, sólidos, acidez, y características claves de la columna de agua como la temperatura entre otros (Castro et al., 2014).

**Tabla 1** Clasificación de la calidad del agua según los valores que tome el ICA

Categorías de valores que puede tomar el indicador	Calificación	Indicio de alerta
0,00 – 0,25	Muy mala	Rojo
0,26 – 0,50	Mala	Naranja
0,51 – 0,70	Regular	Amarillo
0,71 – 0,90	Aceptable	Verde
0,91 – 1,00	Buena	Azul

Nota: Datos tomados del IDEAM (2009).



En la tabla 1 se puede observar la relación que existe entre los valores y la posible calificación que puede tomar el indicador, permitiendo organizar en categorías de calidad del agua y que son utilizadas mediante un color como señal de alerta (IDEAM, 2011).

### 7.5 Índice de riesgo de la calidad del agua para consumo humano IRCA

Es un indicador estipulado en la resolución 2115 de 2007, en su capítulo 4, de los instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para el consumo humano, en donde se establece los valores de amenaza que se observa en la tabla 2 a cada uno de las variables químico y físicas, microbiológicas, al no cumplir con los valores máximos permisibles de dicha normativa.

**Tabla 2** *Indicadores de amenaza*

Características	Puntajes
Color aparente	6
Turbiedad	15
pH	1,5
Alcalinidad total	1
Calcio	1
Fosfatos	1
Manganeso	1
Molibdeno	1
Magnesio	1
Zinc	1



Dureza total	1
Sulfatos	1
Cloruros	1
Nitratos	1
Nitritos	3
Aluminio ( $Al^{+3}$ )	3
Fluoruros	1
COT	3
Coliformes totales	15
Escherichia coli	25
Sumatoria de puntajes asignados	100

---

Nota: datos tomados a partir de la resolución 2115 de 2007 – capítulo 4. art 13

El valor de IRCA es cero en el momento que cumpla con los parámetros de calidad para cada uno de los parámetros permisibles para cada uno de los atributos físicos, químicos y microbiológicos de la resolución 2115 del 2007.

### 7.6 Calculo del IRCA

Se determina por medio de una media ponderada, donde los puntajes de riesgo son proporcionados a cada parámetro físico, químico, y microbiológico conforme la tabla 2 y empleando la ecuación 1 (Ministerio de la protección social, 2007).

#### **Ecuación 1** *Porcentaje IRCA*

$$IRCA(\%) = \frac{\sum \text{puntajes de riesgo asignado a las características no aceptables}}{\sum \text{puntajes de riesgo asignados a todas las características asignadas}} * 100$$



En el numerador es la sumatoria de puntajes atribuidos a cada parámetro cuando se incumple con la normativa, y en el denominador ubicamos las sumatorias de todas las muestras analizadas.

### **7.7 Índice variación de concentración de sedimentos en suspensión**

Éste interpreta las alteraciones relacionadas con la actuación de la cantidad de sedimentos que se encuentren suspendidos de la fuente hídrica a lo largo del tiempo, cuando se mencionan sedimentos en suspensión, éstos representan a la proporción de partículas finas que se encuentran en suspensión como lo son las arenas, limos y arcillas (IDEAM, Sinchi, Iavh, IIAL, 2007).

Una de las causas relacionadas con el aumento de la concentración del material suspendido en los ríos se encuentra ligada con las lluvias atribuidas a la deforestación y al cambio de la cobertura vegetal (cita), ya que ésta genera distintas cargas de sólidos suspendidos denominada carga de lavado (IDEAM, Sinchi, Iavh, IIAL, 2007).

### **7.8 Tratamiento de agua**

El agua se considera esencial para el ser humano por tal motivo hay que analizar y tratar las impurezas que las fuentes hídricas traen a su paso. Se considera un agua no apta cuando sus características organolépticas no cumplen con la normativa vigente para agua potable (resolución 2115 del año 2007) donde se dictan los



estándares de calidad y los lineamientos máximos permisibles para que pueda ser consumida.

El suministro al agua de calidad se considera en la actualidad como uno de los desafíos pertinentes (OMS,2019). De los siete mil millones de habitantes en todo el mundo, alrededor del 15% no tienen suficiente acceso al agua potable.

Aproximadamente 5.000 niños mueren diariamente de diarrea debido a problemas sanitarios relacionados con el consumo de agua (OMS,2019).

El déficit de agua y la grave afectación del recurso hídrico se han evidenciado en la mayoría de las regiones del mundo (Lawrence et al., 2004; Prasad & P.G. Vinod, 1952). Países como lo es India se ubican en la lista de los principales países sin acceso al agua potable. Hay aproximadamente 634.106 seres humanos sin acceso al agua potable en todo el mundo (Sen et al., 2012). El rápido crecimiento de la población humana, combinado con la irrigación y la industrialización, aceleró el ritmo de la demanda de agua limpia y potable.

Generalmente el agua contiene sustancias químicas no deseadas. La presencia de estos contaminantes afecta la calidad del recurso, lo cual es perjudicial para la salud humana. (Lawrence et al., 2004; Prasad & P.G. Vinod, 1952). Por lo tanto, es indispensable contar con uno o varios métodos eficaces y viables para su potabilización.

Es necesario contar con un método eficaz y viable de purificación del agua por consiguiente se debe tener en cuenta de métodos o técnicas que estén en la capacidad de eliminar los microorganismos nocivos, las sales disueltas y reducir otras sustancias que se puedan presentar como sólidos en suspensión que afecten la calidad del agua.



La calidad del recurso hídrico se ve perjudicada por la aparición de contaminantes no controlados previamente (Schriks et al., 2010; Zodrow et al., 2017) El crecimiento urbano y la industrialización han traído consigo graves problemas en materia ambiental pues las altas emisiones contaminantes salpican también las fuentes hídricas las cuales deben soportar las altas cargas de sustancias que allí se arrojan.

Las preferencias técnicas, económicas y estéticas de los clientes están influyendo en el tratamiento, la distribución y el consumo de agua potable. Las propiedades del recurso hídrico se ven afectadas por la aparición de contaminantes no controlados previamente (Schriks et al., 2010; Zodrow et al., 2017).

Según los especialistas en el tratamiento de agua los métodos u operaciones para la eliminación de contaminantes ocurren mediante el uso de sustancias químicas, mediante procesos como la coagulación y precipitación o por procesos biológicos en donde el contaminante presenta alteraciones en su material genético un claro ejemplo es el proceso de desinfección según (Cesar Garcia, 2019

No obstante, la innovación en la purificación del agua es crucial y se requiere con urgencia. Estas innovaciones deben tener como objetivo mejorar la eficacia de la depuración del agua y hacerla más rentable. En la actualidad se han realizado algunos avances, como el desarrollo de membranas bio miméticas, el uso de coagulantes y floculantes naturales y el uso de membranas basadas en nanos materiales para el sistema de purificación del agua.

Ya existen en el mercado productos basados en estas nuevas tecnologías, como Karofi, Lifestraw y Tupperware, utilizados actualmente para ser implementada específicamente a poblaciones que presentan escasez de agua, por lo tanto, es

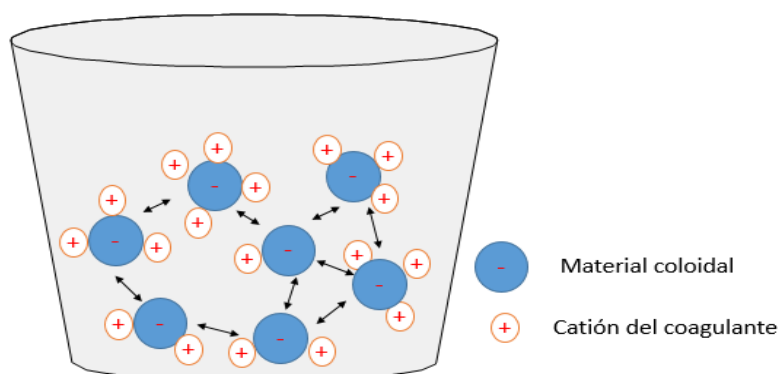
importante que la tecnología sea asequible y accesible. (Khan & Malik, 2019). El diseño de un dispositivo rentable para la purificación del agua mediante la implementación de tecnologías renovables, como energía solar, puede solucionar la problemática actual para tratar las fuentes de agua contaminadas.

### 7.9 Uso de coagulantes naturales para reducir la turbiedad

El proceso de clarificación del agua generalmente consiste en la adición de sustancias químicas (coagulantes) y distribuir las de manera uniforme en el agua formando los denominados flóculos que son fáciles de sedimentar. Estos se forman por medio de la agrupación de las partículas en suspensión.

Esta reagrupación de las partículas en suspensión es realizada a la relación que ocurre entre el coloide y el coagulante (interacción de cargas eléctricas) ya que estas presentan cargas negativas y las sustancias químicas adicionadas (coagulantes) presentan carga positiva.

**Figura 1** *interacción de coloides con el coagulante*



Nota. Reagrupación de sólidos en suspensión formando flocs sedimentables.





Los principales coagulantes utilizados se basan en compuestos inorgánicos como lo son: de aluminio o hierro, generalmente son sales, las cuales en ocasiones son costosas y generan cambios en el pH, generando un proceso adicional como lo es la estabilización de pH (P Contreras et al., 2015).

Actualmente se pretende cambiar a los coagulantes convencionales con alternativas más asequibles algunas de ellas son de procedencia natural ya sea vegetal o animal (P Contreras et al., 2015). Estas sustancias son solubles en el agua y trabajan de manera similar a los coagulantes convencionales en procesos de potabilización del agua cruda (Guzmán et al., 2013). Estas sustancias de origen natural son usadas de manera artesanal por nativos con el fin de clarificar el agua turbia, obteniendo excelentes resultados (YIN, 2010).

Ya que algunas sustancias procedentes de las plantas poseen propiedades anti microbianas registrando eficacias como flocculantes de microorganismos que se encuentran en suspensión como *Bacillus cereus*, *Escherichia coli* y *Bacillus anthracis* y hasta remoción de metales pesados (Buttice, 2012; Fox et al., 2012).

#### **7.10 Uso de bio flocculantes en el tratamiento de agua potable**

los desafíos en el tratamiento y la gestión del agua han aumentado gradualmente a medida que pasa el tiempo en gran mayoría provocado por los fenómenos meteorológicos extremos, como las fuertes precipitaciones y las inundaciones, tienen un impacto potencial en la calidad del agua potable y pueden provocar un rápido aumento de la turbidez y de la concentración de sedimentos en suspensión. Principalmente, en épocas de altas precipitaciones, la turbidez supera con frecuencia los límites de tratamiento de las plantas depuradoras, lo que aumenta la



dificultad del tratamiento del agua y el riesgo de que el suministro de agua sea insuficiente. (Nie et al., 2021)

Las tecnologías de tratamiento de agua potable para la coagulación a través de los tiempos involucran coagulantes químicos como lo son aluminio (Al), hierro (Fe) lo que provoca problemas de seguridad ambiental, por este motivo debemos tener en cuenta los coagulantes microbianos debido a que estos no son tóxicos y llegan a ser más amigables con la salud de los consumidores. A su vez, los floculantes biológicos tienen una fácil biodegradación y no genera una contaminación secundaria en las fuentes de agua a tratar. Es tal el caso de *Aspergillus oryzae*, un hongo de fermentación alimentaria, utilizado para el tratamiento de agua potable turbia. (Nie et al., 2021).

Este, es un hongo filamentoso, tiene una gran eficacia floculante. Los gránulos de hongos que poseen estructuras de red se forman por la germinación y agregación de un gran número de esporas. Debido a sus superficies rugosas y a su estructura interna suelta, los pellets de hongos favorecen la adhesión y la eliminación de microalgas e iones de metales pesados (Nie et al., 2021).

## **7.11 Sistemas de filtración analizados**

### **7.11.1 Recopilación de experiencias en la potabilización del agua por medio del uso de filtros**

El proceso para la remoción de sólidos suspendidos se lleva a cabo por medio de la filtración con la ayuda de materiales con poros muy pequeños que pueden ir desde la nano filtración hasta la ultrafiltración, se remueven coloidales entre otras impurezas que pueda contener las fuentes de agua. Las metodologías de filtración se pueden clasificar de acuerdo a la porosidad del medio filtrante, podemos encontrar



que la potabilización de agua mediante el uso de membrana con poros de  $0,002 \mu\text{m}$ , a  $01 \mu\text{m}$ , se retiene el paso de agentes patógenos como bacterias y virus, y sustancias húmicas (Firman, Ochoa, Marchese, & Pagliero, 2018).

También existen filtros con mayor porosidad los cuales tienen membranas con tamaño de poro de  $0.03$  a  $10 \mu\text{m}$ , las cuales impiden el paso de sólidos coloidales de mayor tamaño reteniendo, partículas finas como arena, arcilla, algas y microorganismos que puedan ser perjudiciales para la salud. (Jacangelo, Watson, & Buckley, 2016). Como última tecnología para la filtración denominada nanofiltración la cual posee una mayor efectividad a la hora de filtrar agua esto es debido al tamaño de los poros que presenta el medio filtrante el cual tiene la capacidad de retener también micro organismos (Aurelia, 2018).

La presente investigación recopila información de las distintas tecnologías de filtración de agua potable donde resalta la importancia de implementar de los filtros como alternativa para la potabilización del agua. La investigación analiza 5 diferentes casos de filtración que son aplicados en Colombia para la potabilización del agua entre las distintas metodologías analizadas se encuentran: i) Filtro de arena, ii) filtros de arcilla, iii) velas de cerámica, iv) ultrafiltración.

Estas tecnologías se pueden considerar para ser implementadas en zonas rurales y de esta manera mejorar la calidad del recurso hídrico, lo cual le da gran importancia a dichas alternativas para ser usadas para poblaciones que no tienen la posibilidad de emplear tecnologías de punta. El número de pobladores en las áreas rurales es demasiado bajo lo que impide el alcance de los gobiernos locales de implementar tratamientos de potabilización comerciales, es por esta razón que se toma



la decisión de analizar otros métodos que permitan el tratamiento adecuado con un bajo costo y que permite potabilizar agua de manera económica y viable los filtros utilizados constan de arena y cerámica con plata coloidal.

Palomino (2013) indica que realizó un proyecto de tratamiento de las fuentes hídricas por medio de filtros de arena de flujo lento para la zona de Kuychiro Cusco, utilizó tubería de 60 litros de capacidad además de material filtrante como arena con porosidades de 34.86%, grava con porosidad de 44% y por último arena gruesa con porosidad de material de 32.28% además de geotextil. En conclusión, obtuvieron una eficiencia de 48,1% con respecto los sólidos totales, encontrándose dentro de la normativa correspondiente.

#### **7.11.2 Filtro lento de arena**

Estos filtros hacen parte de las tecnologías que más años tiene en las industrias para la purificación de agua que se tenga registro y se pueda operar fácilmente. Se utiliza principalmente para remover características físicas como lo es la turbidez, por medio de procesos físicos y biológicos puede eliminar patógenos presentes en el agua sin tratar. Es uno de los sistemas de más bajo costo y se pueden utilizar materiales encontrados en la región como lo son las arenas y las gravas, los demás materiales correspondiente a geotextiles y materiales plastificados deben ser transportados. (Perdomo, 2014).

#### **7.11.3 filtros de cerámica**

Es un filtro económico de uso doméstico beneficiando poblaciones rurales que sirve para tratar el agua con impurezas no apta para el consumo humano. Está diseñado con base en una mezcla de material arcilloso y aserrín el cual aporta la porosidad. Al filtro se le incluye un metal en este caso plata coloidal donde

simplemente se puede usar un vaso de vidrio, un lingote de plata pura y agua destilada a un voltaje constante de 30 voltios durante todo el proceso.

Estos filtros pueden ser elaborados por la comunidad utilizando materiales propios de la región y no requiere de una fuente de alimentación o tecnología avanzada por lo que se adecua para ser implantado en áreas de difícil acceso. según indica Cerámicas por la Paz (2000), los materiales coloidales hacen referencia a partículas demasiado pequeñas es decir de tamaño microscópico las cuales se encuentran en suspensión en el agua.

La plata es un metal que se transforma en plata coloidal con la diferencia de que su carga es positiva, con el fin de retener material coloidal presente en el agua. La medida de la partícula de plata coloidal está casi siempre entre 0.005 y 0.015 micras.

#### **7.11.4 Filtro de la vela**

**Figura 2** *Filtro de la vela*



Nota. Filtro de la vela. Fuente <https://www.aquatreatment.co/asesorias/filtros->

Es un dispositivo versátil se compone por dos recipientes de polietileno de alta densidad los cuales poseen una capacidad de 20 litros por unidad Figura 2.

El balde numero 1 es el encargado de retener los sólidos en suspensión ya que en su interior está compuesto por materiales micro porosos, El 2 balde es el que almacena el agua una vez filtrada y apta para ser utilizada (Rojas& Guevara, 2000).

### 7.11.5 Filtro de carbón activado

Para el funcionamiento de este tipo de filtro se necesita de carbón activado para la remoción de olores y sabores. Se puede usar el carbón común disponible en el mercado lo que resulta un poco más económico también se puede usar carbón activado que, aunque es tiene una mayor efectividad, puede aumentar los costos de construcción del filtro. (Organización Mundial de la Salud, 2009)

**Tabla 3** *Sistemas de filtración usados actualmente*

Tipo de filtro	Materiales	Características	Valor	Caudal de filtración (L/Día)	Vida útil
Filtro de arena	1) Caneca de PEAD. 2) Medio filtrante (grava, arena, piedras pequeñas y medianas) 3) carbón activado	La filtración lenta de arena se ha utilizado exitosamente desde mediados del siglo XX en la depuración de agua, demostrado una alta efectividad en la eliminación de patógenos.	\$250.000	20 a 30	4 a 5 años
Filtro de cerámica	1) Contenedor plástico o cerámico 2) Llave de plástico 3) Aro plástico 4) Unidad filtrante	filtro practico y fácil de instalar está elaborado con arcillas porosas recubierto de plata coloidal, y funciona a gravedad.	\$150.000	30 a 40	3 años
Filtro de vela	1) Vela cerámica 2) Dos baldes de 20 litros con tapa	Es uno de los sistemas filtrantes más sutilizados a nivel domiciliario. El medio filtrante son velas compuestas por un material micro poroso de	\$ 164000	30 a 45	8 meses a 1 año

cerámica, carbón activado y arenas compactas en un recipiente de tipo bala que se encarga de retener los microorganismos y partículas sólidas suspendida del agua contaminada.

Nota. Tipos de filtros con sus respectivos procesos, materiales y precios. Fuente (Parada et al., 2016)

### 7.12 Nanos materiales para la purificación de agua potable

El uso de nanos materiales para la purificación del agua es uno de los nuevos enfoques que se han estado presentando. Estos materiales son denominados de los más prometedores ya que se encuentran en el mercado diversos productos comerciales los cuales se basan en nanomateriales para el tratamiento de agua Fig. 12.

**Figura 3** *Productos comerciales de mano materiales*



Nota. Algunos de los productos de purificación que se basan en nano partículas disponibles en el mercado. Fuente (Shams et al., 2019)

Estos materiales tienen como característica que sus dimensiones son inferiores a los 100 nm debido a su pequeño tamaño estos materiales adquieren un funcionamiento único (Kreyling et al., 2010).

Actualmente se están aplicando diferentes orientaciones para el uso de los nano materiales para el tratamiento de agua, algunos de ellos son el revestimiento de los recipientes que son utilizados para el agua o la incorporación de membranas de filtración de agua, estas membranas tienen una mayor eficacia a la hora de filtrar ya que eliminan partículas pequeñas (Shams et al., 2019).

Actualmente se han diseñado varios nanomateriales los cuales poseen características específicas de acuerdo a las características que presenta el agua para su depuración algunas de ellas son.

**Tabla 4** *Mecanismos antimicrobianos de los nanomateriales para la purificación del agua*

Método de actividad antimicrobiana	Nano material	Organismo objetivo
Los cambios estructurales de la célula	ZnO	E. coli enterotoxigénico, V cholerae
perturbación del metabolismo	TiO <sub>2</sub>	Pseudomonas aeruginosa
desnaturalización de las proteínas y daño del ADN	ZnO, TiO <sub>2</sub>	
perturbación del sistema respiratorio cadena respiratoria	Ag	
Potencial de oxidación, generación de especies reactivas de oxígeno	ZnO	Campylobacter, Mycobacterium, and salmonella
inhibición de la replicación del ADN, unión del ADN	ZnO, TiO <sub>2</sub>	
unión de ROS a otras moléculas en la célula		
inhibición de la adenil ciclasa	ZnO	E. coli enterotoxigénico , V cholerae
producción de iones de los nanos materiales y	TiO <sub>2</sub>	E coli, listeria monocytogenes



unión a otras moléculas de la célula		
destrucción de los ovocitos de los protozoos	ZnO	Salmonella
	Fe	Entamoeba histolytica
inactivación de la toxina de las cianobacterias en el agua	Ag	Cyptosporidium parvum
	TiO <sub>2</sub>	Cyanobacteria / microcystin
actividad antiviral	Ag	
	TiO <sub>2</sub>	MS2 virus

Nota. Datos tomados de Engineered nanomaterials for water decontamination and purification (Shams et al., 2019)

### 7.12.1 Uso de nano partículas de óxido de titanio TiO<sub>2</sub>

Este nano material está siendo utilizando en la purificación del agua debido a su actividad foto catalítica la cual es activada por la presencia de energía luminosa mediante la absorción (Shams et al., 2019). Varios estudios han documentado la actividad que tienen las nano partículas de TiO<sub>2</sub> contra conocidos patógenos transferidos por el agua descritos en la tabla 12, bacterias como *Mycobacteria*, *Salmonella* y *Shigella* son algunas en las que ha sido probado el tratamiento (Hajipour et al., 2012); ya que se generan reacciones bioquímicas y físicas las cuales inducen al deceso de dichos microorganismos debido a los iones liberados por la membrana de óxido de titanio. Este proceso se divide en 2 pasos i) la activación generada mediante la transferencia de energía en forma de fotón al sustrato. ii) La oxidación la cual es más fácil debido al estado activado del sustrato.

La característica oxidante del óxido de titanio hace que este compuesto sea magnifico para la descomposición de compuestos ya orgánicos o inorgánicos.



### **7.12.2 Uso de nano partículas de óxido de zinc**

El uso de nano partículas a base del óxido de zinc para la purificación del agua es una de las tecnologías estudiadas debido a la notable actividad antimicrobiana en contra de patógenos transmitidos por el agua. Esta tecnología presenta características particulares como la capacidad de dividir la molécula de agua en hidróxido e hidrogeno y el electrón producido por la foto activación que puede interactuar con el óxido produciendo de esta manera anión súper óxido. ( Bhatia & Verma, 2017; Dimapilis et al., 2018)

El espacio producido por la actividad catalítica en la banda de valencia puede oxidar una molécula donante mientras que el electrón excitado en la banda de conducción puede reducir una molécula aceptora. Los radicales que son liberados pueden interactuar con otras moléculas inorgánicas como también orgánicas dando paso de este modo a otras especies de radicales libres, como lo es el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> o generar cambios químicos en la molécula con la que interactúo. Alcanzando como resultado nano materiales de ZnO con una actividad antimicrobiana superior ( Elmi; et al., 2014; Salem et al., 2015; Sökmen, M., Değerli, S., & Aslan, 2008)..

### **7.12.3 Uso de nano partículas de hierro para la purificación de agua**

Las nano partículas de hierro cero valente (ZVI) son un metal en forma de polvo de alta calidad y pureza el cual posee un fuerte potencial de reducción tratando varios contaminantes ya que estos se transforman en compuestos más estables mediante procesos químicos como la oxido – reducción. Actualmente se utilizan para la oxidación de compuestos como fenoles, tintes orgánicos y el uranio (Ling et al., 2015; Ottofuelling et al., 2011). Estas nano partículas tienen la particularidad de que pueden



estar suspendidas o ancladas en medios porosos como la zeolita y el carbón activado, así mismo el hierro también es conocido por sus propiedades anti microbianas y antiparasitarias.

### **7.13 Desinfección solar convencional SODIS**

La desinfección solar (SODIS) es una técnica muy eficaz, económica y de fácil acceso a la hora de proveer agua potable ya que no es necesario el uso de desinfectantes químicos y se usa la energía térmica y óptica del sol con el fin de inactivar los microorganismos presentes reduciendo significativamente organismos que transmiten enfermedades a través del agua; incluyendo micro organismos resistentes al cloro como parásitos *Cryptosporidium spp*, protozoos *Acanthamoeba spp*. y esporas de bacterias *Bacillus subtilis* (Chu et al., 2019; Heaselgrave & Kilvington, 2011; Pichel et al., 2019).

Este tipo de desinfección es de gran impacto específicamente en las poblaciones más vulnerables. Este procedimiento consiste en empaquetar el agua en botellas hechas de tereftalato de polietileno (PET), y exponerlas al sol durante un periodo de 6 a 12 horas, dependiendo la cobertura de cobertura de nubes, que se debe encontrar alrededor y no menos de un 50% y que garantice buena radiación solar (Asiimwe et al., 2013; McGuigan et al., 2012).

La desinfección por método SODIS ocurre cuando la energía del sol en forma de fotón o calor, se absorbe por las estructuras fotosensibles las cuales pueden ser proteínas, genomas o biomoléculas. Éstas se encuentran dentro de los organismos afectando su estructura y función química (Chaúque & Rott, 2021).



Además, existe un mecanismo indirecto y ocurre cuando las estructuras fotosensibles las cuales pueden ser endógenas o exógenas dependiendo si están dentro o fuera del microorganismo, absorben la energía la cual desata la generación de productos reactivos foto generados (PGRP) los cuales generan daño a diferentes estructuras de los micro organismos.

No obstante, la aplicación de la desinfección solar (SODIS) convencional es restringida ya que no es posible tratar grandes cantidades de agua. Por lo general se tratan 3 L los cuales corresponden al tamaño usual de una botella (Chauque & Rott, 2021), limitando la desinfección y no ser efectiva para usarse a gran escala.

#### **7.14 Información general Municipio de Gutiérrez**

El municipio de Gutiérrez pertenece a la provincia de oriente del departamento de Cundinamarca aproximadamente a unos 75 km de la capital del país. Los primeros pobladores fueron pertenecientes a grupos indígenas pertenecientes a los grupos Guapis, Buchipas. Es uno de los municipios más ricos hídricamente del Departamento goza de ríos, quebradas, lagunas, algunos de ellos son río Táguate, río Blanco, La Rinconada, Palos saltos, San Joaquín, Santa Librada, La Preciosa, Salitre, El Playón, Banca, Cedral, Honda, Cañuela, Lejía, Palmarito, Cerinza, Laguna del Cobre, Laguna de la Hoya, Quebrado (Esquema Ordenamiento Territorial - Alcaldía Municipal de Gutiérrez, Cundinamarca, 2010)

La quebrada de Mesalinda es una red tributaria que dispone sus aguas en el río chiquito y este a su vez en el río blanco fuente de la que se proyecta se toma el agua para para ser suministrada a las 155 personas registradas y reportadas en el EOT



(Esquema Ordenamiento Territorial - Alcaldía Municipal de Gutiérrez,

Cundinamarca, 2010)

Este municipio posee una topografía inclinada en un 90% de su extensión en donde predomina la existencia de areniscas y las fuertes pendientes que sobresalen y favorecen en la conservación del bosque alto andino, mientras en las zonas onduladas predominan lutitas y es donde se presentan las zonas de mayor deforestación.

La Formación Areniscas de Gutiérrez aflora como un bloque fallado y discordante contra la Formación Lutitas de Macanal y fallado solamente contra las rocas metamórficas de la Unidad de Filitas y Cuarcitas de Guayabetal. Presenta su mejor exposición al SW de la plancha sobre la Quebrada Palmario, (Minería & cartografía ingeominas, 2011).

En cuanto al recurso hídrico se cuenta con una gran disponibilidad correspondiente principalmente a la sub cuenca del río blanco perteneciente a la quebrada de mesalina (el chiflón). (Alfred Ballesteros Director General CAR, 2012). La quebrada de Mesa Linda hace parte de una red tributaria que dispone sus aguas en el río Chiquito y este a su vez en el río Blanco, fuente de la que se proyecta la captación del agua para el suministro de las 155 personas registradas acorde al (Secretaria Distrital De planeamiento alcaldía mayor de Bogotá D.C, 2014)

**Figura 4** Ubicación geográfica de Gutiérrez.



## 8. Marco normativo

### 8.1 Resolución 2115 del 22 de junio del 2007

La cual dicta parámetros, mecanismos esenciales y medidas de control sujetas a las propiedades de La fuente hídrica para el suministro y posterior consumo donde:

### 8.2 Capítulo 2 Características físicas y químicas del agua para el consumo humano

Para ser consumida el agua no debe superar los valores permisibles, de acuerdo a la tabla 5.

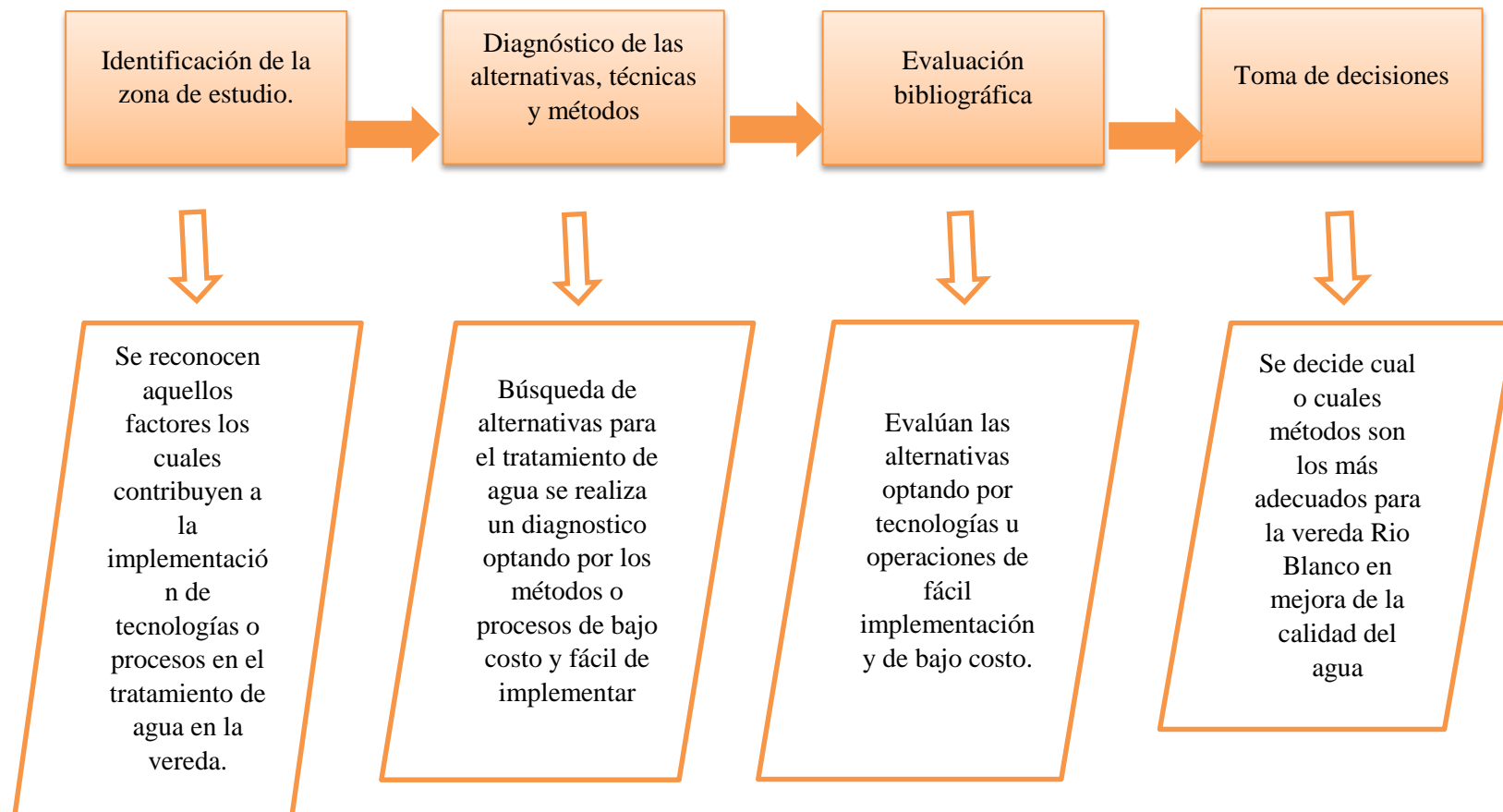
**Tabla 5** características físicas y químicas

Característica física	Presentada como	Valor aceptable
Color aparente	Unidades de Platino Cobalto (UPC)	15
Olor y sabor	Aceptable o no aceptable	Aceptable
Turbiedad	Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT)	2
Potencial de hidrogeno		6.5- 9.0

Nota. Datos tomados de la resolución 2115 /2007 capítulo 2.

## 9. Diagrama de la metodología

**Figura 5** *Etapas de la investigación*





Nota. Paso a paso del proceso de investigación. Elaboración propia

## **10. Metodología**

### **10.1 Identificación de la zona de estudio**

Se toman de manera general temas relacionados de la vereda Rio Blanco con ayuda de entidades y fuentes oficiales del municipio de Gutiérrez como lo son; alcaldía municipal de Gutiérrez. esquema de ordenamiento territorial, con el propósito de identificar la zona de estudio y la población beneficiada.

### **10.2 Diagnóstico de las alternativas consultadas**

Una vez identificada la problemática, se procedió al estudio de cada una de las alternativas consultadas con ayuda de plataformas de búsqueda, por medio de casos de estudio y artículos científicos indexados de nivel nacional e internacional relacionados con métodos para el tratamiento de agua potable que sean viables al momento de implementarse en zonas rurales de manera fácil y económica.

### **10.3 Evaluación de las alternativas**

Las alternativas consultadas se evalúan por medio de una ficha técnica en donde estas se califican teniendo en cuenta parámetros como impacto, costo, accesibilidad, implementación, vida útil, eficiencia de remoción de contaminantes y sus posibles ventajas y desventajas.

La calificación varía entre los rangos de 1 a 5 donde:

- 1-2 es malo
- 3 es regular
- 4-5 es buena





Una vez calificada la alternativa con los valores anteriores en cada uno de los parámetros donde se indicó si es factible la implementación de la alternativa en la vereda Rio Blanco mediante un código de colores calculado de la siguiente ecuación (2)

**Ecuación 2** *Calculo indicador de evaluación*

$$\text{indicador de color} = \frac{\Sigma \text{ de las calificaciones de los parametros}}{\text{numero de parametros evaluados}}$$

Donde los valores que se obtienen es igual a un color determinado como se muestra a continuación.

**Verde:** valores que oscilan entre 4 -5 e indican que la alternativa es viable y rentable a la hora de implementarse en la zona ya que cumple con los parámetros evaluados de manera satisfactoria.

**Amarillo:** Valor igual a 3 indicando que la implementación de la alternativa puede ser viable siempre y cuando se puedan mejorar ciertos parámetros de evaluación.

**Rojo:** Resultados inferiores a 2 revelando que la alternativa no es viable ya que no se cumple con ninguno o la mayoría de parámetros evaluados.

#### **10.4 Selección de la alternativa o alternativas**

De acuerdo al resultado de la evaluación de cada una de las alternativas que se investigaron de seleccionan las alternativas que son posibles de implementar en la vereda para la depuración del agua.

## 11. Estado de conocimiento

### 11.1 Caso de estudio: Eficacia de la mezcla de nopal y almidón de yuca como sustancias clarificantes en la purificación del agua

Este estudio tiene como objetivo evaluar la eficiencia entre la mezcla de mucílago de nopal y almidón de yuca para la eliminación de turbidez en la purificación de agua, se aplicaron frascos de prueba y el equipo de tratamiento (TA-scale FQ-005/PE) figura 2. Para medir los parámetros de turbidez, pH antes y después del proceso de coagulación-floculación.

**Figura 6** *Equipo de tratamiento (TA-scale FQ-005/PE)*



Nota. En el estudio se tomaron muestras del río Magdalena en la ciudad de Girardot, Colombia a 1,3 km aguas debajo de la desembocadura del río Bogotá con al río Magdalena se realizaron 2 muestreos uno se realizó un día lluvioso y el otro en un día sin precipitaciones donde se tomaron 100 L de agua problema y se analizaron el mismo día en el laboratorio (Lugo-Arias et al., 2020).

## 11.2 Preparación del coagulante

**Figura 7** Diagrama de flujo preparación del coagulante de nopal



Nota. Paso a paso en la elaboración del coagulante de nopal por medio de un diagrama de flujo a partir de la. Fuente: Effectiveness of the mixture of nopal and cassava starch as clarifying substances in water purification: A case study in Colombia. (2020)

El floculante natural utilizado se encuentra en la presentación de polvo fino blanco en donde puede ser comprado en una tienda común como almidón de yuca.



Posterior mente se realizan las disoluciones e inicia el proceso de coagulación (Lugo-Arias et al., 2020).

Respecto al nopal, se utilizaron dosis entre los rangos anticipadamente evaluados por los autores (Contreras K et al., 2015; Miller et al., 2008) que son: 15 ppm, 25 mg/l, 35 mg/l, 45 mg/l, 55 mg/l, 70 mg/l y dos concentraciones adicionales de 100 ppm y 150 ppm respectivamente. (Lugo-Arias et al., 2020).

Además, utilizaron la dosis óptima para la combinación del nopal y el floculante natural (almidón de yuca) para evaluar si hay un aumento de eficacia del nopal en el proceso de coagulación.

Se evidencia cambios de turbidez en los 2 frascos de muestreos con sus dosis óptimas. Fuente (Lugo-Arias et al., 2020) donde la dosis optima del sulfato de aluminio fue de 160 ppm en las dos muestras (seca y húmeda), representando una eficiencia en la remoción de turbidez 98,37% (Lugo-Arias et al., 2020). En cambio, las dosis optimas del nopal presentaron cambios entre los muestreos en donde el 1 muestreo fue de 100 ppm donde los valores de remoción de turbiedad oscilaron entre 78 y 229 NTU mientras que en el segundo con una dosis de 25 ppm eficiencias de remoción del 50,2%.

Se realizan las respectivas mediciones de turbiedad y pH en donde se obtiene datos, y se registran eficiencias de remoción de 50,2% contrastando con las eficiencias mostradas por los autores (Contreras K et al., 2015; Miller et al., 2008) donde obtuvieron reducciones de niveles de turbiedad de 83,66% y 92-99% respectivamente donde también usaron el nopal como clarificante en agua cruda. Puede ser al método en la extracción del mucilago de nopal ya que es diferente al del



estudio de (Lugo-Arias et al., 2020) afectando de manera significativa el resultado de remoción en cuanto a turbiedad.

Otro factor que también puede ser influenciado en la reducción de turbiedad es el tipo de nopal ya que en una investigación realizada por (Mukhtar et al., 2015) utilizan la especie denominada opuntia estricta alcanzando disminución de turbiedad hasta de un 91% por lo tanto puede ser útil el análisis del porcentaje de remoción de las diferentes especies de nopal nativas en el país.

En las pruebas combinadas se afirma que el uso de un floculante como asistente en el proceso de coagulación en este caso el almidón de yuca incrementa la capacidad de eliminación del mucilago de nopal en la clarificación del agua sin observar cambios abruptos de pH. Este descubrimiento puede inferir en la decisión del uso de coagulantes naturales ya que estos conllevan a beneficios socio-ambientales como por ejemplo un bajo costo según (Lugo, 2018).

Para aumentar la eficacia en el momento de la coagulación es útil realizarla de manera combinada con el floculante natural (almidón de yuca) ya que aumento se eficacia de remoción en un 8% (Lugo-Arias et al., 2020) y no afecto de manera significativa el valor del pH manteniendo los valores acorde a la resolución 2115/2007 ventaja importante en comparación al coagulante químico.

Por lo que es indispensable que en futuras investigaciones se enfoquen en la productividad de la combinación de coagulantes y floculantes naturales para el tratamiento de agua y que sean tan eficientes como el sulfato de aluminio.

## 12. Caso de estudio: Comparación entre la Moringa oleífera y los coagulantes químicos en la purificación del agua potable

Para el año 2010 en honduras se realizaron estudios con la ayuda de la planta de moringa para el tratamiento de aguas con baja turbidez con el objeto de mejorar la calidad de agua para los países en desarrollo y de esta manera lograr que más cantidad de pobladores tengan el acceso al agua potable mediante la implementación de tecnologías económicas y asequibles.

La *Moringa oleífera*, se ha empleado en la purificación del agua durante mucho tiempo ya que su componente activo es una proteína que actúa como un polímero de carga positiva de origen natural generando el tratamiento de coagulación en las aguas turbias (Barth, 1982; Jahn, 1989).

**Figura 8** Etapas para la producción de la planta *M.oleífera*



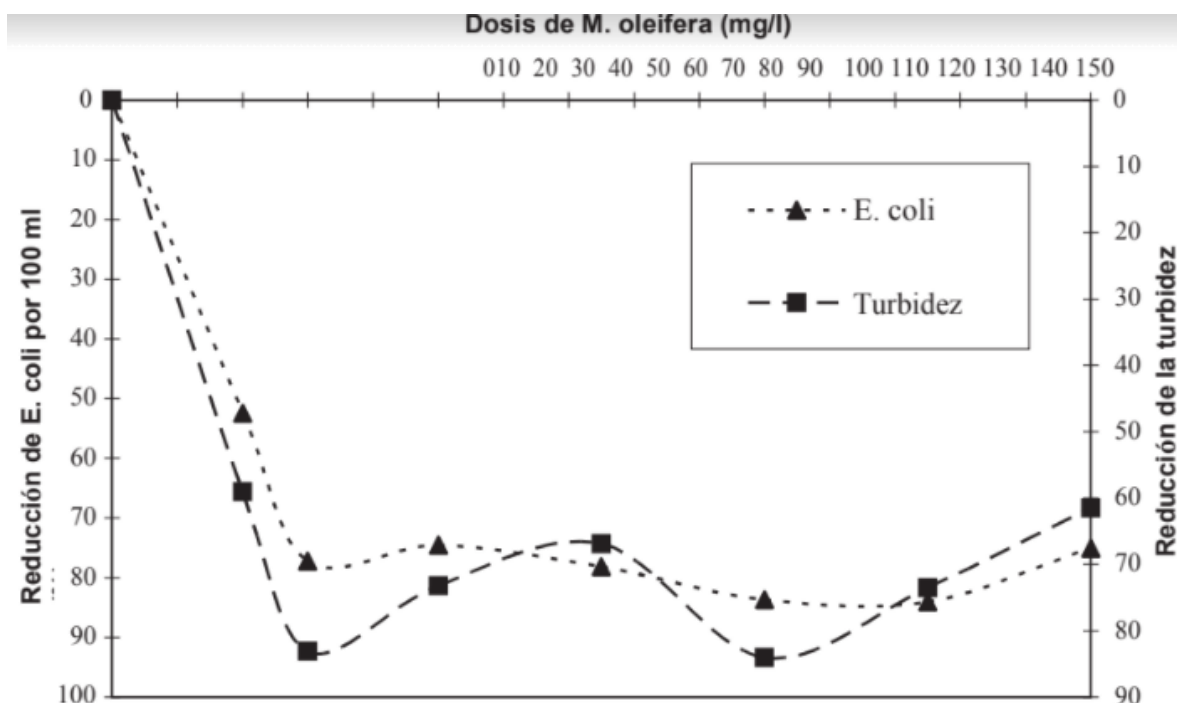
Nota. Planta de *M. oleífera*. Fuente (Pritchard et al., 2010)

Este árbol puede producir unas 2000 semillas anuales con las que se pueden tratar 6000 litros de agua con dosis de 50 ppm. Aunque los árboles se pueden cultivar

para producir hasta 10 veces más tratando 60 000 litros de agua en el año (Pritchard et al., 2010).

El presente estudio logró determinar que la reducción de *E. coli* está directamente relacionada con la remoción de turbiedad del agua tal como se muestra en la figura 8.

**Figura 9** Reducción de turbidez y e-coli respecto a la concentración de *M oleífera*



Nota. el presente grafico hace referencia a los porcentajes de *E coli* removidos y su relación con la dosis de *M. oleífera* adicionada datos representados en porcentajes. Fuente: (Pritchard et al., 2010)

En la investigación analizaron tres distintas variables para determinar el porcentaje de efectividad de la *M oleífera*, los factores analizados fueron:

- dosis del tratamiento.
- presencia de cloruro de sodio (NaCl).
- turbidez inicial.

El proceso se llevó a cabo mediante la ayuda de distintos materiales como lo fueron frascos de sedimentación estándar con la finalidad de evaluar la coagulación de que se produjo en las diferentes condiciones de prueba. El equipo consta de seis frascos de 1000 ml que pueden utilizarse para probar cada muestra simultáneamente. Cada frasco tiene una paleta, cuya velocidad puede ajustarse entre 20 y 400 rpm.

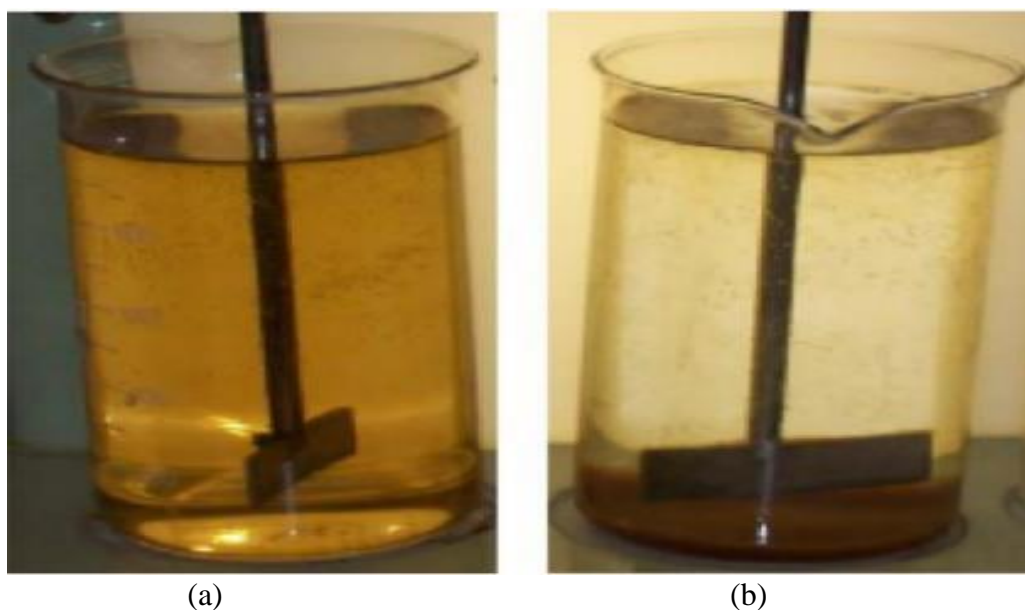
**Tabla 6** Rendimiento de *M. oleífera* y férrico en agua de río de baja turbidez

Nota. En el cuadro se encuentran las dosis en mg/l de cada una de las pruebas realizadas en test de jarras con el fin de comparar la moringa con los coagulantes

Coagulante	Dosis (mg/l)	Color	% de reducción color
Control	0	11.1	0
M oleífera	500	6.5	41.4
Férrico	20	3.5	68.5

químicos comerciales identificando su eficiencia y las dosis requeridas de cada uno de los coagulantes.

**Figura 10** Eficiencia de *M Oleífera* con respecto a la muestra control

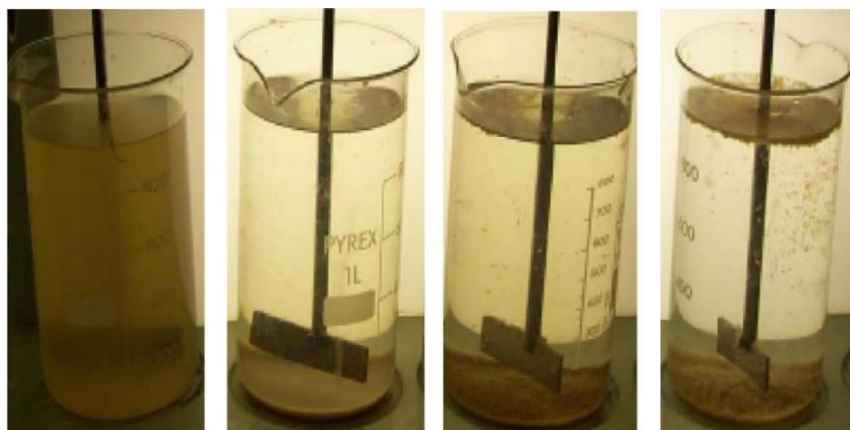




Nota. Las imágenes hacen referencia a un test de jarras donde se compara la muestra de control (a), respecto a la muestra a la cual se le agregó *M oleífera* (b) con una concentración de 750 mg/l. Fuente (Pritchard et al., 2010).

Se analizó en agua con baja turbiedad para el cual se llevó a cabo el test de jarras donde se proporcionó: jarra de control, coagulante natural, se pudo identificar que se necesitaron dosis altas para la remoción de sólidos en suspensión tal como se muestra en la figura (8). Se realiza la comparación entre el coagulante natural y dos coagulantes químicos.

**Figura 11** Concentración requerida de cada uno de los coagulantes analizados



(a) Controlar

(b) *M. oleifera* 1.000 mg/l

(c) Férrico 10 mg/l

(d) Alumbre 50 mg/l

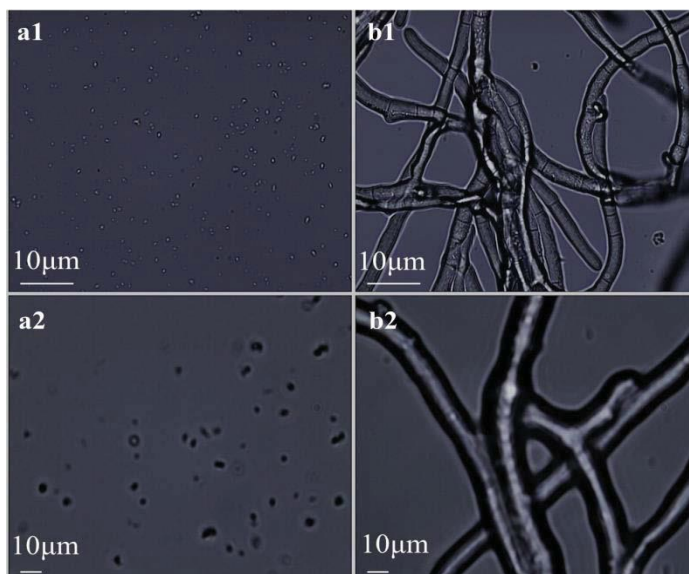
Nota. la presente imagen hace referencia a la comparación entre la moringa y los dos coagulantes químicos comerciales para los cuales se les realizó la prueba de la concentración requerida para los cuales se pudo determinar que es el coagulante natural *M oleífera* el que mayor concentración requiere Fuente: (Pritchard et al., 2010). Donde se pudo evidenciar que Tanto el alumbre como el férrico superaron a *M. oleífera* en las distintas condiciones probadas durante este programa de investigación. El alumbre y el cloruro férrico requirieron un nivel de dosis más bajo que el de *M*

*oleífera* para alcanzar las condiciones óptimas de reducción. *M oleífera* se comportó mejor en el agua de origen natural sin embargo requiere de una dosis mayor para alcanzar con éxito la coagulación de los flóculos y así poder retirarlos y disponer el agua para el consumo humano.

### 13. Caso de estudio 3 *Aspergillus Oryzae*, un nuevo bio floculante fúngico ecológico para el tratamiento de aguas potables turbias

Dado que *A. oryzae* puede secretar extracelularmente un gran número de diversas enzimas, incluyendo amilasa, proteasa y lipasa, los grupos funcionales de la superficie celular (amino, amida, ácido fosfórico, carboxilo e hidroxilo) y los metabolitos pueden inducir el proceso de bio floculación a través de la adsorción y la formación de puentes. Los gránulos de *Aspergillus sp.* cargados positivamente también favorecen la recolección de micro algas a través de la neutralización eléctrica (Nie et al., 2021).

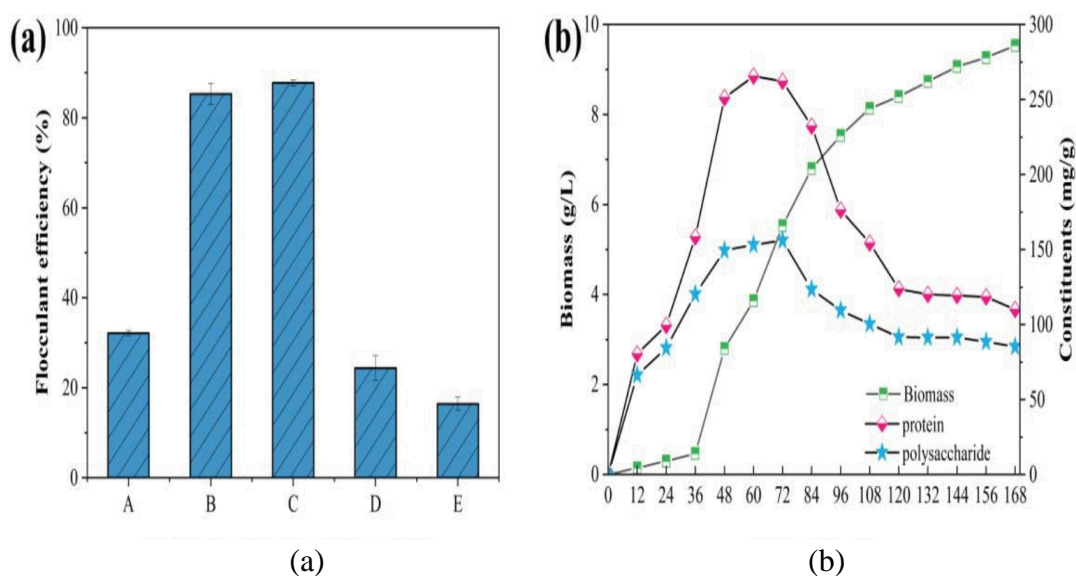
**Figura 12** Diámetros de los gránulos del hongo *Aspergillus oryzae*.



Nota. Relación de los diámetros de los gránulos de hongos/gránulos de hongos-caolín inoculados en un agitador en diversos períodos de tiempo: (a1) hongos cultivados durante 48 horas; (a2) hongos cultivados durante 72 horas; (b1) hongos cultivados durante 48 h; (b2) hongos cultivados durante 72 h.

De acuerdo con sus características biológicas y su seguridad alimentaria, *A. oryzae* garantiza la seguridad de la floculación en el proceso de suministro de agua y es fácil de biodegradar sin causar contaminación secundaria ni preocupaciones por los riesgos para la salud. El uso de hongos filamentosos como bio floculantes puede proporcionar un método nuevo y eficaz para el tratamiento de aguas turbias. Por lo tanto, la investigación sobre los bio floculantes fúngicos es de gran importancia práctica para la mitigación de la alta turbidez en el tratamiento del agua. (Nie et al., 2021).

**Figura 13** Cifras relevantes Hongo *A. Oryzae*



Nota. (a) Distribución de las actividades de floculación: A caldo de fermentación crudo; B pellets de hongos; C pellets de hongos después de la centrifugación; D



sobrenadante; E sobrenadante después de la centrifugación de los pellets de hongos;

(b) Curva de crecimiento del hongo *A. oryzae*.

En el análisis realizado se obtuvo como resultado la identificación de los principales parámetros que interfieren el proceso de floculación, como el tiempo de incubación, la dosis y el pH. Se observó una eliminación de la turbidez superior al 91% en condiciones óptimas. Los resultados mostraron que los grupos superficiales (grupos amino, carboxilo e hidroxilo) de los pellets de hongos promovieron el proceso de floculación a través de la adsorción y la formación de puentes. Donde el análisis del potencial zeta demostró que la neutralización también tuvo una influencia positiva. Como bio floculante respetuoso con el medio ambiente, *A. oryzae* eliminó los peligros potenciales que suelen asociarse al uso de residuos de floculantes químicos.

Como también se identificó que el gran tamaño de las partículas favorecía la separación en los procesos de tratamiento posteriores. En conclusión, los bio floculantes fúngicos son seguros y excelentes floculantes con un excelente rendimiento de floculación, presentando un gran potencial de aplicación como floculantes alternativos en el tratamiento de aguas turbias.

#### **14. Caso de estudio: Actividad antibacteriana de nano partículas de plata y zinc contra *Vibrio cholerae* y *Escherichia coli* entero tóxica**

En la búsqueda de nuevos enfoques eficaces y económicos, se analizaron las nano partículas de zinc y de plata, las cuales se caracterizan su actividad antibacteriana contra *V. cholerae* y *ETEC*. Debido a que son los mayores causantes de enfermedades como la diarrea secretoria especialmente en países en desarrollo.



Se sintetizaron nano partículas de óxido de zinc y plata (Zn ONPs y Ag-NPs) según protocolos establecidos utilizando extractos de hoja y del fruto de *Calotropis procera* dando lugar a 4 tipos de nano partículas (Geethalakshmi & Sarada, 2010; Hui et al., 2004; Sangeetha et al., 2011; Song & Kim, 2009).

La función anti bacteriana en las diferentes nano partículas sintetizadas que los autores analizaron (Salem et al., 2015) contra los microorganismos *V. cholerae* y *E. coli* entero tóxica (ETEC) fue realizada mediante ensayos de concentraciones inhibitorias mínima (CIM), donde las cuatro nano partículas evidenciaron una actividad antimicrobiana muy eficaz con resultados similares

Aunque las nano partículas de zinc mostraron en general una eficacia ligeramente superior contra ambos patógenos en comparación con las nano partículas de plata. Una disparidad se genera ya que las nano partículas de plata que proceden de los extractos de la hoja de la planta significativamente reducen los biofilms de los microorganismos patógenos.

Esto demuestra que las nano partículas de Ag abstienen y reducen la formación de biofilms de diferentes especies bacterianas (Markowska K et al., 2013). El presente caso de estudio genera una idea de la caracterización del potencial que tienen las nano partículas como agentes antibacterianos contra *V. cholerae* y *E. coli* entero tóxica (ETEC) teniendo como argumento base los resultados que obtuvieron los autores (Salem et al., 2015). Así como las nano partículas sintéticas a base de Ag ofrecen alternativas para la reducción de infecciones por parte de los patógenos en aguas contaminadas. La Ag se utiliza generalmente en forma de sal de nitrato, pero en forma de nano partículas de Ag (Ag-NP) se aumenta la superficie y, por tanto,



aumenta la eficacia antimicrobiana. Se ha planteado la hipótesis de que las nano partículas de plata pueden provocar la lisis celular o la inhibición del crecimiento a través de diversos mecanismos.

Se estudiaron las actividades antibacterianas de las Ag-NP y las ZnO-NP fito-sintetizadas contra los dos patógenos Gramnegativos *V. cholerae* y ETEC, que son los agentes bacterianos causantes dominantes de las enfermedades diarreicas (Salem et al., 2015)

#### **15. Caso de estudio: Depuración de aguas contaminadas por petrolíferos por medio de filtros de cerámica mediante filtros de ceniza modificados con cascara de arroz**

En el presente artículo se evaluaron los diferentes efectos generados por los diversos filtros de vela hechos con mezclas de ceniza de cascara de arroz, poli etilenglicol (PEG), y arcilla para comprobar la eficacia para la purificación del agua contaminada por productos de petróleo ya que la ceniza de cascara de arroz resulta ser un buen adsorbente para la purificación del agua.

ya que los filtros de cerámica son utilizados para remover varios contaminantes del agua desde tintes hasta contaminantes biológicos ya sean orgánicos e inorgánicos( Amin et al., 2014). Están tomando auge y los estudios lo sugieren como una capacidad para convertirse en una solución viable para, optimizar la calidad de agua domestica especialmente en zonas rurales donde generalmente el tratamiento es realizado desde el punto de uso (Albert et al., 2010).

Las muestras de agua contaminadas por productos derivados del petróleo fueron recolectadas en un taller de mecánica del sector y transportada al laboratorio

para la medición de parámetros como pH, turbiedad, sólidos disueltos totales (TDS) y cloruros las siguientes 24 horas de su colecta.

En las investigaciones realizadas por los autores (Madu et al., 2021) señalan un aspecto importante que tienen los filtros en cuanto a la porosidad del medio filtrante y el volumen aparente de los filtros ya que entre mayor sea la altura, mayor es la porosidad. El poli etilenglicol (PEG) se ha usado constantemente en la producción de varios filtros de cerámica mejorando su porosidad (Masturi et al., 2012).

**Tabla 7** Dimensiones de los filtros de vela

Filtros de vela	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Volumen de poros (cm <sup>3</sup> )	Porosidad (%)	Área (cm <sup>2</sup> )
1	7.085	2.555	20.50	56.38	67.16
2	7.375	2.690	24.51	58.47	73.70

Nota. Datos tomados. Fuente Madu, J. O., Adams, F. V., Agboola, B. O., Ikotun, B. D., & Joseph, I. V. (2021). Purifications of petroleum products contaminated water using modified rice husk ash filters. *Materials Today: Proceedings*, 38, 599–604. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.466>

Las muestras de agua ya tratadas por los filtros presentaban parámetros físicos como un olor imperceptible, además se observa cierta claridad sin ningún rastro de algún contaminante que deriva del petróleo. Dando indicios de la capacidad de los filtros en remover contaminantes que aportan color al agua (Madu et al., 2021).

Con los resultados obtenidos se puede deducir que las construcciones de filtros de vela de cerámica son económicos y accesibles para la depuración de agua es posible ya que los materiales empleados son económicos y fáciles de obtener (arcilla



y cascara de arroz), implementándose fácilmente en áreas rurales y en países en desarrollo utilizándose con otros métodos de purificación para potabilizarla. (Madu et al., 2021),

#### **16. Caso de estudio de la calidad bacteriológica del agua de lluvia recogida en los tejados y evaluación de SODIS como tecnología de tratamiento adecuada en el África rural subsahariana**

En la sub parroquia de Makondo ubicada al oeste de Masaka en Uganda África se realizó un estudio la participación de 50 hogares durante un año, cada uno de los hogares contaba con dispositivos de almacenamiento de agua lluvia para la recolección del líquido. Donde Utilizaron botellas de polietileno tereftalato (PET) con tapones los cuales compraron en una localidad cercana, cada hogar recibió cuatro botellas de PET de 2 litros y estas se estaban cambiando cada 6 meses. Previamente a los participantes del estudio fueron informados en el mantenimiento y preparación de las botellas y sobre el uso del SODIS, así como la toma de muestras de agua.

Una vez listas las botellas estas se exponen al sol de manera horizontal en una plataforma elevada dependiendo el estado del tiempo; si el día era luminoso se exponían durante 6 horas y durante 2 días si estaba nublado (Nalwanga et al., 2018).

Las muestras de agua lluvia fueron evaluadas previamente al tratamiento donde evidenciaron la presencia de microorganismos como *E. coli* y *enterococos* fecales en 100 ml de agua, aunque ninguna de las muestras demostró la presencia de bacterias anaerobias como *Clostridium perfringens*. Estos resultados constatan que el estado del agua no era conforme en parámetros microbiológicos.





Una vez realizado el tratamiento mediante SODIS se refleja una disminución relevante en donde la mayoría de las muestras fueron consideradas aptas para el consumo ya que la media de organismos era inferior a 10 unidades formadoras de colonias por cada 100 mL de la muestra. Adicional a esto, los autores (Nalwanga et al., 2018) evidenciaron que en el proceso de desinfección el porcentaje de muestras que contenían bacterias fecales es inferior a las muestras que contienen *E. coli*, de esto se deduce que estos organismos son menos sensibles a la desinfección solar que las bacterias encontradas (entero cocos fecales).

#### **17. Desarrollo de una estrategia de funcionamiento económico para reactores de desinfección UV multi lámpara en sistemas de suministro de agua.**

El uso de la desinfección ultravioleta en los sistemas de abastecimiento de agua potable ha sido una práctica frecuente mente usada en los últimos años en China. Sin embargo, las tasas de flujo con altas fluctuaciones hacen que el funcionamiento regular de estos reactores de desinfección UV (es decir, encender todas las lámparas todo el tiempo) sea un considerable desperdicio de energía lo que conlleva a mayor consumo de recursos. (Fang et al., n.d.; Morita et al., 2002)

En el presente estudio, se desarrolló una estrategia de funcionamiento económico, que consistía en varios modos de funcionamiento de las lámparas para diferentes períodos de tiempo, para un reactor de desinfección UV de 6 lámparas. El rendimiento del reactor con modos de lámpara de diferentes potencias. (Li et al., 2018)



Los resultados muestran que la tasa de flujo variaba significativamente en un día, pero compartía patrones de variación diaria similares a largo plazo. Esto proporcionó la base para el funcionamiento económico del reactor mediante la reducción periódica de la potencia de la lámpara. El modo de lámpara adecuado para un flujo de potencia de salida de la lámpara constante se determinó comparando el equivalente de reducción, que siempre se encontró con la solución de conmutación on-off (las lámparas en función de las tasas de flujo). (Shah et al., 2011)

También se analizaron los factores de eficiencia de mezcla del reactor con varios modos de lámpara. La estrategia de funcionamiento económico desarrollada para el reactor podría ahorrar un 32% de energía. Este estudio estableció una metodología para el desarrollo de una estrategia de funcionamiento económico para los reactores de desinfección UV en los sistemas SWS y proporcionó una visión del rendimiento del reactor con respecto a la potencia de salida de la lámpara. (Republic & (MOHURD), 2010).

### 18. Resultados

PARAMETROS	EFICACIA DE LA MEZCLA DE NOPAL Y ALMIDÓN DE YUCA	MORINGA OLEÍFERA COMO COAGULANTE NATURAL	ASPERGILLUS ORYZAE, COMO BIO FLOCULANTE FÚNGICO	USO DE NANOMATERIALES PARA LA PURIFICACION DE AGUA	USO DE FILTROS	DESINFECCION SOLAR CONVENCIONAL SODIS
COSTO	Aproximadamente cuesta \$10.978 Kg	Aproximadamente cuesta \$14.639 Kg de 150 semillas	Precio no reportado	Depende especialmente del tipo de proveedor o comercializadora encargada	Los valores oscilan entre \$164.000 y \$250.000	Libre de gastos para la puesta en marcha la alternativa
ACCESIBILIDAD	Este tipo de plantas se pueden cultivar en la zona, sin embargo las condiciones naturales para su crecimiento son restringidas	Es de fácil acceso, ya que este tipo de planta puede ser cultivado en la zona analizada fácilmente	Es limitada para la comunidad, debido al acceso del hongo-	Es limitada debido a que se deben adquirir por medio de terceros (comercializadores y proveedores de la tecnología)	Pueden ser construidos por la comunidad	Alternativa de fácil asequibilidad ya que únicamente es necesario de envases plásticos tipo PET
IMPLEMENTACION	se debe realizar un paso a paso para la preparación del coagulante (figura 7)	Es simple ya que se utilizan las semillas de la M oleífera.	Es fácil su implementación se adiciona el hongo en forma de pellets	se debe asegurar el debido transporte del agua a la tecnología	se debe asegurar el debido transporte del agua a la tecnología	No existen limitantes debido a que este tipo de alternativa no necesita de materiales extra.
EFICIENCIA DE REMOCION	Eficiencias del 50.2% de turbiedad	Eficiencias de remoción del 41.4%	Eficiencias del 91% en condiciones optimas	Eficiencias del 100%	Eficiencias de remoción de 48,1%	Eficiencias de remoción del 100%

### 19. Evaluación de alternativas

ALTERNATIVA A EVALUAR	PARAMETROS A EVALUAR							RESULTADO DE LA EVALUACION	
	IMPACTO	COSTO	ACCESIBILIDAD	IMPLEMENTACION	EFICIENCIA DE REMOSION DEL CONTAMINANTE	VIDA UTIL	VENTAJAS		DES VENTAJAS
Eficacia de la mezcla de nopal y almidón de yuca como sustancias clarificantes en la purificación del agua	✗ 3	3	3	3	3	3	3	4	3
comparación entre la Moringa oleifera y los coagulantes químicos en la purificación del agua potable	● 5	4	4	5	4	4	5	3	4
Aspergillus Oryzae, un nuevo bio floculante fúngico ecológico para el tratamiento de aguas potables turbias	✗ 3	3	3	3	3	3	3	3	3
Uso de nano partículas de óxido de titanio TiO2	✗ 3	2	3	3	3	3	3	3	3
Uso de nano partículas de óxido de zinc	✗ 3	2	3	1	2	3	1	1	2
nano partículas de hierro para la purificación de agua	✗ 3	2	3	2	3	3	3	4	3
Desinfección solar convencional SODIS	● 5	4	5	4	3	4	4	3	4
filtro de carbón activado	✗ 3	3	4	2	3	2	4	3	3
Caso de estudio: Depuración de aguas contaminadas por petrolíferos por medio de filtros de cerámica mediante filtros de ceniza modificados con cascara de arroz	● 5	4	5	4	4	5	4	3	4
Desarrollo de una estrategia de funcionamiento económico para reactores de desinfección UV multilámpara en sistemas de suministro de agua.	● 5	2	4	3	4	3	3	2	3

	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	VALORES DE EVALUACION
	no es viable la implementación de la alternativa ya que no cumple con los parámetros evaluados	1y2
	Se puede implementar la alternativa siempre y cuando se mejoren ciertos parámetros de evaluación	3
	la alternativa es viable y rentable a la hora de implementar en la zona ya que cumple con los parámetros evaluados	4y5

#### 19.1 Escala de puntuación

PUNTUACIÓN	CALIFICACIÓN
1	MUY MALO
2	MALO
3	REGULAR
4	BUENO
5	EXELENTE



## **20. Análisis de resultados**

Debido a la escasez de agua potable en las zonas rurales y los efectos en la salud que se han venido presentando a nivel mundial a causa del consumo de agua de mala calidad se analizan distintas tecnologías para su tratamiento, valorando de manera objetiva bajo un indicador donde se comparan todas y cada una de las alternativas analizadas, teniendo en cuenta parámetros rigurosos de evaluación el cual nos indica que técnicas son más adecuadas para su implementación.

El proceso de evaluación se llevó a cabo por medio de la herramienta Excel donde se plantea una escala de calidad la cual contiene valores entre 1-5 siendo 1 el puntaje más bajo y 5 el más alto, esta escala nos permite calificar de manera concisa cada uno de los parámetros entre los cuales se evalúan los parámetros mencionados a continuación.( costo, accesibilidad, implementación y eficiencia de remoción.) de este modo se obtiene el resultado, el cual consiste en un código de colores donde se representa en color verde los valores contenidos entre (4y5) las técnicas que se adecuan cumpliendo con los requerimientos exigidos para ser implementados en la vereda de Rio Blanco municipio de Gutiérrez, el color amarillo representa el valor (3) el cual indica que la tecnología debe ajustársele los parámetros que no cumplan para poder ser implementados. y por último se tienen los valores contenidos entre (1 y 3) los cuales indican que no se cumple con ninguno de los parámetros establecidos.

haciendo uso de las herramientas de evaluación y selección anteriormente mencionada se evaluaron técnicas para el mejoramiento de la calidad del agua las



cuales hacen parte de la floculación por medio de floculantes naturales, filtración haciendo uso de técnicas económicas y por último se trabajaron métodos de desinfección que no requieran de costos elevados tal como se menciona a continuación cada una de las tecnologías analizadas y seleccionadas.

La moringa a pesar de no ser tan eficiente como el nopal es la alternativa más adecuada ya que presenta mejores cualidades como su fácil acceso y su facilidad a la hora de implementarse ya que no es necesario pasos o procedimientos extras para producir el coagulante factor clave a la hora de determinar la puesta en marcha en zonas rurales, tal es el caso de la vereda Río Blanco. Por otro lado, estas concentraciones óptimas de ambos coagulantes naturales no alteran el pH, el cual se encontró dentro del rango permisible de calidad de agua potable definido en la resolución colombiana 2115/ 2007.

Para perfeccionar la purificación en el agua en parámetros de turbiedad y color existe una gran variedad de tecnologías en donde resaltan los filtros, la comparación de los filtros sobresale el filtro de vela un sencillo filtro que consta de materiales muy económicos y asequibles como lo son sus recipientes, debido a que se puede utilizar recipientes reutilizados de otros procesos lo que aporta considerablemente a la optimización de costos de implementación.

En cuanto a tecnologías para el proceso de desinfección encontramos la técnica SODIS como las de radiación UV tuvieron una eficiencia de eliminación del 99%, A pesar de la alta remoción en los parámetros analizados, sé toma la decisión que la tecnología más adecuada para ser utilizada en la vereda es el método SODIS ya que en la mayoría de los parámetros evaluados como costos no es necesario una



inversión alta para la puesta en marcha y además no hay costos adicionales en los procesos de operación como el consumo de energía como es el caso de la radiación mediante lámparas UV.



### **21. Recomendaciones**

Bajo el análisis de las diferentes problemáticas en las áreas rurales del país con respecto al consumo de aguas sin previos tratamientos es necesario considerar alternativas que lleven a su potabilización, por lo que se considera la búsqueda y análisis por medio de las diferentes bases de datos donde se encuentran múltiples técnicas aplicadas a nivel mundial, muchas de estas no llevan grandes procesos y son de fácil implementación para comunidades alejadas y con un número pequeño de personas.

Mediante el proceso de la presente investigación, se analizaron diferentes alternativas con respecto al tratamiento del agua suministrada para el consumo humano en la vereda de rio blanco, por lo que se recomienda la implementación de tres metodologías por medio de las cuales se mejoraría sustancialmente la calidad del agua que consumiría esta comunidad, dichas técnicas garantizan el cumplimiento de las principales operaciones unitarias como lo es floculación, filtración y desinfección. Proceso que se encuentra compuesto de la floculación por medio de la planta de moringa como floculante natural, seguido de la filtración por medio de un filtro de tipo vela por su fácil accesibilidad y bajo costo, y por último se recomienda la implementación de la técnica tipo SODIS la cual consta del embotellado del agua filtrada para ser expuesta a la radiación solar.

Mediante la implementación de las tres técnicas anterior mente mencionadas se les proporciona a las 155 personas residentes de la vereda de rio blanco agua libre de sólidos en suspensión como también de micro organismos, de esta manera se aporta a la reducción de enfermedades propiciadas por patógenos en el efluente lo que aporta a que se lleve una mejor calidad de vida.



## 22. Conclusiones

Mediante la consulta e investigación de alternativas económicas y accesibles para la purificación de agua encontramos moringa oleífera, nopal, almidón de yuca, *Aspergillus oryzae*, nano partículas de plata y zinc, filtros de vela, cerámica, convencionales de arena, carbón activado en procesos de eliminación de turbiedad, y el método SODIS como opción de desinfección las cuales se caracterizan por ser de origen natural o fáciles de implementar.

Se realizó la evaluación de los distintos métodos mencionados anteriormente teniendo en cuenta factores como: eficiencias de remoción, vida útil, e impacto en la comunidad calificándolos mediante una escala de 1-5, identificando cuál o cuáles tecnologías son las más idóneas según las características de la vereda Río Blanco en donde destacan alternativas como:

El uso de coagulantes naturales específicamente la Moringa oleífera ya que es de fácil acceso debido a que puede ser cultivada fácilmente en la zona, garantizando una efectiva remoción de contaminantes como turbiedad y color e incluso microorganismos como *E coli*, además tiene una capacidad de agua a tratar de 6000 litros de agua con dosis óptimas de 50 mg/l, y no es necesario la adición de sustancias químicas.

Filtración: Por medio de un filtro convencional de tipo vela se caracteriza por el fácil acceso a sus materiales y sus costos bajos, asegurando eficiencias de remoción en donde resalta su medio filtrante el cual se compone de materiales micro porosos enfatizando filtros de vela hechos con mezclas de ceniza de cáscara de arroz, poli etilenglicol (PEG), y arcilla.



desinfección: Por medio de radiación solar mediante la técnica SODIS ya que utiliza la energía térmica y óptica de los rayos ultravioleta provenientes del sol, garantizando una inactivación de los principales microorganismos presentes en el agua y solo basta de recipientes plásticos tipo PET como material.

las presentes técnicas son adecuadas de utilizar en áreas rurales ya que garantiza a los habitantes de la vereda de río blanco agua potable libre de contaminantes y microorganismos patógenos, mejorando la calidad de vida. Para ello es necesario el estudio de nuevas alternativas para la purificación del recurso hídrico, que contribuyan a la mejora del recurso hídrico en zonas de difícil acceso para satisfacer comunidades vulnerables.

Cabe resaltar que las operaciones unitarias alternas propuestas se deben implementar desde el punto de uso, es decir en cada una de las viviendas de los pobladores de la vereda para asegurar una buena eficiencia y remoción de contaminantes, Es necesario la búsqueda de nuevos métodos de purificación que contribuyan a la mejora del recurso hídrico especialmente en zonas de difícil acceso para satisfacer comunidades.



## 24. Referencias Bibliográficas

- Albert, J., Luoto, J., & S, D. L. (2010). *End-User Preferences for and Performance of Competing POU Water Treatment Technologies among the Rural Poor of Kenya*.
- Amin, M. T., Alazba, A. A., & Manzoor, U. (2014). *A Review of Removal of Pollutants from Water/Wastewater Using Different Types of Nanomaterials*.
- Asiimwe, J. K., Quilty, B., Muyanja, C. K., & McGuigan, K. G. (2013). *Field comparison of solar water disinfection (SODIS) efficacy between glass and polyethylene terephthalate (PET) plastic bottles under sub-Saharan weather conditions*. *J. Water Health*. 11 (4), 729–737.
- Barth, H. (1982). *Trinkwasseraufbereitung mit samen von Moringa oleifera lam*, *Chemiker-Zeitung*, p. 106.
- Bhatia, S., & Verma, N. (2017). *Photocatalytic activity of ZnO nanoparticles with optimization of defects*. *Materials Research Bulletin*, 95, 468–476.  
<https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2017.08.019>
- Buttice, A. (2012). *Aggregation of Sediment and Bacteria with Mucilage from the Opuntia ficus-indica Cactus*. *Tesis Doctoral*. University of South Florida, USA.
- CERÁMICAS POR LA PAZ. 2000. *No tiene agua potable Filtrón tu solución*. Managua Nicaragua.
- Chaúque, B. J. M., & Rott, M. B. (2021). *Solar disinfection (SODIS) technologies as alternative for large-scale public drinking water supply: Advances and challenges*. *Chemosphere*, 281(March), 130754. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130754>
- Chu, C., Ryberg, E. C., Loeb, S. K., Suh, M.-J., & Kim, J.-H. (2019). *Chu, C., Ryberg, E.C., Loeb, S.K., Suh, M.-J., Kim, J.-H., Water disinfection in rural areas demands unconventional solar technologies*. *Acc. Chem. Res.* 52 (5), 1187–1195.
- Cogollo, J. (2011). *Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: caso del hidroxiclورو de aluminio*.
- Contreras K, OliveroR, MendozaJ, M. S., & Mendoza, G. (2015). *El Nopal (Opuntia ficus-indica) como coagulante natural complementario en la clarificación de agua*.
- Dimapilis, E. A. S., Hsu, C. S., Mendoza, R., M. O., & L., & C., M. (2018). *Zinc oxide nanoparticles for water disinfection*. *Sustainable Environment Research*, 28(2), 47-56.



- Elmi, F., Moulana, H. A. Z., Salehian, F., Asgharpour, S. M. T. F., Fallah, H., & Elmi, M. (2014). *The use of antibacterial activity of ZnO nanoparticles in the treatment of municipal wastewater*.
- Fang, J., Fu, Y., & Shang, C. (n.d.). The Roles of Reactive Species in Micropollutant Degradation in the UV/Free Chlorine System.
- Firman, L. R., Ochoa, N. A., Marchese, J., & Pagliero, C. L. (2018). Tratamiento de efluentes acuosos provenientes de la industria de biodiesel, utilizando tecnología de membranas. *Matéria (Rio de Janeiro)*, 23(2). <https://doi.org/10.1590/s1517-707620180002.0418>
- Fox, D., T, I. P., D, Y., & Alcantar, N. (2012). *Removing Heavy Metals in Water: The interaction of cactus mucilage and arsenate*.
- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253–262. <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.881>
- Hajipour, M. J., Fromm, K. M., Akbar Ashkarran, A., Jimenez de Aberasturi, D., Larramendi, I. R. de, Rojo, T., Serpooshan, V., Parak, W. J., & Mahmoudi, M. (2012). Antibacterial properties of nanoparticles. *Trends in Biotechnology*, 30(10), 499–511. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.06.004>
- Hajipour, M. J., Fromm, K. M., Akbar Ashkarran, A., Jimenez de Aberasturi, D., Larramendi, I. R. de, Rojo, T., Serpooshan, V., Parak, W. J., & Mahmoudi, M. (2012). Antibacterial properties of nanoparticles. *Trends in Biotechnology*, 30(10), 499–511. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2012.06.004>
- Heaselgrave, W., & Kilvington, S. (2011). *The efficacy of simulated solar disinfection (SODIS) against Ascaris, Giardia, Acanthamoeba, Naegleria, Entamoeba and Cryptosporidium*.
- Instituto Nacional de Salud, & IDEAM. (2007). *Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00). Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial*. 96, 2. [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)
- Jacangelo, J. G., Watson, M., & Buckley, C. A. (2016). MICROFILTRACIÓN. In *Tratamiento del agua por procesos de membrana (sexta, pp. 1–13)*. México.
- Khan, S. T., & Malik, A. (2019). Engineered nanomaterials for water decontamination and purification: From lab to products. *Journal of Hazardous Materials*, 363(August 2018), 295–308. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.09.091>



- Khan, S. T., & Malik, A. (n.d.). *Revista de Materiales Peligrosos Nanomateriales de ingeniería para la descontaminación y purificación del agua: Del laboratorio a los productos*.
- Kreyling, W. G., Semmler-Behnke, M., & Chaudhry, Q. (2010). A complementary definition of nanomaterial. *Nano Today*, 5(3), 165–168.  
<https://doi.org/10.1016/j.nantod.2010.03.004>
- Lawrence, K., Wang, C., Ford, W., & Chen, W.-Y. (2004). *Filtración de tejidos. De: Handbook of Environmental Engineering. 1 Air Poll.*
- Li, W., Li, M., Wen, D., & Qiang, Z. (2018). Development of economical-running strategy for multi-lamp UV disinfection reactors in secondary water supply systems with computational fluid dynamics simulations. *Chemical Engineering Journal*, 343(March), 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.03.017>
- Lii, M., Qiang, Z., Bolton, J. R., Li, W., & PengChen. (2014). UV disinfection of secondary water supply: Online monitoring with micro-fluorescent silica detectors.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894714007566>
- Ling, L., Pan, B., & Zhang, W. xian. (2015). Removal of selenium from water with nanoscale zero-valent iron: Mechanisms of intraparticle reduction of Se(IV). *Water Research*, 71(34), 274–281. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.01.002>
- Lugo. (2018). *Beneficios socioambientales por potabilización del agua en los pueblos palafíticos de la Ciénaga Grande de Santa Marta*. Colombia.RevistaUDCA ActualidadDivulgacio'n Científica 211),259-264.
- Lugo-Arias, J., Lugo-Arias, E., Ovallos-Gazabon, D., Arango, J., de la Puente, M., & Silva, J. (2020). Effectiveness of the mixture of nopal and cassava starch as clarifying substances in water purification: A case study in Colombia. *Heliyon*, 6(6).  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04296>
- Madu, J. O., Adams, F. V., Agboola, B. O., Ikotun, B. D., & Joseph, I. V. (2021). Purifications of petroleum products contaminated water using modified rice husk ash filters. *Materials Today: Proceedings*, 38, 599–604.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.466>
- Mario Orlando López Castro, & Orjuela, L. C. O. (2007). *Hoja metodológica del indicador Índice de calidad del agua (Versión 1,00)*. *Sistema de Indicadores Ambientales de Colombia - Indicadores de Calidad del agua superficial*. 96, 2. [www.ideam.gov.co](http://www.ideam.gov.co)
- Markowska K, Grudniak, A., & Wolska, K. I. (2013). *Silver nanoparticles as an alternative strategy against bacterial biofilms*.



- Masturi, Silvia, Aji Mahardika, Sustini, Euis, & Khairurrijal, Abdullah, M. (2012). *Permeability, Strength and Filtration Performance for Uncoated and Titania-Coated Clay Wastewater Filters. American Journal of Environmental.*
- McGuigan, K. G., Joyce, T. M., Conroy, R. M., & Gillespie, J. B. (2012). *Solar disinfection of drinking water contained in transparent plastic bottles: characterizing the bacterial inactivation process. J. Appl. Microbiol.* 84, 1138–1148.
- Miller, S., J. E., Fugate, Vinka Oyanedel Craver, J. A. S., & Zimmerman, J. B. (2008). *Toward Understanding the Efficacy and Mechanism of Opuntia spp. as a Natural Coagulant for Potential Application in Water Treatment.*
- Morita, S., Namikoshi, A., Hirata, T., Oguma, K., Katayama, H., & Ohgaki, S. (2002). *Efficacy of UV irradiation in inactivating Cryptosporidium parvum oocysts.*
- Mukhtar, A., Ali, W., & Hussain, G. (2015). A preliminary study of Opuntia stricta as a coagulant for turbidity removal in surface waters. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences*, 52(2), 117–124.
- Nalwanga, R., Muyanja, C. K., McGuigan, K. G., & Quilty, B. (2018). A study of the bacteriological quality of roof-harvested rainwater and an evaluation of SODIS as a suitable treatment technology in rural Sub-Saharan Africa. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(3), 3648–3655. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.12.008>
- Nie, Y., Wang, Z., Zhang, R., Ma, J., Zhang, H., Li, S., & Li, J. (2021). Aspergillus oryzae, a novel eco-friendly fungal bioflocculant for turbid drinking water treatment. *Separation and Purification Technology*, 279, 119669. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119669>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2015). Agua y saneamiento - Desarrollo Sostenible. In *Organización de las Naciones Unidas*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Ottofuelling, S., Kammer, F. Von Der, & Hofmann, T. (2011). *Commercial Titanium Dioxide Nanoparticles in Both Natural and Synthetic Water: Comprehensive Multidimensional Testing and Prediction of Aggregation Behavior.* <https://doi.org/10.1021/es2023225>
- P Contreras, K., Aguas, Y., Salcedo, G., Olivero, R., & Mendoza, G. (2015). *Artículo original / Original article / Artigo original Producción + Limpia-Enero-Junio de.* 10(1), 40–50.
- Palomino, (2013). Purificación de agua por medio de filtros lentos de arena en la comunidad de Kuychiro – Cusco. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Cusco. Perú



- Parada, D. C., Alarcón, R. A., Pacheco, J. F., & Ramírez, C. (2016). *RECOPIACIÓN DE EXPERIENCIAS EN LA POTABILIZACIÓN DEL AGUA POR MEDIO DEL USO DE FILTROS*.
- Perdomo, C. (2014). *Filtro de arena lento: Manual para el armado, instalación y monitoreo*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Pichel, N., Vivar, M., & Fuentes, M. (2019). *The problem of drinking water access: a review of disinfection technologies with an emphasis on solar treatment methods*. *Chemosphere*.
- Prasad, G., & P.G. Vinod. (1952). *Conference Proceedings International Conference on Electrical, Electronics, Materials and Applied Science*.
- Pritchard, M., Craven, T., Mkandawire, T., Edmondson, A. S., & O'Neill, J. G. (2010). 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*, 35(13–14), 798–805.  
<https://doi.org/10.1016/j.pce.2010.07.014>
- Republic, M. of H. and U.-R. D. of the P., & (MOHURD), C. (2010). *Technical specification for secondary water supply engineering*
- Rojas, R., y Guevara, S. (2000) *Filtros de mesa Lima*.
- Roopal, S. (2016). *Panorama de las aguas subterráneas en la India. Documento de recursos. Standing Committee on Water*. <http://www.esocialsciences.org/Download.aspx?q=sO61F/Ryd+YqfWs04so3MVvg+jeb0CUt+.%0A+bFP4vAmlZNVjTcvU+t0+/Kc8Wq2dMIM9mGrPxIhM2z/cnmBMUuccEPQ1pxzcqxnZ8Ppav7he+4N7o//uNdxDHwgF/wLXevKNILsaVuTWybnfRcSY72g>
- Salem, W., Leitner, D. R., Zingl, F. G., Schratte, G., Prassl, R., Goessler, W., Reidl, J., & Schild, S. (2015). Antibacterial activity of silver and zinc nanoparticles against *Vibrio cholerae* and enterotoxigenic *Escherichia coli*. *International Journal of Medical Microbiology*, 305(1), 85–95. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2014.11.005>
- Schriks, M., M. H., van der Kooi, M., de Voogt, P., & A., van W. (2010). *Toxicological relevance of emerging contaminants for drinking water quality*.
- Sen, S., Gupta Theruvakkattil, Sreenivasan Sreepasad, Shihabudheen, Mundampra Maliyekkal, S. K., Thalappil, D., & Pradeep. (2012). *Grafeno del azúcar y su aplicación en la purificación del agua*. American Chemical Society, *ACS Appl. Mater. Interfaces*.





- Shah, A. misha D., Dotson, A. D., Linden, K. G., & Mitch, W. A. (2011). Impact of UV Disinfection Combined with Chlorination/Chloramination on the Formation of Halonitromethanes and Haloacetonitriles in Drinking Water.
- Shams, T., Malik, A., & Khan. (2019). *Engineered nanomaterials for water decontamination and purification: From lab to products*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389418308859>
- Sökmen, M., Değerli, S., & Aslan, A. (2008). *Photocatalytic disinfection of Giardia intestinalis and Acanthamoeba castellanii cysts in water*.
- UNICEF. (2016). En Los Planes De Desarrollo. *New Yorck*, 3, 31–56.
- Vargas, M., & Romero, L. (2006). *Aprovechamiento de algunos materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas en Costa Rica*.
- YIN, C. Y. (2010). *Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment*.
- Zodrow, K., Li, Q., Buono, R., Chen, W., Dalgger, G., Osorio, D., L., E., Huang, X., G, J., J, K., B, L., D, S., P, W., & P., Á. (2017). *Materiales avanzados, tecnologías y análisis de sistemas complejos: oportunidades emergentes para mejorar la seguridad del agua urbana*.