

EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA PARA LA DESINFECCIÓN DEL AGUA DEL CONSUMO  
HUMANO A PARTIR DE UN AGENTE CLORADO EN EL ACUEDUCTO MONDOMO,  
MUNICIPIO DE SANTANDER DE QUILICHAO CAUCA

YULY ANDREA RUIZ GARZÓN

PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
MAGISTER EN GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA COMPETITIVIDAD

DIRECTOR:

DIANA MARCELA CUESTA PARRA

INGENIERA AMBIENTAL

MAGISTER EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE

CODIRECTOR

JUAN FERNANDO SALDARRIAGA ELORZA

INGENIERO AMBIENTAL

DOCTOR EN INGENIERÍA DE PROCESOS QUÍMICOS Y DESARROLLO SOSTENIBLE

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL PARA LA COMPETITIVIDAD

BOGOTÁ D.C.

2024

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

Diana Marcela Cuesta Parra  
Firma del director

---

Juan Fernando Saldarriaga Elorza  
Firma del codirector

---

Nombre  
Firma del presidente Jurado

---

Adriana Suesca Díaz  
Firma Jurado

---

Darwin Mena Renteria  
Firma Jurado

Bogotá D.C., agosto de 2024

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica

Dra. María Fernanda Vega de Mendoza

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ramiro Augusto Forero Corzo

Vicerrectora de Investigaciones y Extensión

Dra. Susan Margarita Benavides Trujillo

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decana de Ingenierías

Ing. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora Departamento de Ingeniería Ambiental e Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## **DEDICATORIA**

Este título se lo quiero dedicar principalmente a Dios por toda la fortaleza que me dio para poder seguir en el proceso de formación y aprendizaje, además se lo dedico a mi hija quién me acompaño en el último semestre de la maestría dándome motivación para poder culminar este nuevo logro, a mi esposo quién me brindo un apoyo incondicional, el cual cree en mí y confía en las capacidades que tengo para cumplir todo lo que me propongo, a mi mamá y mi hermano por apoyar mi deseo de seguir estudiando y seguir aprendiendo, a mi familia quienes siempre han estado dispuestos y han confiado en la persona que soy hoy, a mi abuelita Alicia Cárdenas y mi tío Segundo Garzón quiénes desde el cielo me acompañan con su amor en este gran logro.

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente a Dios por darme la motivación de seguir aprendiendo y creciendo no solo como persona sino también profesionalmente, a los profesores Juliana Martínez y Juan Fernando Saldarriaga de la Universidad de los Andes quienes fueron mi guía en todo el proceso del trabajo de grado, a mis compañeras de trabajo y el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad de los Andes por permitirme realizar todas las pruebas y brindarme las herramientas para lograr obtener el título de magister en gestión ambiental para la competitividad.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	12
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1. Pregunta de investigación	16
1.2. Justificación	16
1.3. Hipótesis	17
1.4. Objetivo general	17
1.5. Objetivos específicos	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. Antecedentes	18
2.1.1. <i>Bioindicadores usados en la calidad del agua</i>	18
2.1.2. <i>Enfermedades causadas por el consumo de agua no potable</i>	18
2.1.3. <i>Estudios de tratamientos de aguas en presencia de microorganismos</i>	20
2.2. Marco teórico	21
2.2.1. <i>Tratamiento de aguas residuales</i>	21
2.2.2. <i>Potabilización</i>	22
2.2.3. <i>Desinfección</i>	26
2.2.4. <i>Calidad del agua</i>	30
2.2.5. <i>Hipoclorito de sodio</i>	31
2.2.6. <i>Bioindicador</i>	33
2.2.7. <i>Municipio de Santander de Quilichao</i>	36
3. MARCO LEGAL	37
4. METODOLOGÍA	39
4.1. Población	39
4.2. Materiales y equipos	39

4.2.1. <i>Análisis de cloro activo SM 4500-Cl B</i>	40
4.2.2. <i>Determinación de coliformes totales y E. coli.</i>	40
4.2.3. <i>Plan de capacitación</i>	41
4.3. Diseño experimental	41
4.3.1. <i>Prototipo para la obtención de hipoclorito de sodio en sitio</i>	41
4.3.2. <i>Variables</i>	41
4.3.3. <i>Preparación de la cepa de E.coli derivada de ATCC 25922</i>	42
4.3.4. <i>Curva patrón McFarland</i>	42
4.3.5. <i>Curva de crecimiento bacteriano con caldo BHI</i>	42
5. CONDICIONES DEL AGUA EN ACUEDUCTOS RURALES	43
5.1. Condiciones del acceso y saneamiento del agua potable a nivel mundial	433
5.2. Condiciones del acceso y saneamiento del agua potable en Latinoamérica y el Caribe	44
5.3. Condiciones del acceso y saneamiento del agua potable en Colombia	50
6. EFICIENCIA DE INHIBICIÓN MICROBIOLÓGICA DEL AGENTE CLORADO	56
6.1. Proceso de inhibición de la bacteria E.coli	56
6.1.1. <i>Análisis de la E.coli con una muestra control</i>	56
6.1.2. <i>Muestreo en el acueducto de Mondomo</i>	58
7. PLAN DE CAPACITACIÓN DE DESINFECCIÓN	67
8. CONCLUSIONES	73
REFERENCIAS	75

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Proceso para la potabilización del agua	24
<b>Figura 2.</b> Siembra diluciones con NaClO	57
<b>Figura 3.</b> Curva de crecimiento de la bacteria E.coli en caldo BHI	57
<b>Figura 4.</b> Diluciones seriadas con NaClO	58
<b>Figura 5.</b> Acueducto de Mondomo	59
<b>Figura 6.</b> Resultados en UFC/100 mL de agua tratada con 0.5 mg/L de NaClO	61
<b>Figura 7.</b> Resultados en UFC/100 mL de agua tratada con 1 mg/L de NaClO	62
<b>Figura 8.</b> Resultados en UFC/100 mL de agua tratada con 2 mg/L de NaClO	63
<b>Figura 9.</b> Equipo utilizado para determinar la concentración de hipoclorito de sodio con el kit HANNA 3843-100	69
<b>Figura 10.</b> Evidencia de entrega del manual de operación y la capacitación al personal encargado del acueducto	69

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Sistemas de tratamiento de aguas residuales	21
<b>Tabla 2.</b> Método físico de desinfección en aguas	27
<b>Tabla 3.</b> Método químico de desinfección en aguas	28
<b>Tabla 4.</b> Métodos de obtención del hipoclorito de sodio	32
<b>Tabla 5.</b> Principales enfermedades causadas por la presencia de bacterias	35
<b>Tabla 6.</b> Metodología para recuento de coliformes totales y <i>E.coli</i>	40
<b>Tabla 7.</b> Cifras a nivel mundial para el acceso y saneamiento de agua potable	43
<b>Tabla 8.</b> Proyectos ejecutados en América Latina para el acceso de agua potable y saneamiento	46
<b>Tabla 9.</b> Resultados análisis microbiológicos en las muestras tomadas por el método de filtración por membrana	60
<b>Tabla 10.</b> Desviación estándar de las muestras analizadas	63
<b>Tabla 11.</b> Resultados obtenidos en muestreo de seguimiento	64
<b>Tabla 12.</b> Resultados agua cruda de municipios participantes del proyecto ASIR-SABA	65
<b>Tabla 13.</b> Prueba por método yodométrico	67
<b>Tabla 14.</b> Prueba con el kit de HANNA para determinación de hipoclorito de sodio en sitio	68
<b>Tabla 15.</b> Comparativo uso de hipoclorito de calcio y el hipoclorito de sodio	70

## RESUMEN

Los problemas de agua potable en Colombia siguen siendo una dificultad para la salud pública, especialmente de aquellas poblaciones rurales. Este proyecto busca el desarrollo de un sistema alternativo de cloración para tratamiento de agua potable probado en el corregimiento de Mondomo, municipio de Santander de Quilichao Cauca, el cual permite la obtención de agua con una calidad óptima para el consumo humano. Previamente el equipo de investigadores de la Fundación Universidad de América construyó un prototipo con la empresa B&V ingenieros SAS financiado por la agencia suiza para el desarrollo y la cooperación (COSUDE) donde se obtuvo hipoclorito de sodio a partir de la electrólisis del cloruro de sodio, este ha sido usado como desinfectante para inhibir los microorganismos contenidos en el agua que pueden representar alguna afectación en la salud.

Para identificar la eficiencia del desinfectante se determinó concentraciones de hipoclorito de sodio de 0.5 mg/L, 1 mg/L y 2 mg/L, así como tiempos de contacto de 10 minutos, 20 minutos y 30 minutos, posterior a esto se utilizó el método de McFarland y curva de crecimiento de la *Escherichia coli* en caldo BHI para evaluar la inhibición del bioindicador por el método de filtración por membrana.

Al realizar la evaluación de la presencia de la bacteria *E.coli* en la muestra control se evidencia la inhibición completa del bioindicador en contacto directo con el desinfectante, sin embargo, en el muestreo realizado en el acueducto de Mondomo, Santander de Quilichao Cauca no se logra la inhibición completa de los coliformes totales, por lo cual se realiza un muestreo de seguimiento para determinar que la concentración y tiempo de contacto establecido cumple con lo descrito en la Resolución 2115 de 2007 artículo 11.

**Palabras claves:** Desinfección, potabilización, hipoclorito de sodio, calidad de agua, *Escherichia coli*.

## INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta que el planeta tierra cuenta con un 97% de agua en los océanos y 2% se encuentra congelada, de estos porcentajes el 80% está en la superficie y el 20% restante se encuentra bajo tierra o como vapor. Como se puede evidenciar la mayor cantidad del agua es salada lo que limita a tener tan solo un 2.5% de agua dulce de la cual el 0.007% es agua potable (AQUAE FUNDACIÓN, 2021). A pesar de que se cuenta con una proporción considerable de agua en la actualidad existe escasez de esta, esto se debe al cambio climático donde se ha logrado identificar que muchos de los desastres naturales están relacionados con el agua (Banco Mundial, 2023). La eutrofización, pesca, actividades recreativas, las sequias e inundaciones provocan la contaminación del agua y por ende la aparición de nuevos patógenos (UNESCO, 2020). Existen muchos factores que afectan la disponibilidad de agua entre ellos se encuentra el problema en las infraestructuras de agua puesto que están obsoletas, esto se debe a un mal manejo en el almacenamiento, sedimentación, costos operacionales elevados y mantenimientos, generando así el fin de su vida útil e incrementado los costos para lograr la potabilización del agua (UNESCO, 2020). Teniendo en cuenta lo anterior, se puede confirmar que la demanda de agua se ha elevado a medida que existe un incremento en la población, en los últimos 50 años se triplicó la demanda de agua potable donde se hace necesario 64000 millones de metros cúbicos en un año, sumado a esto los países desarrollados no ayudan en el ahorro de consumo de agua pues solamente en Estados Unidos el gasto por persona es de 7800 litros, España tiene una huella hídrica de 2.5 millones de litros/persona, Mongolia tiene un consumo de 10000 litros/habitante, además el uso de agua para el crecimiento económico es importante para los procesos de importación de productos en Países Bajos el 95% de la huella hídrica es usada para la producción de dichos productos, así como para Paraguay el 3% de su consumo se encuentra en bienes importados (AQUAE FUNDACIÓN, 2021). Es importante tener en cuenta que para minimizar este impacto es necesario que se involucren tanto los entes gubernamentales como la comunidad, ya que en las cuencas fluviales transfronterizas no existen normas que regulen su uso, lo que ha generado controversias en 310 cuencas de todo el mundo (Banco Mundial, 2023). Por la alta demanda de agua se ha generado la necesidad de buscar recursos hídricos no convencionales dentro de los cuales se encuentra la reutilización del agua, la desalinización de agua de mar, captación de humedad atmosférica, acuíferos ubicados en alta mar, transporte físico de agua dulce por mar, esto con el fin de poder aprovechar el agua y tener mayor acceso (UNESCO, 2020).

Los cuerpos de aguas se han visto contaminados por acciones antropogénicas, los contaminantes recibidos en los cuerpos de agua no se pueden eliminar con un método

convencional, sino que se debe utilizar una serie de procesos más especializados y por esto surge lo que se conoce como plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) (Hidalgo Valdivia et al., 2020). Aproximadamente 2.9 millones de personas mueren al año por el consumo de aguas contaminadas (Quintero Bonilla, 2022). En Colombia se han construido varias plantas de tratamiento de agua potable. Sin embargo, algunas de ellas no tienen un funcionamiento adecuado o el sistema implementado no es el adecuado (Aларcon Mariño, 2021). Actualmente se está presentando escasez de agua dulce debido al incremento en la población del planeta Tierra y el uso a nivel industrial lo que hace necesario fortalecer procesos como la potabilización (Hashim et al., 2020). El tratamiento de agua potable utiliza varios métodos entre ellos se encuentran los físicos donde se encuentran métodos de sedimentación o flotación ayudados por la diferencia entre las propiedades de los sólidos y las del agua, los químicos donde se utilizan productos para generar coloides que pueden ser separados conociendo este proceso como coagulación o floculación y los microbiológicos donde se busca que los microorganismos presentes consuman la cantidad de materia orgánica que no se logró eliminando los coloides que no fueron removidos naturalmente (Vargas et al., 2020).

El proceso de desinfección se lleva a cabo en la potabilización del agua para disminuir la exposición o vulnerabilidad a diferentes enfermedades generadas por agentes patógenos contenidos en las aguas usadas para consumo humano teniendo como base la salud pública. Cabe mencionar que el proceso de desinfección no discrimina entre bacterias que sean o no patógenas, por ende, su función es afectar la pared celular del microorganismo, generar variación en la permeabilidad de las células, modificar el contenido en el protoplasma y abstener la actividad de las enzimas (IBLSpecific, 2020). Entre los procesos de desinfección más importantes se puede encontrar la cloración utilizada en la mayoría de los países debido a que es económica, confiable y produce un efecto residual que permite que siga actuando por un tiempo más prolongado cumpliendo su principal función. En el proceso de desinfección se debe tener en cuenta factores claves como el tiempo de contacto, tipo y concentración, temperatura, pH, entre otros. Existen diferentes agentes involucrados en los procesos de desinfección dentro de estos podemos encontrar: cloro y sus derivados, dióxido de cloro, ozono, ácido peracético, permanganato de potasio o radiación UV (Ocampo-Rodríguez et al., 2022).

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la producción de un desinfectante clorado obtenido mediante electrólisis en un prototipo para identificar la inhibición de la bacteria *Escherichia coli* presente en la quebrada San Pablo en el municipio de Mondomo, teniendo en cuenta la dosis óptima y el tiempo de contacto para lograr dar cumplimiento a la resolución 2115 de 2007 de Colombia y así brindar agua potable apta para consumo humano. En el trabajo de

grado se da a conocer los materiales y métodos utilizados, los resultados con su discusión y las conclusiones del proyecto. En el primer capítulo se realizó una investigación bibliográfica a nivel mundial, Latinoamérica y Colombia del estado en que se encuentran los acueductos de zonas rurales y los proyectos que se están llevando a cabo para mejorar el acceso y saneamiento de agua potable, en el segundo capítulo se muestran los resultados obtenidos en el laboratorio teniendo en cuenta el muestreo ejecutado en el acueducto del municipio de Mondomo y la evaluación de la inhibición del bioindicador *E.coli* a diferentes concentraciones y tiempos de contacto y en el tercer capítulo se ejecutó un plan de capacitación para el personal del acueducto en el uso del equipo del kit HANNA 3843-100 para determinar la concentración de hipoclorito de sodio generado por el prototipo.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El agua es un elemento vital para la calidad de vida de las personas y es un derecho fundamental el tener acceso a agua potable y saneamiento (Constitución Política de Colombia, 1991), sin embargo, se puede identificar que 785 millones de personas en el mundo no cuentan con acceso a agua potable, donde se dice que 8 de cada 10 personas viven en zonas rurales (Banco de Desarrollo de América Latina, 2021), por ende, se puede determinar que las zonas urbanas son las que mejor gozan de este beneficio pues en las zonas rurales no se lleva a cabo un proceso completo de potabilización o tratamiento de aguas o en muchas poblaciones ni siquiera se cuenta con este procedimiento.

Colombia no es la excepción a la regla y aunque es considerado como uno de los países más rico en recursos hídricos esto no implica que la igualdad en el acceso sea mejor que en otras partes del mundo, se dice que por lo menos 3 millones de personas que habitan en zonas rurales no cuentan con acceso a agua potable y la mitad de estos no cuentan con servicio de acueducto ni alcantarillado, sumado a esto existen aproximadamente 26 enfermedades diferentes causadas por el consumo de aguas no potables (MINVIVIENDA, 2019)

El departamento del Cauca ubicado al suroccidente de Colombia cuenta con recursos hídricos los cuales abastecen a diferentes corregimientos, pero principalmente a las grandes ciudades, allí mismo se encuentra el municipio de Santander de Quilichao el cual presenta un problema en la contaminación de diferentes cuerpos de agua por sus actividades económicas como la agricultura, ganadería y la presencia de minería ilegal, así como la disminución en los caudales y presencia de procesos erosivos y afectación como inundaciones, avalanchas y deslizamientos (Proyecto ASIR-SABA, 2016a). El método de desinfección de las aguas es manual a través de adición de cloro granulado y las plantas de tratamiento no se han interesado en realizar análisis para evaluar la calidad de agua que se está brindando debido a que no cuentan con laboratorios para realizar análisis microbiológicos y el 50% de las plantas cuentan con algún método para hacer mediciones de pH y cloro (Proyecto ASIR-SABA, 2016a). Así mismo, en dicho municipio no se ha podido relacionar el 27% de casos de niños menores de 5 años que presentaron diarrea en los últimos 3 meses debido a que no tiene como realizar comparación entre la calidad de agua que se brinda y la aparición de dicha enfermedad. Se realizó la evaluación del índice de riesgo de la calidad de agua (IRCA) donde se observó que para el municipio de Santander de Quilichao el 74% de los sistemas suministran agua con un riesgo alto, el 20% con riesgo medio y el 6% sin riesgo para la salud de las personas, teniendo en cuenta lo anterior se determinó que el corregimiento de Mondomo la calidad de la fuente (Bocatoma Quebrada San Pablo) se encuentra en un parámetro aceptable, el riesgo de consumo

de agua cuenta con un puntaje de 1.8 siendo clasificada como sin riesgo esta clasificación fue realizada por Centro Regional de Análisis Ambientales CRAM y Emquilichao ESP a través de un muestreo de 114 muestras donde se realizaron mediciones fisicoquímicas y microbiológicas, los resultados fueron analizados teniendo en cuenta el cálculo del IRCA de la Resolución 2115 de 2007 y la calidad del agua se determinó usando como referencia el título C de la Resolución 1096 del 2000, antes de la llegada del proyecto ASIR-SABA se realizaba el proceso de desinfección con hipoclorito de calcio. Sin embargo, con el proyecto se busca promover el uso del hipoclorito de sodio obtenido en el equipo entregado a la comunidad (Proyecto ASIR-SABA, 2016a).

Por esta razón, el proyecto busca mejorar la calidad de agua suministrada a la comunidad de Mondomo, con la creación de un prototipo que permita producir hipoclorito a partir de cloruro de sodio el cual será utilizado para realizar el proceso de desinfección en el acueducto; se realizó la evaluación en la inhibición del bioindicador *E.coli* para que así los trabajadores del acueducto cuenten con la información adecuada de la concentración que se debe utilizar para lograr la remoción total de los agentes microbiológicos patógenos y cumplir así con lo establecido en la Resolución 2115 de 2007.

### **1.1. Pregunta de investigación**

¿Cuál es la capacidad del hipoclorito de sodio obtenido por electrólisis para inhibir el crecimiento de la bacteria *Escherichia coli* en aguas para consumo humano en sistema de tratamiento ubicado en el corregimiento de Mondomo en el municipio de Santander de Quilichao en el Cauca?

### **1.2. Justificación**

Previamente el equipo de investigadores de la Fundación Universidad de América construyó un prototipo con la empresa B&V ingenieros SAS para generar un desinfectante a partir de cloruro de sodio mediante un proceso electroquímico para así lograr un tratamiento de aguas en el corregimiento de Mondomo en el municipio de Santander de Quilichao, analizando la eficiencia a partir de pruebas con la bacteria *Escherichia coli* la cual es reconocida como bioindicador en la calidad del agua.

A nivel mundial se busca mejorar los procesos de potabilización del agua para poder ofrecer un mejor servicio en el acceso y saneamiento de este; sin embargo, según la Organización Mundial de la Salud al menos 2000 millones de personas tienen acceso a aguas potables contaminadas con heces fecales las cuales causan enfermedades como la diarrea, la cólera, la fiebre tifoidea, entre otras (OMS, 2022a). En Colombia existe una gran brecha en la cobertura del servicio de acueducto y alcantarillado brindado para zonas urbanas y rurales, teniendo así

porcentajes del 97% y el 91% respectivamente para zonas urbanas y tan solo el 73% y 68% para zonas rurales; para el municipio de Santander de Quilichao la diferencia en dichos porcentajes es mucho más grave debido a que las zonas urbanas cuentan con un 99% en cobertura de acueducto y 97% en cobertura de alcantarillado mientras que para las zonas rurales las coberturas es del 65% y 10% respectivamente (Proyecto ASIR-SABA, 2016a), es por esto que se evidencia la vulnerabilidad para las personas que viven en zonas rurales haciéndolas más propensas a enfermedades causadas por el consumo de aguas contaminadas.

Si bien es importante tener en cuenta que uno de los derechos fundamentales es el acceso a agua potable debido a que esta garantiza una mejor calidad de vida, por ende, lo que se busca con esta investigación es poder generar un prototipo el cual será manipulado por la comunidad de dicho corregimiento (previa capacitación) para así poder obtener un tratamiento en las aguas para consumo humano (Proyecto ASIR-SABA, 2016a). Teniendo en cuenta que dicha comunidad fue y aún es víctima del conflicto armado en Colombia, lo que se busca con este proyecto es garantizar el bienestar de la comunidad del corregimiento de Mondomo aportando en el mejoramiento de la calidad de vida, especialmente de los niños evitando así que se generen enfermedades causadas por la presencia de diferentes microorganismos patógenos en las aguas que se consumen actualmente.

### **1.3. Hipótesis**

El agente desinfectante obtenido en el proceso electroquímico cuenta con la capacidad de eliminar bacterias patógenas como la *Escherichia coli* para poder consumir el agua suministrada al corregimiento de Mondomo en el municipio de Santander de Quilichao en el Cauca.

### **1.4. Objetivo general**

Evaluar la capacidad de remoción microbiológica de la solución de hipoclorito de sodio producido por electrólisis, usando la bacteria *Escherichia coli* como bioindicador en el corregimiento de Mondomo en Santander de Quilichao, Cauca.

### **1.5. Objetivos específicos**

- Revisar las condiciones de desinfección de agua en acueductos rurales.
- Establecer la eficiencia de inhibición microbiológica del desinfectante clorado obtenido en sitio.
- Formular un plan de capacitación en desinfección para el personal operativo en el acueducto del corregimiento de Mondomo, Santander de Quilichao, Cauca.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

Se determina que son muchos los factores involucrados en la contaminación de aguas para consumo humano y por ello se genera la necesidad de realizar estudios que permitan mitigar estos impactos, a continuación, se dará a conocer algunos de ellos y los diferentes resultados

#### 2.1.1. *Bioindicadores usados en la calidad del agua*

La *Escherichia coli* es una bacteria utilizada como bioindicador en la calidad de agua, esto se puede evidenciar según (Wen et al., 2020) donde en su artículo publicado realiza el análisis de los indicadores de calidad de agua utilizados en los diferentes países del mundo como lo son Japón, Singapur, Malasia, continente europeo, Estados Unidos, Canadá, Australia, Nueva Zelanda, África y China determinando que el indicador más utilizado en cada uno de estos es la *Escherichia coli sp*, sin embargo, se está en la búsqueda de otros indicadores microbiológicos causantes de la aparición de diferentes enfermedades que están causando la muerte si no se realiza el tratamiento óptimo para combatirlos, evitando así que se sigan propagando tantas enfermedades causadas por la presencia de diferentes microorganismos.

Actualmente se reconoce algunos bio-indicadores en la calidad del agua, aunque, existen estudios que han encontrado la presencia de otros microorganismos que pueden servir también como bio-indicadores pues pueden llegar a ser resistentes al proceso de tratamiento que se realiza en aguas y su presencia puede representar un problema en la salud de las personas, por ello (Rios et al., 2017) manifiesta que las enfermedades transmitidas por el agua es un problema a nivel mundial y que éstas representan el 21% de las muertes en niños menores de 5 años estas enfermedades pueden ser de diferentes tipos como viral, bacteriana, micóticas o parasitarias. Además manifiesta necesidad de mantener un monitoreo en bio-indicadores de calidad de agua los cuales se deben tener en cuenta si presentan características como bajo potencial patógeno, alta presencia en aguas y en materia fecal así como relación en la presencia de organismos patógenos; dentro de los bioindicadores fecales se tiene *Escherichia Coli* y *Enterococos*, sin embargo, existe otros microorganismos que han demostrado tener un mejor comportamiento como bio-indicadores y pueden optimizar los diagnósticos de tratamiento o potabilización de aguas, entre estos encontramos *Pseudomonas spp*, *Streptococos* fecales, *Norovirus* y *Cryptosporidium ssp*.

#### 2.1.2. *Enfermedades causadas por el consumo de agua no potable*

Dentro de las investigaciones a tener en cuenta se evidencia que según (Pasmíño, 2021) en Ecuador en el sector de Pianguapí se estableció que el abastecimiento de agua para familias

en un porcentaje del 78% está determinado directamente de las tuberías y el excedente lo hace por medio de tanqueros o del río, según encuestas realizadas en el sector se logró determinar que el 57% de la población consumen agua de bidones o embotelladas pero no saben si estas cuentan con registro sanitario, el 33% consumen de la red de agua potable y el 4% lo hacen de los ríos que se encuentren en la zona. Teniendo en cuenta lo anterior, se evidenció la presencia de diferentes enfermedades producto del consumo de aguas no potables donde el 35% presentaron parasitosis, el 27% enfermedades diarreicas, un 4% enfermedades de piel y un 2% enfermedades tifoideas.

Así mismo en Perú se encontró un estudio realizado por (Vivar, 2020) donde la población tiene diferentes formas de consumo de agua estas se encuentran determinadas por el 45% quienes consumen agua hervida, el 41% agua de llave, el 12% aguas de botellón y el 2% agua filtrada, se dice que para dicha población se presentaron unos 60 casos confirmados con fiebre tifoidea y se cree que la razón principal en la aparición de dicha enfermedad está dada por la falta de higiene a la hora de consumir alimentos, según las encuestas solo el 42% de la población lavan los alimentos antes de su consumo, el 30% nunca lo hace y el 28% manifiesta que solo en ocasiones realizan esta tarea.

Del mismo modo, otra investigación importante es la realizada por (Moreno, 2020) demostrando que la población peruana más afectada son niños menores de 5 años donde el consumo directo de aguas residuales ha generado enfermedades diarreicas las cuales son la segunda causa en la tasa de mortalidad, debido a la falta de recursos económicos o de apoyos del gobierno para poder contar con un saneamiento o acceso a agua potable. Por esta razón la investigación realizada por (Moncada, 2018) en Colombia demuestra que el consumo de fuentes de agua naturales presentan un riesgo alto para la salud de la población puesto que en el estudio se encontró la presencia de *Escherichia Coli sp* en varios acueductos veredales dando parámetros fuera de los valores establecidos en la Resolución 2115 de 2007 en veredas ubicadas en el municipio de Villapinzón (Bosavita, San Pablo y La Joya), otro análisis realizado fue la presencia de *Escherichia Coli sp* en aguas crudas y aguas hervidas donde se evidenció una reducción de la bacteria en un 78% y en otros casos se incrementó la presencia de este microorganismos en aguas hervidas por el almacenamiento.

Otro aspecto a tener en cuenta es la presencia de microorganismos patógenos en el riego que se realiza a los alimentos que se compran y que posteriormente serán consumidos por las diferentes personas, por ello se debe analizar el estudio realizado por (Corrales et al., 2018) donde se encontró que los agricultores utilizan el agua de la cuenca media del río Bogotá como

riego en diferentes cultivos debido a que esta fuente hídrica no representa ningún costo para la producción de los mismos, sin mencionar la falta de conocimiento por parte de ellos en cuanto a presencia de microorganismos patógenos que pueden llegar a afectar la salud del consumidor generando así diferentes enfermedades por exposición directa o indirecta, se hace un llamado al gobierno para implementar normativas para el uso del agua en el riego de los diferentes cultivos y así evitar la presencia de dichas enfermedades.

Teniendo en cuenta lo anterior, existe otra investigación relacionada con el consumo de alimentos contaminados con diferentes microorganismos patógenos encontrados en restaurantes de escuelas ubicadas en Colombia, según (Forero Torres et al., 2017) el 2.4% de las muestras recolectadas presento algún agente patógeno y en 8% de las mismas se logró identificar dos microorganismos reconocidos como Salmonella y Listeria, no hubo presencia de E. Coli O157H7. En la investigación se estableció que la principal fuente de suministro de agua es el acueducto, sin embargo, el 40.9% no cuenta con tanque de almacenamiento, solamente el 62.3% de los restaurantes cuenta con instalaciones sanitarias separadas para el personal que prepara los alimentos, el 20% no tiene un área de depósitos para las basuras en zonas apartadas de donde se preparan los alimentos y el 31.3% no realiza una separación de los residuos líquidos de los sólidos determinando que dichos factores pueden estar involucrados en la presencia de microorganismos de los alimentos consumidos en los restaurantes escolares.

### **2.1.3. Estudios de tratamientos de aguas en presencia de microorganismos**

Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto se determina que son muchos los factores involucrados en la contaminación de aguas para consumo humano y por ello se genera la necesidad de realizar estudios que permitan mitigar estos impactos, la investigación realizada por (Ortiz, 2020) demuestra un tratamiento de aguas basándose en el uso de concha calcinada para la disminución en la presencia de microorganismos la cual se mantuvo en contacto con agua de lluvia, agua de río y agua de mar durante 7 días evaluando el comportamiento de pH y la presencia de *Escherichia Coli sp* y de aerobios mesófilos; los resultados obtenidos fueron óptimos para agua de río y agua lluvia pues la concha calcinada permite tener pH altos ayudando a inactivar la presencia de los microorganismos, por otra parte, el agua de mar no evidenció incremento significativo de pH lo que no permitió la inactivación de los microorganismos concluyendo que el agua de mar tiene un efecto buffer lo que no permite esos cambios en el pH. Finalmente se determinó la concentración óptima de concha calcinada para lograr la inactivación bacteriana dada por 20 g/L, además se encontró que la presencia de concha calcinada no tuvo efecto sobre el agua de mar, sin embargo, la inactivación bacteriana se generó gracias al grado

de salinidad; otro estudio encontrado fue el de (Komba et al., 2022) donde se determinó que el 17% de las muertes estaban asociadas con la presencia de diarrea, actualmente la población de Tanzania tiene acceso a filtros de arena lento, filtro de cerámica, filtro de carbón activado, filtro de bioarena y purificador de membrana, en el estudio se concluyó que el filtro de bioarena es efectivo para poder remover la *Escherichia Coli sp*, pero este no es efectivo para eliminar virus, por ello, el filtro más efectivo para eliminar bacterias y virus son los de cerámica.

## 2.2. Marco teórico

### 2.2.1. Tratamiento de aguas residuales

La contaminación del agua es un problema vigente generado por los seres humanos y por el mal manejo que se le da afectando la calidad de vida y el medio ambiente, por ello, se creó la necesidad de buscar alternativas que mejoren este problema dando paso a lo que se conoce como tratamiento de aguas residuales (Superintendencia de industria y comercio, 2014), el cual consiste en realizar la limpieza a través de diferentes métodos y técnicas que permita reutilizar el agua en procesos de riego, industriales o con fines de recreación. El tratamiento de aguas es un beneficio a nivel mundial puesto que permite optimizar el uso de agua y poder así aportar en la escasez, además de los beneficios económicos otorgados a empresas que manejan este tipo de infraestructura (Banco Mundial, 2020).

Existe tres sistemas de tratamiento de aguas residuales primarios, secundarios y terciarios en la tabla 1 se puede evidenciar dichos métodos y el resultado que cada sistema genera:

**Tabla 1.**

*Sistemas de tratamiento de aguas residuales*

<b>SISTEMAS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Sistema de tratamiento primario	En este sistema se encuentra inicialmente los reservorios es donde se realiza el almacenamiento, las áreas de cribas es donde queda toda la basura que contiene el agua, el separador de partículas sólidas donde se asienta la arena y los sólidos y la sedimentación primaria es donde las partículas de sólidos más pequeñas se precipitan (BELZONA, 2010). Este se lleva a cabo en tanques de sedimentación y la idea es eliminar los sólidos contenidos en las aguas generando así su clarificación.

	Eliminando el 50-75% de los sólidos (Erazo & Cárdenas, 2013)
Sistema de tratamiento secundario	En este sistema se encuentran procesos físicos y químicos que permiten eliminar la materia orgánica contenida en las aguas, gracias a los filtros de percolación se elimina el 95% de esa materia orgánica a lo cual se hace seguimiento gracias a las lecturas de la demanda biológica de oxígeno (DBO) (Erazo & Cárdenas, 2013). Aquí se puede encontrar tanques de aireación para permitir el crecimiento de microorganismos y los tanques de sedimentación secundario (BELZONA, 2010).
Sistema de tratamiento terciario	En esta etapa se puede encontrar el proceso de desinfección y el tratamiento de los lodos (BELZONA, 2010). En este sistema se busca la eliminación de bacterias o patógenos usando procesos como cloración, ozono, dióxido de cloro y luz UV generando así estándares de calidad altos teniendo en cuenta los parámetros e indicadores de calidad de agua.

**Nota.** La tabla describe el sistema primario, secundario y terciario de una planta de tratamiento de aguas residuales. Tomado de: Erazo Cárdenas (2013, p. 139) & BELZONA (2010, p. 1-2)

También existe diferentes procesos para llevar a cabo el tratamiento de aguas los cuales son: físicos, químicos y biológicos

*Físicos:* En este proceso se encuentran métodos de sedimentación o flotación ayudados por la diferencia entre las propiedades de los sólidos y las del agua (Vargas et al., 2020).

*Químicos:* En este proceso se utilizan productos para generar coloides que pueden ser separados conociendo este proceso como coagulación o floculación (Vargas et al., 2020).

*Biológicos:* En este proceso lo que se busca es que los microorganismos presentes consuman la cantidad de materia orgánica que no se logró eliminando los coloides que nos fueron removidos naturalmente (Vargas et al., 2020).

### **2.2.2. Potabilización**

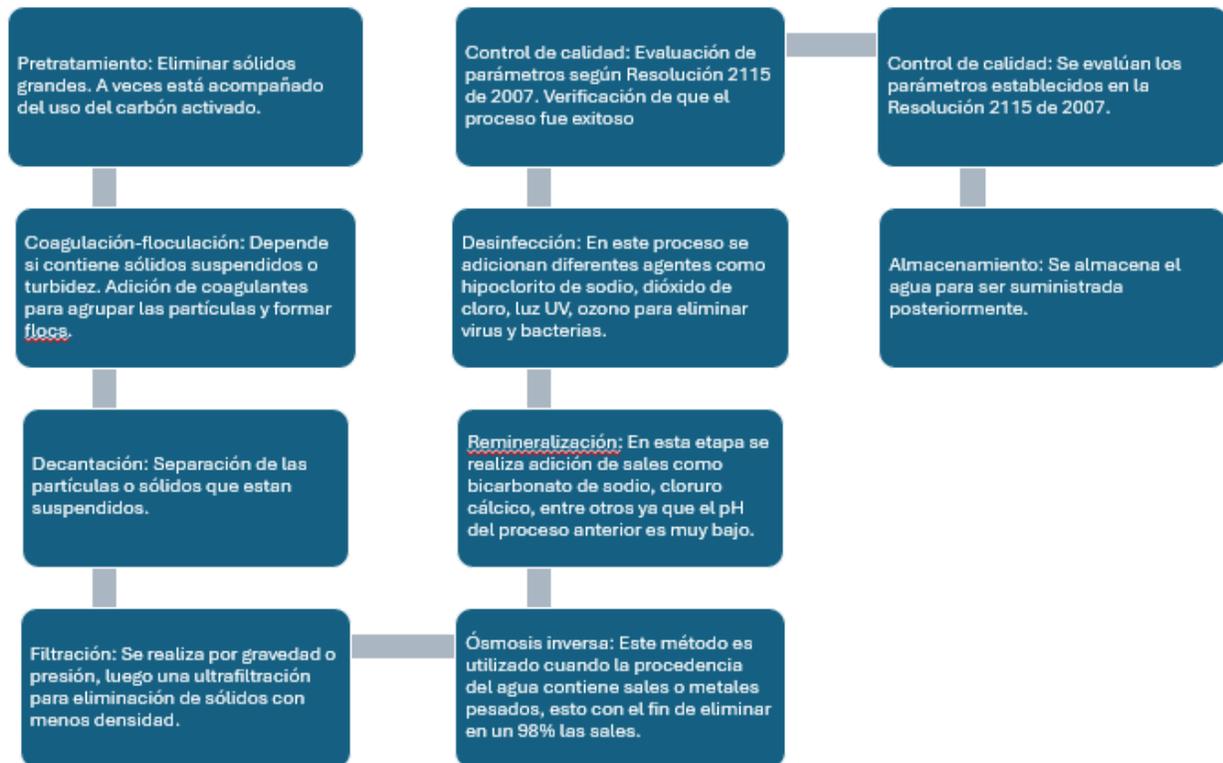
Los cuerpos de aguas se han visto contaminados por acciones antropogénicas lo cual representa un gran problema esto es porque dichos contaminantes no se pueden eliminar con un método convencional, sino que se debe utilizar una serie de procesos más especializados y por esto surge lo que se conoce como plantas de tratamiento de agua potable (PTAP's) (Hidalgo Valdivia et al., 2020). Se dice que aproximadamente 2.9 millones de personas mueren al año por

el consumo de aguas contaminadas (Quintero, 2022). En Colombia se han construido varias plantas de tratamiento de agua potable, sin embargo, algunas de ellas no tienen un funcionamiento apropiado o el sistema implementado no es el adecuado (Alarcon Mariño, 2021). Actualmente se está presentando escasez de agua dulce debido al incremento en la población del planeta Tierra y el uso a nivel industrial lo que hace necesario fortalecer procesos como la potabilización (Hashim et al., 2020). Se dice que para el año 2050 el agua potable va a incrementar su demanda a 60 millones de metros cúbicos (Ehyaei et al., 2021). Teniendo en cuenta que solo el 0.4% del agua en el planeta es potable sin haberse sometido a algún tratamiento (BBVA, 2021), se encuentra en la potabilización la alternativa para poder seguir teniendo acceso a agua para consumo humano y esto es porque este proceso permite cumplir con los parámetros establecidos en la Resolución 2115 de 2007 de Colombia mejorando así la calidad de vida de las personas. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el proceso de potabilización depende de la procedencia del agua, la más utilizada es la superficial (río o laguna) donde generalmente lo que se hace es precipitar las impurezas, se filtra y se desinfecta con agentes como el cloro o el ozono; otro tipo de agua es la que contiene metales pesados o sales donde a través de la osmosis inversa o la destilación se busca realizar la desalinización del agua de mar (BBVA, 2021).

El proceso de potabilización se lleva a cabo en Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (ETAP) en las cuales se realizan unos procesos fundamentales para la obtención del agua para consumo humano, en la figura 1 se incluye la descripción del proceso:

**Figura 1.**

*Proceso para la potabilización del agua*



**Nota.** La figura anterior, muestra el esquema donde se describe las etapas del tratamiento de agua potable. Tomado de: (Acueducto Metropolitano de Bucaramanga, n.d.), (JHUESA, n.d.)

Uno de los procesos más importantes en la potabilización es la coagulación siendo usado desde hace muchos años, por ello se está estudiando la forma de hacerlo más eficiente y de implementar el uso de coagulantes naturales que permitan minimizar los impactos ambientales (Ang & Mohammad, 2020).

Existen estudios que demuestran que para poder llevar a cabo un proceso de potabilización no es necesario realizarlo de la manera convencional debido a que se está implementando métodos de desalinización del agua de mar para lograr obtener agua potable (Ehyaie et al., 2021). El uso de salmuera se ha convertido en un factor importante para la obtención de agua potable, sin embargo, la efectividad del proceso dependerá de la tecnología que se haya implementado (Ojeda, 2020).

El proceso de potabilización del agua en zonas rurales es más difícil llevar a cabo por la falta de recursos, además de no tener ayuda económica por parte de los entes gubernamentales

encargados de dichos proyectos, por ello, se ve la necesidad de evaluar el funcionamiento de las plantas de tratamiento en las zonas rurales donde se debe realizar una evaluación de impacto ambiental esto con el fin de reconocer el estado en que se encuentra, las debilidades que presenta y así identificar las oportunidades de mejora que se pueden implementar. Como se observó en la figura 1 esos son los pasos que debería tener toda planta de tratamiento de agua potable para garantizar el suministro de agua apta para consumo humano, sin embargo, para este proyecto el principal interés es reconocer el funcionamiento de la planta de tratamiento del acueducto de Mondono, el cual por su antigüedad solo presenta sistema de filtración dinámica, filtración gruesa, filtración lenta y proceso de desinfección, por ende, para mejorar el tratamiento de agua se recomienda implementar el proceso de floculación donde la idea es remover los sólidos suspendidos y la turbiedad que presenta el agua y utilizar un coagulante (generalmente se usa sulfato de aluminio) para poder generar los flocs y obtener así agua clarificada que mejore el proceso de desinfección. Además, para poder mantener un control microbiológico y cumplimiento en la resolución 2115 de 2007 artículo 11 se puede capacitar personal del acueducto para realizar siembras directamente en el acueducto utilizando placas petrifilm que permiten cuantificar la unidades formadoras de colonia tanto para coliformes totales como para *E.coli*, esto con el fin de verificar que el agua despues del tratamiento no presenta estas bacterias dando cumplimiento en la calidad según lo establecido en la norma para agua de consumo humano. Para mejorar el proceso de tratamiento es importante mantener actualizado al personal por lo que se debería hacer capacitaciones relacionados con los procesos establecidos en el acueducto, estas capacitaciones o cursos no siempre tienen un costo, se puede buscar información en entidades como el Servicio Nacional de Aprendizaje donde son totalmente gratuitos o buscar entidades sin ánimo de lucro. Otro aspecto para tener en cuenta es la distribución de los recursos asignados para el acueducto, se debe revisar si son suficientes para su funcionamiento, de no ser así se debería buscar ayuda por parte de ONG's que tengan proyectos relacionados con la calidad y el suministro de agua.

Para mejorar el proceso de tratamiento de agua potable en el acueducto de Mondomo, este trabajo de investigación busca modificar el proceso de desinfección para que se deje de utilizar hipoclorito de calcio y se reemplace por hipoclorito de sodio; para obtener el hipoclorito de sodio se usa cloruro de sodio en un prototipo que permite realizar un proceso de electrolisis, posteriormente se realiza el cálculo en la concentración que tiene para así realizar diluciones que permitan obtener agua apta para consumo humano donde se verifica la ausencia de coliformes totales y *E.coli*.

### **2.2.3. Desinfección**

El proceso de desinfección se lleva a cabo tanto en tratamiento de aguas como potabilización, esto se determinó con el fin de disminuir la exposición o vulnerabilidad a diferentes enfermedades generadas por agentes patógenos contenidos en las aguas usadas para consumo humano teniendo como base la salud pública. Cabe mencionar que el proceso de desinfección no discrimina entre bacterias que sean o no patógenas, por ende, su función es afectar la pared celular del microorganismo, genera variación en la permeabilidad de las células, modifica el contenido en el protoplasma y abstiene la actividad de las enzimas. Existe diferentes términos para tener en cuenta como lo son descontaminación, desinfección y esterilización; la descontaminación consiste en eliminar microbio o reducir el número que se encuentra en el momento, la desinfección es la eliminación temporal o muerte de los microorganismos y la esterilización es la eliminación o muerte de forma definitiva para los microorganismos (IBLSpecific, 2020).

Entre los procesos de desinfección más importantes se puede encontrar la cloración utilizada en la mayoría de los países por ser económica, confiable y produce un efecto residual que permite que siga actuando por un tiempo más prolongado cumpliendo su principal función; en países como Francia, Alemania y Canadá usan el método de ozonización. En el proceso de desinfección se debe tener en cuenta factores claves como el tiempo de contacto, tipo y concentración, intensidad y naturaleza, temperatura, número de microorganismos, tipo de microorganismo, naturaleza del cuerpo de agua y condición de la mezcla que se vaya a emplear en el proceso. Existen diferentes agentes involucrados en los procesos de desinfección dentro de estos se encuentran: hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio, ácido hipocloroso, clorito de sodio, dióxido de cloro, ozono, yodo, cobre, plata y permanganato (Comisión Nacional del Agua et al., 2019).

Existen varios métodos para poder realizar el proceso de desinfección en agua, dependiendo de la efectividad y la economía se elegirá el óptimo según criterio de las áreas urbanas o rurales. En la tabla 2 se realiza la descripción del método físico a utilizar para tal fin:

**Tabla 2.***Método físico de desinfección en aguas*

<b>Método</b>	<b>Descripción</b>
Filtración	<p>Su función principal es retener los sólidos y permitir el paso de los líquidos, teniendo en cuenta los diferentes tamaños de poro. Existen los filtros de arena los cuales pueden eliminar protozoos, quiste o turbiedad. Filtros de cerámica puede retener partículas en suspensión, protozoos o quistes. Filtros de membrana suelen tener un costo elevado, pero a diferencia de los anteriores es posible que retenga bacterias, protozoos y virus, el problema es que se taponen si existe presencia de sólidos suspendidos (Comisión Nacional del Agua et al., 2019).</p>
Temperatura	<p>Este método hace referencia a la ebullición del agua para eliminar patógenos contenidos en ella, el tiempo debe ser de uno a tres minutos. Se debe mantener una manipulación y conservación adecuada para evitar que se genere una re-contaminación. Este método es utilizado a nivel doméstico pues por los altos costos no es posible realizarlo a nivel industrial (Comisión Nacional del Agua et al., 2019).</p>
Radiación solar y luz UV	<p>Es un método eficiente ya que los rayos UV afectan directamente el material genético de las células (ARN y ADN). El inconveniente de este método es sanación de la célula por una fotoreactivación ya que este no presenta presencial residual, sino que está dada en un mismo momento (Comisión Nacional del Agua et al., 2019).</p>
Radiación gamma	<p>Su uso principal se encuentra en aguas residuales debido a la penetración pues puede generar cambios en moléculas tanto orgánicas como inorgánicas y su principal fuente es el cobalto-60 (Comisión Nacional del Agua et al., 2019).</p>
Procesos electrolíticos	<p>Este método usa electrodos dentro de un recipiente pasando cierta corriente eléctrica, se disminuye la presencia de microorganismo y hasta de virus. Con este proceso se obtiene dos agentes de desinfección muy importantes por una parte está el hipoclorito de sodio en presencia de cloruro de sodio y por otra está</p>

el oxígeno generado por la hidrólisis del agua presentes como ozono y oxidrilo radical por la reacción producida en los ánodos y cátodos involucrados en el sistema (Comisión Nacional del Agua et al., 2019). En estos procesos existe la oxidación directa para generar resistencia a la corrosión para degradación de compuestos orgánicos y la oxidación indirecta funciona en un sistema cerrado y se caracteriza por ser más eficiente (Ortega Ramírez & Sánchez Rodríguez, 2021)

**Nota.** La tabla presenta una breve descripción de los métodos físicos utilizados para realizar la desinfección de agua. Tomado de: (Comisión Nacional del Agua et al., 2019)

- El proceso electrolítico es considerado un método físico puesto que no involucra la adición de ningún producto químico, así los electrodos utilizados generen especies químicas

Para utilizar el proceso electroquímico hay factores que pueden influir en la eficiencia de este, entre ellos se encuentra el pH donde según investigaciones en condiciones ácidas la inhibición de las bacterias es más efectiva teniendo una evaluación entre pH 6 y 7 se logró obtener una remoción de 87% y 84% para coliformes totales y coliformes fecales, mientras que al incrementar el pH a neutro se obtuvo un resultado de 28% y 34% (Rahmani et al., 2019).

Otro factor que influye en este proceso es la presencia de materia orgánica, la densidad óptica de las bacterias y la temperatura teniendo en cuenta esto se logrará una inhibición total de las bacterias (He et al., 2021).

Así como existen métodos de desinfección físicos también existe una clasificación de los métodos químicos para lograr la inhibición de diferentes microorganismos, en la tabla 3 se realizará una descripción del método empleado:

**Tabla 3.**

*Método químico de desinfección en aguas*

<b>Método</b>	<b>Descripción</b>
Yodo	Todos los halógenos son considerados buenos desinfectantes, el yodo es el más pesado de ellos por ende su presencia residual es más estable que el cloro. El inconveniente de este método es el uso de un neutralizante lo que hace que sus costos se incrementen (Comisión Nacional del Agua et al., 2019).

Bromo	Su poder desinfectante es menor que el cloro o yodo. El bromo es más efectivo para pH mayores de 4 con respecto al cloro siempre y cuando se use la misma dosis, pero el costo sigue siendo mayor (Comisión Nacional del Agua et al., 2019).
Plata	La plata en forma coloidal es eficiente para eliminar bacterias, afecta a bacterias u hongos que necesitan de oxígeno para lograr su metabolismo pues se genera una inhibición en las enzimas celulares. La plata iónica puede combatir las bacterias, virus, protozoos y hongos pues no permite el crecimiento o reproducción de estos (Comisión Nacional del Agua et al., 2019).
Cloro	Es el más usado a nivel mundial por su fácil acceso y por ser económico, además por ser usado en tratamiento de aguas. Es un desinfectante excelente para eliminar las bacterias (Comisión Nacional del Agua et al., 2019).
Ozono	Se recomienda el uso de este método en aguas con alta contaminación ya que rompe la membrana celular de las bacterias. El inconveniente de este método son los altos costos y la complejidad que tiene las instalaciones para poder llevar a cabo este tipo de desinfección (Comisión Nacional del Agua et al., 2019).

**Nota.** La tabla presenta una breve descripción de los métodos químicos utilizados para realizar la desinfección de agua. (Comisión Nacional del Agua et al., 2019)

Otro factor importante para tener en cuenta es la obtención de subproductos de desinfección los cuales pueden causar diferentes problemas de salud para las personas (Srivastav et al., 2020), según análisis toxicológicos se encontró que estos pueden ser cancerígenos, generar problemas endocrinos, de genotoxicidad, teratogénesis, entre otros (Chaves et al., 2019). Estudios han demostrado que dentro de esos subproductos de desinfección los trihalometanos y los ácidos haloacéticos pueden ocasionar daños en el material genético de las bacterias, los halofenólicos afectan los embriones de los poliquetos y no permiten el crecimiento de las algas, en cuenta a las personas les puede generar cáncer de vejiga, aborto espontaneo o defectos de nacimiento (Chu et al., 2021), además los subproductos son semi volátiles permeables a la piel, la forma de poder adquirir dichos productos es por ingesta, inhalación o absorción al tomar una ducha, lavar la losa o nadar en una piscina que haya sido tratado con cloro (Chaves et al., 2019). También se ha encontrado que los subproductos de

desinfección pueden ser adsorbido por los alimentos en el momento en que estos son lavados con agua que fue tratada con cloro (Gil et al., 2019). En algunos estudios se han determinado diferentes técnicas para analizar los subproductos de desinfección entre ellas se encuentra: la técnica de análisis de halógenos orgánicos totales para poder identificar los subproductos que contienen halógeno en su estructura principalmente cloro, también es utilizada la cromatografía de gases la cual ayuda en el análisis de compuestos volátiles o semi volátiles, la cromatografía líquida por su parte ayuda a identificar subproductos de desinfección polares y térmicamente inestables; el método de cromatografía de gases y líquida se ayudan con un cromatógrafo de masas el cual permite identificar de forma más detallada el compuesto encontrado en la muestra (Yang et al., 2019).

#### **2.2.4. Calidad del agua**

La salud pública es un tema que preocupa a nivel mundial puesto que en la actualidad se dice que aproximadamente 2000 millones de personas tienen acceso a aguas contaminadas con heces lo que genera presencia de *Escherichia Coli* (Pichel et al., 2019); esto se debe a problemas de actividades realizadas por seres vivos como defecar al aire libre cerca de cuerpos de agua así como intervenciones mal diseñadas en el saneamiento de aguas (Hand & Cusick, 2021) y además 2300 millones de personas no cuentan aún con instalaciones idóneas para el saneamiento de aguas (Pichel et al., 2019). En Colombia el 50% del agua para consumo humanos se encuentra catalogada como de mala calidad (De la Hoz Santos et al., 2022).

La calidad del agua se define como las condiciones del agua, así como las características físicas, químicas y biológicas ya sea en su estado natural o por la intervención de la actividad humana (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2016); entre las características físicas se encuentra el color, sabor, olor, turbidez, sólidos disueltos totales y sólidos suspendidos totales, para las características químicas se encuentran el pH, acidez, alcalinidad y dureza y finalmente para las características microbiológicas se debe tener en cuenta los coliformes totales y fecales (Rocano, 2022). Sin embargo, este factor ha sido relacionado con el agua de consumo humano donde se busca que dichas características cumplan los parámetros establecidos en la Resolución 2115 del 2007 en Colombia y para que así no cause daño a la salud humana. Esta se ha visto afectada por la actividad humana, la industria, la agricultura y el cambio climático produciendo cambios en el ciclo del agua (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2016). Otro factor que puede afectar la calidad de agua brindada a las personas es la corrosión de las tuberías por donde es transportada hasta los hogares (Zhang et al., 2020).

Algunos países están cambiando sus normativas para poder mejorar la calidad del agua, en la unión europea se está buscando la reducción del contenido del plomo a la mitad, así como la presencia de la bacteria legionella, alteradores endocrinos y establecer parámetros para los micro plásticos (Parlamento Europeo, 2018).

### **2.2.5. Hipoclorito de sodio**

El hipoclorito se empieza a usar en la Gran Depresión década de 1920, luego se comenzó a usar cloro líquido puesto que era más económico, sin embargo, se usó nuevamente el hipoclorito debido a que el cloro líquido tenía una gran peligrosidad (Howe et al., 2017). Se reconoce como un líquido de color amarillo y tiene un olor característico a cloro, el hipoclorito se puede encontrar sólido pero su mayor estabilidad está determinada en su forma acuosa; A nivel industrial su presentación está en forma acuosa con una concentración de cloro activo menor al 10% y otras mayores al 10% dependiendo el uso que se le pretenda dar. Comúnmente se encuentra la presentación de uso doméstico con un contenido del 5% de hipoclorito de sodio y el 95% restante representado por el agua. El hipoclorito de sodio es considerado un oxidante fuerte y tiene características de blanquear o de desinfección es más potente que el peróxido de hidrógeno o el dióxido de cloro (IDEAM, n.d.). También se debe tener en cuenta que la efectividad del cloro puede verse afectada por la alcalinidad y dureza que tenga el agua potable (Zhang et al., 2020).

2.2.5.a. Métodos de obtención del hipoclorito de sodio. El hidróxido de sodio y cloro en agua permite obtener el hipoclorito de sodio pentahidratado, para lograr eliminar la presencia de las cinco aguas es necesario dejarlo secar al vacío y posteriormente ponerlo a congelar sobre ácido sulfúrico concentrado debe estar todo el tiempo refrigerado para que logre mantenerse sólido, sin embargo, esta presentación es muy explosiva lo que hace que su uso no sea comercializado (IDEAM, n.d.).

El hipoclorito de sodio se puede obtener de dos formas por método químico que permite el almacenamiento prolongado del mismo, mientras que el método electroquímico es obtenido in-situ para uso inmediato, en la tabla 4 se puede evidenciar la obtención por estos dos métodos (IDEAM, n.d.).

**Tabla 4.**

*Métodos de obtención del hipoclorito de sodio*

<b>Método químico</b>	<b>Método electroquímico</b>
<p>Se usa el hidróxido de sodio diluida en presencia de cloro líquido o gaseoso, para lograr la estabilidad de la solución es necesario que esta mantenga un pH de 11 por ello el uso del hidróxido de sodio, se obtiene la siguiente reacción:</p> $\text{Cl}_2 + 2\text{NaOH} \longrightarrow \text{NaOCl} + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{calor}$ <p>Este procedimiento es necesario realizarlo con refrigeración por presentar reacción exotérmica. En dicho método existe interferencias de metales como hierro, níquel, cobalto o cobre para lograr eliminar los mismos es necesario dejar enfriar la solución y realizar un ajuste de pH a 10.5 esto afecta la solubilidad de la solución por lo cual al garantizar la eliminación de dichos metales se debe retornar al pH de 11 inicial (IDEAM, n.d.).</p>	<p>Es utilizado cuando no se debe mantener almacenado el hipoclorito de sodio por tiempos prolongados. Se debe utilizar una celda electroquímica obteniendo así el hipoclorito de sodio y el cloro activo con concentraciones mayores a 10 g/L. La presencia del cloruro de sodio en el ánodo permite obtener el cloro:</p> $2\text{Cl}^- \longleftrightarrow \text{Cl}_2 + 2\text{e}^-$ <p>El producto final depende de las condiciones de la celda. “El cloro se hidroliza, formando ácido hipocloroso, y este último se disocia formando el hipoclorito y el cloruro” (IDEAM, s.f):</p> $\begin{aligned} \text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} &\longleftrightarrow \text{HClO} + \text{Cl}^- + \text{H}^+ \\ \text{HClO} &\longleftrightarrow \text{ClO}^- + \text{H}^+ \end{aligned}$ <p>Cuando el electrolito está saturado con el cloro aproximadamente cuando se tiene un pH entre 2 o 3 se genera una disminución en la obtención del ácido hipocloroso o del hipoclorito. En ese momento se tiene la formación de hidroxilos (OH) en el cátodo:</p> $2\text{H}_2\text{O} + \text{e}^- \longleftrightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$ <p>“Bajo esta condición, la concentración del cloro disuelto cerca de la superficie del ánodo permanece muy baja como para permitir la evolución del cloro gaseosos que permite que el hipoclorito sea el producto principal” (IDEAM, n.d.).</p>

**Nota.** La tabla muestra el proceso para obtener hipoclorito de sodio por el método químico y el método electroquímico. Tomado de: (IDEAM, n.d.)

Teniendo en cuenta la disociación del hipoclorito de sodio en el agua se tiene el ácido hipocloroso (HOCl) y el ión hipoclorito (OCl-) donde el ácido hipocloroso es el que presenta la actividad antimicrobiana más alta (Tudela et al., 2019). Para evitar que se produzcan reacciones inesperadas es necesario seleccionar el ánodo dependiendo lo que se quiera obtener en mayor proporción ya sea cloro u oxígeno. Si la obtención que se quiere favorecer es del oxígeno los

ánodos con materiales de óxido de plomo o de grafito son los ideales, si por el contrario se quiere obtener cloro los ánodos de titanio platinizado o dióxido de rutenio son los mejores (IDEAM, n.d.). En el proceso electroquímico las cargas negativas quedan pegadas al cátodo mientras que las positivas quedan en el ánodo, por ende, se da paso a dos productos llamados anolito los cuales se encuentran en rangos de pH de 1 a 78 y el catolito se encuentran en pH de 7 a 14 (Ersoy et al., 2019).

Otro aspecto importante para tener en cuenta en la obtención del hipoclorito de sodio es el tipo de celda que se debe utilizar; existen dos tipos principales, la celda de tubo que consta de dos tubos cónicos que hacen de ánodo y cátodo y el espacio que queda es para ubicar el electrodo, estas son utilizadas en escalas micro. Las celdas de placas son empleadas a escala industrial puesto que el área disponible para el electrodo es mayor (IDEAM, n.d.).

Finalmente, para realizar el procedimiento electroquímico en la obtención del hipoclorito de sodio se puede usar el cloruro de sodio o agua de mar. Cuando se usa el cloruro de sodio se puede obtener concentraciones de cloro activo entre 7 a 10 g/L, la velocidad de flujo empleada es más baja que la empleada cuando se usa agua de mar (IDEAM, n.d.).

#### **2.2.6. Bioindicador**

La *Escherichia coli* O157:H7 puede sobrevivir en cuerpos de aguas dulces cuando se tiene concentraciones bajas de carbono (Tanaro J. et al., 2019). La presencia de microorganismos en aguas es importante cuando ellas son nativas y deben cumplir alguna función benéfica para las mismas, el problema se presenta cuando existe presencia de microorganismos patógenos puesto que ellos pueden generar enfermedades que de no tratarse puede ocasionar la muerte de las personas; existen bacterias contaminantes del agua reconocidas como Gram negativas pertenecientes a géneros como “*Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Gallionella*, *Aeromonas*, *Vibrio*, *Achromobacter*, *Alcaligenes*, *Bordetella*, *Neisseria*, *Moraxella* y *Acinetobacter*” (Rios et al., 2017). A pesar de existir este género de bacterias, las bacterias óptimas para ser usadas como bio-indicadores en la calidad del agua están representadas por los géneros “*Escherichia*, *Edwarsiella*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia* y *Citobacter*” (Rios et al., 2017), donde los cuatro últimos no representan una amenaza para la salud de las personas por estar contenidas en vegetación, suelo y aguas (Rios et al., 2017).

Dentro de las bacterias que pueden llegar a ocasionar problemas en la salud de las personas encontramos las siguientes: *Shigellae dysenteriae*, *Salmonella typhi*, *Vibrio cholerae*, *Escherichia coli* y *Leptospira interrogans*. La *Escherichia coli* patógena es una de las bacterias

más estudiadas debido a la alta resistencia que presenta a la efectividad de los antibióticos (Horesh et al., 2021).

La *Escherichia coli* se encuentra en el tracto intestinal, por ello los bebés a las pocas horas de nacer su tracto es colonizado por dicha bacteria y se pueden vivir con ella durante décadas (B. Liu et al., 2020), dicha bacteria puede ser obtenida a partir de alimentos o aguas contaminadas con heces fecales, en los niños puede generar otra enfermedad llamada síndrome hemolítico urémico (HUS) la cual genera problemas renales y la destrucción de los glóbulos rojos (Moreno, 2020). Esta bacteria se encuentra presente en un 80% de la microflora intestinal de las personas siendo inofensiva, sin embargo, existe diferentes cepas patógenas que pueden llegar a generar diarrea aguda dentro de estas cepas se tiene “*E.Coli* enterohemorrágica [ECEH], *E.Coli* enterotoxígena [ECET], *E.Coli* enteropatógena [ECEP], *E.Coli* enteroinvasiva [ECEI], *E.Coli* enteroagregativa [ECEA] y *E.Coli* de adherencia difusa [ECAD]” (Rios et al., 2017). La *Escherichia coli* se encuentra en el intestino de todo vertebrado, sin embargo, ha sido la causante de varias enfermedades por la genética y la ecología de dicha bacteria se seguirán encontrando nuevos clones lo que hace más difícil identificar todos los que existen (Denamur et al., 2021). Como se mencionó las personas pueden coexistir con la *Escherichia coli* dentro de su intestino debido a que existen clones comensales y patógenos donde los comensales rara vez producen algún tipo de enfermedad mientras que las patógenas son las causantes de enfermedades como la diarrea infantil, la cistitis, diarrea con sangre, entre otras (B. Liu et al., 2020). Existen cepas de *Escherichia coli* llamadas extraintestinales, siendo estas las que se encuentran en enfermedades fuera del intestino y generan otro tipo de patologías como infecciones urinarias, en el torrente sanguíneo, próstata y otras partes externas siendo las causantes de una variedad de infecciones en las personas a nivel mundial (Manges et al., 2019), se encuentra que esta cepa de bacteria es la causante de infecciones urinarias en el 10% en pacientes pediátricos, donde el 1% lo representan niños y entre el 3% y 8% niñas (Sarowska et al., 2019); además existen otras cepas que son las causantes de la diarrea llamadas *Escherichia coli* patógena intestinal (IPEC) (Riley, 2020).

Teniendo en cuenta las enfermedades que genera la presencia de algunas bacterias en la tabla 5 se dará a conocer las diferentes características que presentan cada una de ellas y casos que se han reportado en años anteriores:

**Tabla 5.**

*Principales enfermedades causadas por la presencia de bacterias*

NOMBRE	TIPO DE CONTAMINACIÓN	REPORTE DE CASOS	TRATAMIENTO
<b>Cólera</b>	Por aguas en presencia de materia fecal	Su primera aparición en 1991 en Perú dejó un total de 3000 muertes, seguido en el 2010 de Haití donde se encontró una tasa del 2.2% de mortalidad esto se dio por el deficiente acceso a agua potable y saneamiento, así mismo en República Dominicana se produjo un total de 458 muertes y en el 2013 en Cuba se registró 678 casos y 3 muertes.	Vacunas
<b>Fiebre tifoidea</b>	Aguas contaminadas con contenido fecal	En el año 2013 la OMS determino que de 11 a 20 millones de personas infectadas con esta enfermedad murieron entre 128000 a 161000, las personas más vulnerables ante esta enfermedad son los niños entre los 5 y 15 años.	Tiene vacunas inyectables para los niños de 2 años y vacunas en cápsulas para los de 5 años
<b>Hepatitis A</b>	Se presenta por falta de higiene o mala infraestructura sanitaria puede ir en un rango de leve a grave dependiendo la edad que tenga la persona, su tiempo de duración es de meses generando problemas sociales o económicos	En el año 2018 en Argentina se presentó dicha enfermedad donde se determinó que la población con mayor afectación eran las personas menores de 20 años y géneros masculinos, en Colombia para el 2019 se presentó la enfermedad en jóvenes entre 10 a 24 años y para los niños disminuyó gracias a las jornadas de vacunación, en Perú se presentó la enfermedad en las provincias más pobres por la falta de saneamiento y agua potable.	Vacunas
<b>Diarrea aguda</b>	Aparece de manera repentina a nivel mundial y produce la muerte de 760000 millones de niños al año, por ello se considera la segunda enfermedad causante de muerte en niños	En Argentina para el 2000 se presentó esta enfermedad generando afectación en un 50% de la población de las provincias debido a los escasos recursos económicos y el mal saneamiento, para el 2017 en Perú se dieron 67086 casos donde el 29% fueron niños menores de cuatro años y el 11% niños menores de un año sobre todo en zonas rurales.	No existen vacunas, pero la forma de combatir es con suero para lograr una óptima hidratación.

---

**Nota.** La tabla muestra las enfermedades causadas por la presencia de diferentes microorganismos en cuerpos de aguas contaminados. Tomado de: (Moreno, 2020)(p. 12 a 16)

### **2.2.7. Municipio de Santander de Quilichao**

Santander de Quilichao está ubicado en Colombia, el municipio está ubicado en el departamento de Cauca, este limita al norte con Villarica y Jamundí, al occidente con Buenos Aires, oriente con Caloto y Jambaló y al sur con Caldono. Su extensión es de 597 km<sup>2</sup>, la extensión para la zona urbana es de 8.58 km<sup>2</sup> y en la zona rural es de 509.42 km<sup>2</sup>, la altura sobre el nivel del mar es de 1071 metros, la temperatura media es de 26°C, la distancia de referencia es Cali a 40 km (Alcaldía Municipal de Santander de Quilichao, n.d.).

Las fiestas y celebraciones que se pueden encontrar en este municipio son en semana santa, las fugas de adoración y las ferias en Quilichao. Su economía principalmente se encuentra determinada en el sector primario donde se puede encontrar: caña de azúcar, el café, la piña, yuca, caña panelera y plátano. También se encuentran crías de ganado bovino y porcino; su beneficio en el sector primario se encuentra determinado por su posición geográfica debido a que se encuentran cerca a los centros de producción y consumo como Cali, el puerto de Buenaventura, el puerto de Yumbo y Buga y otras ciudades (Alcaldía Municipal de Santander de Quilichao, n.d.).

El corregimiento de Mondomo se encuentra ubicado en el municipio de Santander de Quilichao, en el departamento de Cauca. Se encuentra ubicado a 64 kilómetros de Cali y se puede encontrar la carretera Panamericana, se encuentra a 1350 metros sobre el nivel del mar en la cordillera occidental de Colombia, su temperatura media es de 21°C. Se fundo en 1903 y su nombre significa “mi casa”, el primer acueducto fue fundado entre 1945 y 1948 donde se bombeaba agua a la vereda de Santa Bárbara donde recibían agua por dos o tres horas, en 1968 se construyó y se abastecía de la cuenca San Pablo donde se encontraba una bocatoma, desarenador, dos tanques de almacenamiento y un sistema de distribución (Universidad del Valle et al., 2011).

### 3. MARCO LEGAL

Colombia ha implementado normatividad referente al agua potable con el fin de que todos los ciudadanos de zonas urbanas y rurales puedan gozar de su derecho al acceso y saneamiento de esta, teniendo como principal objetivo la calidad del agua que se suministra para así evitar la generación de enfermedades existentes por la presencia de patógenos. La normatividad implementada no solo busca el cumplimiento de la calidad, sino que establece el seguimiento a parámetros que llegan a ser críticos a la hora de abastecer a la población con este servicio, dentro de las principales normas se encuentran:

- **Decreto 1575 del 09 mayo de 2007:** “Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano (p.1)” (DECRETO 1575, 2007). Dicho Decreto se encuentra determinado por definiciones, características y criterios de la calidad del agua para consumo humano, responsables del control y vigilancia para garantizar la calidad de agua para consumo humano, instrumentos básicos para garantizar la calidad del agua para el consumo humano, procesos básicos del control y vigilancia para garantizar la calidad del agua para el consumo humano, disposiciones comunes y disposiciones finales.
- **Resolución 2115 del 22 junio de 2007:** “Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano (p.1)” (Resolución Número 2115, 2007). Los parámetros de interés para esta investigación se encuentran consignados en el Capítulo III, artículos 22 y 27 donde se muestran los parámetros microbiológicos que debe cumplir el agua para ser considerada apta para consumo humano.
- **Resolución 811 del 05 de marzo de 2008:** Donde la (RESOLUCIÓN NÚMERO (811), 2008) sustenta

Por medio de la cual se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución (p.1).

- **Resolución 4716 del 18 noviembre de 2010:** Donde la (Resolución Número 4716, 2010) basados en el artículo 2 y 15 del Decreto 1575 de 2007 se determina

Que atendiendo la competencia antes señalada y en aras de que los municipios y distritos doten y/o adecúen los sistemas de tratamiento de agua para consumo humano, es por lo

que mediante el presente acto administrativo se establecen las condiciones para elaborar los Mapas de Riesgos de la Calidad del Agua para Consumo Humano (p.1).

## 4. METODOLOGÍA

### 4.1. Población

La investigación se encuentra dirigida a la comunidad de Mondomo-Municipio de Santander de Quilichao en el Cauca puesto que en investigaciones realizadas se logró identificar que el agua suministrada se encuentra catalogada como sin riesgo, sin embargo, se busca cambiar el método de desinfección donde se reemplace el hipoclorito de calcio por hipoclorito de sodio (Proyecto ASIR-SABA, 2016a).

### 4.2. Materiales y equipos

Esta investigación presenta un enfoque cuantitativo debido a que se realizó una recolección, vinculación y análisis de tipo experimental en el laboratorio, dentro del enfoque cuantitativo el alcance fue correlacional entre variables como concentración de hipoclorito de sodio obtenido en el proceso electrolítico, así como diferentes concentraciones a trabajar para lograr una inhibición completa de *Escherichia coli* utilizada como bioindicador en la calidad de agua para consumo humano y el tiempo de contacto del desinfectante. El tipo de investigación que se tuvo en cuenta es la empírica puesto que se realizó una comparación y observación entre la idea de lograr la potabilización del agua para el posterior consumo en la comunidad y los resultados que se obtuvieron con respecto a la eliminación de patógenos contenidos en dichos cuerpos de agua.

Inicialmente se realizó un proceso electrolítico para obtener el desinfectante en el prototipo incluido en el artículo “*A prototype for on-site generation of chlorinated disinfectant for use in rural aqueducts*” (Cuesta Parra et al., 2024) a partir del cloruro de sodio, posteriormente se realizó el análisis del desinfectante teniendo en cuenta el test de HANNA 3843-100 el cual mide la concentración de hipoclorito teniendo en cuenta titulación yodométrica, incluye los reactivos necesarios para la determinación del parámetro (se entregó el test a los trabajadores del acueducto de Mondomo), para determinar la concentración del hipoclorito de sodio en laboratorio se utilizó el método yodométrico SM 4500-Cl B. Para el análisis de *E.coli* se tomaron muestras de agua el día 12 de noviembre del 2022 a la 01:00 pm en el acueducto de Mondomo después del proceso de filtración. A las muestras se les adicionó concentraciones del hipoclorito de sodio de 0.5 mg/L, 1mg/L y 2 mg/L, además se evaluaron diferentes tiempos de contacto in situ de 10 minutos, 20 minutos y 30 minutos (conservando las muestras refrigeradas), finalmente las muestras fueron transportadas en neveras de icopor con geles refrigerantes para conservar la cadena en frío en avión, el día 13 de noviembre de 2022 a las 09:00 am llegan las muestras y

son procesadas en el laboratorio de la Universidad de los Andes para su análisis de inhibición microbiológica todas las siembras son realizadas por triplicado.

#### **4.2.1. Análisis de cloro activo SM 4500-Cl B**

Para el análisis de cloro activo se usó el método yodométrico, por valoración titulométrica con tiosulfato de sodio 0.1N estandarizado. Se tomó una muestra de hipoclorito de sodio, a la cual se le ha ajustado el pH con ácido acético entre 3-4, posteriormente se le ha adicionado yoduro de potasio para producir un complejo de color café. Luego ha sido titulado con tiosulfato de sodio 0.1N hasta obtener una coloración amarilla. Se ha adicionado una solución de almidón al 5% generando una coloración azul, continuando con la titulación hasta obtener una solución incolora (American Public Health Association, 2017a).

#### **4.2.2. Determinación de coliformes totales y *E. coli***

Para el recuento de coliformes totales y *E.coli* en muestras de agua existen diferentes métodos donde uno es más eficiente que otro dependiendo la procedencia de la muestra, en la tabla 6 se puede encontrar en que consiste cada uno de ellos:

**Tabla 6.**

Metodología para recuento de coliformes totales y *E.coli*

<b>Técnica</b>	<b>Fundamento</b>
<b>Filtración por membrana</b>	La muestra de agua ha sido pasada a través de un filtro de membrana microporoso, en el cual quedan atrapados los microorganismos en su superficie, mediante la ayuda de una bomba eléctrica que ejerce una presión diferencial sobre la muestra de agua haciendo que se filtre. Los filtros resultantes se llevan posteriormente a un medio de cultivo (m-ColiBlue24) en el cual se sembrarán para poder realizar un posterior conteo de unidades formadoras de colonia. Este método es utilizado para la determinación principalmente de coliformes totales y coliformes fecales en muestras de agua (American Public Health Association, 2017b).
<b>Determinación del número más probable (sustrato-enzima)</b>	Este método es empleado para muestras de agua para consumo humano, natural y residual. Se usa 100 mL de muestra, agregar el contenido del medio contenido en el blíster y agitar suavemente. Adicionar las alícuotas de la muestra en los tubos estériles y se meten en la incubadora a 35°C por el tiempo establecido por el fabricante, la presencia de coliformes totales se determina por el cambio

	en la tonalidad del medio y para la <i>E.coli</i> presencia de fluorescencia observada con lampara UV (INSTITUTO NACIONAL DE SALUD, n.d.)
<b>Presencia-ausencia</b>	Usada para muestras de agua para consumo humano. La técnica arroja resultados cualitativos. Este consiste en tomar 100 mL de muestra y adicionarlo al medio de cultivo preparado previamente, se mezcla hasta obtener homogeneidad y posteriormente se lleva a incubadora a 35°C por un tiempo de 24 a 48 horas (INSTITUTO NACIONAL DE SALUD, n.d.)

**Nota.** La tabla muestra las diferentes técnicas tanto cualitativas como cuantitativas para determinar la presencia de coliformes totales y la *E.coli*. *Elaboración propia*

Teniendo en cuenta la tabla 6 el método seleccionado para realizar el recuento de coliformes totales y *E.coli* es el de filtración por membrana ya que este me permite cuantificar la cantidad de unidades formadoras de colonias y además es el método más utilizado para aguas potables ya que la turbiedad de estas muestras es baja y no satura el papel filtro utilizado para retener las bacterias de interés.

#### **4.2.3. Plan de capacitación**

Se utilizó como base la norma ISO-10015 (ICONTEC, 2020). Directrices para la gestión de la competencia y el desarrollo de las personas teniendo en cuenta el ciclo PHVA (planificar, hacer, verificar, actuar). Se diseñó un plan de capacitación donde los trabajadores del acueducto del corregimiento de Mondomo puedan realizar la manipulación del test HANNA 3842-100 para la determinación del hipoclorito de sodio, que ha sido producido a través de un proceso electroquímico y así poder usar la concentración adecuada en el proceso de desinfección y lograr la inhibición completa de la *E.coli*.

### **4.3. Diseño experimental**

#### **4.3.1. Prototipo para la obtención de hipoclorito de sodio en sitio**

El prototipo elaborado previamente por el equipo de investigación de la Fundación Universidad de América brindaron información de su funcionamiento teniendo la siguiente información: el prototipo funciona con electrodos de grafito, la distancia entre los electrodos es de 0.8 cm, la temperatura de la reacción no supera los 38°C, la densidad de corriente se encuentra entre 22-44 mA/cm<sup>2</sup>, el amperaje utilizado por el equipo se encuentra entre 50 a 70 amperios durante el ciclo y la fuente de energía es de 110 V. El día 12 de noviembre de 2022 se realiza la obtención del hipoclorito de sodio en el acueducto de Mondomo utilizando 1800 gramos de cloruro de sodio en 22 litros de agua durante un periodo de tiempo de 120 minutos, la

concentración inicial del hipoclorito de sodio producido para ser utilizado en la evaluación de inhibición en el muestreo fue de 5.8 g/L.

#### **4.3.2. Variables**

Se evaluó el tiempo de contacto en 10 minutos, 20 minutos y 30 minutos del desinfectante, se tomó estos tiempos teniendo en cuenta que según, (Comisión Nacional del Agua et al., 2019), (Y. Liu et al., 2022), (Phattarapattamawong et al., 2021), (Xu et al., 2018), (Qing et al., 2021) el tiempo de contacto mínimo es de 10 minutos, según, (Perales, 2020), (Xu et al., 2018), (Ghasemian et al., 2017) se toma un tiempo de 30 minutos y se toma los 20 minutos como tiempo intermedio entre los 10 y 30 minutos. Así mismo, se tomó concentraciones de 0.5 mg/L, 1mg/L y 2 mg/L verificando la concentración para lograr la inhibición de la *E.coli* teniendo en cuenta lo establecido por el (Comisión Nacional del Agua et al., 2019), (Y. Liu et al., 2022), (Xu et al., 2018), (Wang et al., 2022) dichas pruebas se realizaron agua control y agua del corregimiento de Mondomo. El muestreo se realizó por triplicado, con el fin de obtener una significancia estadística.

#### **4.3.3. Preparación de la cepa de *E.coli* derivada de ATCC 25922**

Se tomo el tubo y se rompió la ampolla contenida, se golpea suavemente el tubo para que baje la totalidad del líquido de la ampolla, posteriormente se oprimió el sólido ubicado en el fondo del tubo y se mezcla bien con el líquido de la ampolla (Microbiologics, 2022), posteriormente se toma el hisopo y se realiza siembra masiva de la bacteria en agar nutritivo incubando entre 30-35°C durante 18 a 24 horas (Scharlau, 2022).

#### **4.3.4. Curva patrón McFarland**

Se preparó el primer estándar de la curva utilizando 9.95 mL de ácido sulfúrico al 1% y 0.05 mL de cloruro de bario al 1.175% obteniendo así una densidad bacteriana aproximada de  $1 \times 10^8$  (Medicina & Laboratorio, 2009).

#### **4.3.5. Curva de crecimiento bacteriano en caldo BHI**

Se sembró la bacteria *E.coli* en agar nutritivo incubando entre 30-35°C durante 18 a 24 horas. Posteriormente se preparó el caldo BHI (esterilizado) y se adicionó una colonia de la bacteria, se dejó en agitación a 150 rpm haciendo mediciones en el espectrofotómetro (Nanofotómetro NP-80) cada media hora a 600 nm hasta alcanzar la fase estacionaria. Finalmente se realizó diluciones seriadas para obtener una dilución contable y se realizó el proceso de desinfección con el hipoclorito de sodio obtenido en el prototipo (Mojica, 2020).

## 5. CONDICIONES DEL AGUA EN ACUEDUCTOS RURALES

A nivel mundial la contaminación en cuerpos de aguas ha sufrido un incremento excesivo a causa del crecimiento poblacional y el manejo inadecuado de los recursos hídricos por parte del ser humano, no todas las personas cuentan con acceso y saneamiento seguro de agua potable lo que genera una serie de factores que dificultan la salud de las personas, afectando así el medio ambiente y la economía de los países. Sin embargo, se ha implementado diferentes proyectos que permitan mejorar dichos aspectos a nivel mundial. En el siguiente capítulo se dará a conocer a nivel general la situación actual en el mundo, en Latinoamérica y en Colombia de las condiciones en los acueductos rurales. En la tabla 7 se puede evidenciar las cifras más importantes a nivel mundial relacionadas con dichos factores.

### 5.1. Condiciones del acceso y saneamiento del agua potable a nivel mundial

Los datos y cifras de la situación actual en el mundo del acceso y saneamiento de agua potable a nivel mundial son presentadas en la tabla 7.

**Tabla 7.**

*Cifras a nivel mundial para el acceso y saneamiento de agua potable*

Datos	Cifras
Servicio de saneamiento seguro para el 2020	54% de la población mundial (4200 millones de personas)
Uso de instalaciones privadas conectadas a alcantarillado con tratamiento de aguas residuales	34% de la población representando a 2600 millones de personas
Uso de inodoros o letrinas para la eliminación de excrementos de forma segura	20% de la población (1600 millones de personas)
Uso de la menos un servicio básico de saneamiento	78% de las personas a nivel mundial representando a 6100 millones de personas
Sin acceso a servicios básicos de saneamiento	1700 millones de personas
Personas que defecan al aire libre	494 millones
Vertimiento de aguas residuales sin tratamiento previo para el 2020	45% de aguas residuales domesticas
Consumo de alimentos regados con aguas residuales	Aproximadamente el 10% de la población mundial
Muertes por insalubridad, saneamiento y falta de higiene en aguas	829000 personas de ingresos bajos y medianos. El 60% representan muertes por diarrea.
Consumo de agua contaminada con heces	Aproximadamente 2000 millones de personas.
Personas con escasez de agua a nivel mundial	Más de 2000 millones

Establecimientos con servicios básicos del agua	50% a nivel mundial
Suministro de agua potable para el consumo humano para el 2020	74% de la población representando 5800 millones de personas
Abastecimiento de agua de pozo y manantiales	368 millones de personas
Abastecimiento de agua superficial no tratada	122 millones de personas

**Nota.** La tabla indica las principales cifras de la situación en que se encuentra el acceso y saneamiento del agua a nivel global. Tomado de: (OMS, 2022a) y (OMS, 2022b)

Con la información descrita en la tabla anterior se evidencia que a nivel mundial se presenta un problema de acceso y saneamiento de agua potable donde las poblaciones con mayor afectación se encuentran en los países más pobres, según datos los países donde se evidencia que las personas continúan defecando al aire libre es donde más se presentan muertes de niños menores de 5 años por presencia de enfermedades causadas por patógenos contenidos en los diferentes cuerpos de agua, además de malnutrición y pobreza (OMS, 2022b). Al mejorar el sistema de saneamiento y acceso a agua potable se puede minimizar la aparición de varias enfermedades causadas por el consumo de aguas contaminadas lo que permitiría reducir los gastos sanitarios dado que las personas dejarían de enfermarse y no tendrán que incurrir en gastos médicos, dicho lo anterior las personas podrán seguir siendo productivas mejorando así la economía de los países (OMS, 2022a).

## **5.2. Condiciones del acceso y saneamiento del agua potable en Latinoamérica y el Caribe**

Para el año 2022 en América Latina y el Caribe se dice que aproximadamente 161 millones de personas no cuentan con acceso a agua potable apta para consumo humano y 431 millones de personas no cuentan con saneamiento básico y seguro; dicha situación afecta principalmente a las personas con bajos recursos y que no cuentan con ingresos suficientes para poder pagar y así gozar de dicho servicio, otro factor que influye en dicha problemática se encuentra establecida por la posición geográfica y los estratos sociales a los cuales pertenecen donde los más afectados son las comunidades indígenas, los afrodescendientes y la población que vive en zonas rurales y finalmente otro factor que influye es el estado de la vivienda donde se encuentran las familias (CEPAL, 2022). Además, la pandemia demostró la brecha en el acceso a agua potable haciendo más vulnerable a las personas de escasos recursos y generándose problemas económicos al desaparecer muchos empleos, generando un incremento de aproximadamente el 40 % en costos que permitieran el acceso a agua potable y saneamiento; para lograr atacar esta problemática la CEPAL propuso una inversión del 1.3% del producto interno bruto de cada uno de los países en un período de tiempo de 10 años esperando así dar

cumplimiento al ODS 6 “Agua y saneamiento” (CEPAL, 2022). Teniendo en cuenta lo anteriormente se identifica que existen países que deben generar un aporte mayor en su producto interno bruto por ser países más pobres que los otros y por la falta de infraestructura e inversión, dichos países son Honduras, El Salvador, Colombia, Perú y México donde cada uno de ellos debe realizar un aporte de 4.44%, 2.46%, 1.89%, 1.81% y 1.56% respectivamente; por otro lado los países que deben hacer un esfuerzo menor son Chile, Costa Rica y Argentina con un porcentaje de 0.46%, 1.05% y 1.13% respectivamente (Saravia et al., 2023).

Por lo anteriormente expuesto se ha determinado programas que permitan mejorar el acceso a agua potable y saneamiento con estudios y simuladores ejecutados por personas capacitadas en cada uno de los países de América Latina, uno de ellos se puede encontrar en el libro de (Saravia et al., 2023) donde ellos evaluaron la necesidad de inversión por parte de dichos países para lograr el mejoramiento en el servicio de acueducto y saneamiento generando así empleos verdes y valor agregado bruto que permitan lograr el objetivo implementado por el programa, el estudio se realizó en 10 países (Argentina, El Salvador, República Dominicana, Brasil, Chile, Colombia, México, Perú, Costa Rica y Honduras) se tuvo en cuenta estos países porque determinan el 86% del producto interno bruto y el 80% del total de población, dicho estudio se realiza por el deficiente cumplimiento en la agenda 2030 en el ODS 6 donde la OMS logró identificar una gran brecha en el acceso a agua potable referente a la zona urbana y rural donde el 47% de la zona rural no cuenta con acceso a agua potable frente a un 19% en la zona urbana afectando a países con mayor extensión rural como lo son Nicaragua, Guatemala, Paraguay y Ecuador (Saravia et al., 2023). Para realizar la metodología de estudio se tuvo en cuenta las siguientes variables: cálculo de la población sin servicio de la línea base, proyección de crecimiento poblacional, proyección de crecimiento poblacional al 2030, definición de costos unitarios de expansión de cobertura por país, estimación de las necesidades de inversión en expansión de la cobertura, estimación de las necesidades de inversión en rehabilitación; los resultados se determinaron en un simulador en base a la matriz insumo producto (MIP) para los empleos verdes se obtuvieron incrementos en porcentajes de 4.94%, 3.40%, 3.27% y 2.87% en los países de Honduras, El Salvador, República Dominicana y Perú respectivamente generando 3.8 millones de empleos verdes, en cuanto al crecimiento en el valor agregado bruto este fue de 1.56% en un año y los países que mejoraron fueron Honduras, El Salvador y Colombia con porcentajes de 5.35%, 3.14% y 2.55% respectivamente (Saravia et al., 2023).

Por otra parte, (Vivanco et al., 2022) lograron evidenciar proyectos ejecutados en los diferentes países de América Latina y el Caribe, en la tabla 8 se observa un resumen de cada uno de ellos y el impacto que tuvo en el país

**Tabla 8.**

*Proyectos ejecutados en América Latina para el acceso de agua potable y saneamiento*

<b>País</b>	<b>Proyecto</b>
<b>Argentina en Uranga, Provincia de Santa Fe</b>	Se realiza inversión en la red de distribución donde se cambió la tubería a PVC de 50 mm y 14000 metros de longitud, gracias a ellos se logró duplicar el área hasta 405 conexiones, dicho proyecto finalizó en el año 2019 por un costo de USD 104417 donde el 20% fue aportado por el Instituto Nacional de Asociativismo y Economía Social mediante subsidio. Ahora se tiene en la mira la implementación de otro proyecto que permita el uso de nanotecnología para lograr remover sales, arsénico y otros tipos de metales, donde los costos serían más bajos a comparación de un sistema de ósmosis inversa (Vivanco et al., 2022).
<b>Argentina en Juella, Provincia de Jujuy</b>	En el año 2019 con el financiamiento por parte de varias entidades a nivel nacional como internacional se logró la instalación de un sistema subsuperficial para captar agua, la tubería para el agua potable, la tubería para el uso de agua de riego, tanques de almacenamiento y la mejora para una distribución eficaz en las viviendas y los terrenos que se dedican a realizar cultivos, además mejorar las conexiones domiciliarias obteniendo una mejor calidad en el agua suministrada. Actualmente se continua con la búsqueda de inversiones para lograr así la totalidad del servicio de agua para los habitantes de la zona (Vivanco et al., 2022)
<b>Bolivia en Zona Alta del Departamento de Tarija, Provincia Méndez, Municipios el Puente, Provincia Avilés, Municipio de Yunchará.</b>	Esta zona del país cuenta con inversiones de diferentes organizaciones en el proyecto “Mejora de la gobernanza para el diseño, ejecución y monitoreo de políticas sostenibles de gestión integral del agua y saneamiento en el Departamento de Tarija”, además el Servicio Departamental de Gestión Integral del Agua permitió la creación de las Plataformas de Agua y Saneamiento (PAS) al cual permite identificar los problemas de agua y saneamiento; este proyecto se lleva a cabo en estos municipios puesto que están entre los más pobres del país contando con un 73.97% en cobertura de agua potable, 77.64% en saneamiento y tan solo un 4.3% en alcantarillado (Vivanco et al., 2022).
	Cuentan con un sistema de bombeo y gravedad implementada en el año 1994 gracias a la comunidad de mujeres, su funcionamiento continua siendo eficaz

<b>Bolivia en el Municipio de Arbieto, departamento de Cochabamba</b>	<p>gracias a la organización y el liderazgo de las directivas, de dicho servicio se benefician 85 familias donde la tarifa es de USD1.4 por 6 m<sup>3</sup> cuando se excede dicho consumo el cobro adicional es de USD 1 por m<sup>3</sup>, tienen micromedición Con los pagos realizados por parte de los beneficiarios se hace posible el mantenimiento y los costos de operación, pago de energía, la compra del cloro para mantener un buen sistema de desinfección y el pago a la persona encargada de realizar la lectura de los consumos, cuando existe algún tipo de fuga se contrata un plomero. Una de las dificultades que se tenía era la calidad del agua por falta de conocimiento en el proceso de cloración por ello se procede a comprar una bomba inyectora de cloro con capacitación para su uso y la importancia de realizar dicho proceso, además de sensibilizar a la comunidad para que tengan presente las enfermedades existentes cuando no se realiza el proceso de cloración al agua (Vivanco et al., 2022).</p>
<b>Chile en la Localidad de Cerillos de Tamaya, Comuna de Ovalle, Provincia del Limarí, Región de Coquimbo</b>	<p>Se logró obtener una inversión de USD 65651.25 donde la administración fue el encargado de operación eficaz en el sistema de tratamiento para obtener agua de riego y el agricultor se comprometió a mantener la operación y el buen funcionamiento en el sistema de reusó y lograr vender el producto agrícola obtenido aprovechando las ventas para poder realizar mantenimiento en los sistemas (Vivanco et al., 2022).</p>
<b>Colombia en Municipio de Jamundí, Departamento del Valle del Cauca</b>	<p>La Asociación de usuarios del servicio de agua potable del sur de Jamundí tiene 3410 suscriptores/conexiones las cuales evidencian un sistema de micromedición para una población aproximada de 16000 habitantes dando cobertura al 99.4% del área de interés; el sistema cuenta con una línea de conducción de 22 km la cual llega a la Planta de Tratamiento de Agua Potable operada por usuarios de la misma comunidad, dando cumplimiento a la calidad del agua a través de la Resolución 2115 de 2007, gracias a este sistema y la administración ejecutada por la Asociación se permite el suministro de agua 23.8 horas al día los siete días de la semana manteniendo un indicador de satisfacción en el servicio del 92% (Vivanco et al., 2022).</p>
<b>Colombia en Corregimiento La Vorágine, en Cali Departamento del Valle del Cauca</b>	<p>La Asociación de usuarios de acueducto y alcantarillado de la localidad de La Vorágine se encargan de mantener el Río Pance en óptimas condiciones por ser la principal fuente de abastecimiento de agua para la población, la principal actividad económica de la zona es el turismo en dicho río, sin embargo, este se ha sufrido una gran contaminación por parte de los turistas, razón por la comunidad y los líderes vieron la necesidad de solicitar la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas para así poder mejorar la calidad del agua en el año 1997 y posteriormente la creación de</p>

	<p>la planta de tratamiento de agua potable en el 2009 brindando así servicio de agua potable a 81 familias así como de alcantarillado a 70; no solo se realizaron proyectos referentes al suministro de agua y alcantarillado sino que también se impulsó la recolección de residuos sólidos en los alrededores del río Pance dejados principalmente por los turistas. La Asociación permanece activa en todos los temas relacionados con el medio ambiente como reforestación, reproducción de especies que permitan reforestar zonas para la conservación del agua, participa en mesas ambientales municipales, entre otras actividades; un proyecto a futuro es lograr el suministro de agua potable y saneamiento a todo el Ecoparque Departamental Río Pance (Vivanco et al., 2022).</p>
<p><b>Costa Rica a nivel nacional</b></p>	<p>En el año 2001 se ejecutó el programa “Sello de Calidad Sanitaria” donde la idea es entregar un galardón a todas aquellas instituciones que brinden servicio de agua potable y que cumplan con los requerimientos establecidos para ser apta al consumo humano y mantener una mejora continua, está se clasifica por colores y puntajes los cuales representan la seguridad en la calidad de agua que se está suministrando, dicha participación es totalmente voluntaria, en el año 2002 participaron 14 operadores de los acueductos donde 13 de estos lograron obtener la acreditación (Vivanco et al., 2022).</p>
<p><b>México en Nicolás Bravo, Terrenate, Tlaxcala</b></p>	<p>Tiene una población de 1674 habitantes y su principal fuente de suministro son los pozos, la tarifa establecida es de 500 pesos al año por cada familia y la recaudación tiene un éxito del 100%, la ventaja es el acceso a agua potable de 24 horas los 365 días del año. Cuentan con una Asamblea General y con el presidente de la comunidad toman decisiones referentes a todos los planes de inversión, la comunidad tiene un índice de participación del 70% y el éxito de este proyecto es la confianza que tiene la comunidad en sus líderes (Vivanco et al., 2022)</p>
<p><b>México en la Comunidad Nahua de Acatlán</b></p>	<p>Se crea un Comité para la gestión del agua donde se encargan de revisar problemas relacionados con escasez de agua y huracanes, ayudan a solucionar demandas relacionadas con el acceso al agua y cuidan zonas que representen una parte importante del recurso hídrico, verifican que se realicen los diferentes mantenimientos y analizan todos los temas relacionados con contaminación del agua (Vivanco et al., 2022).</p>
	<p>En el año de 1990 una ONG ayudo a la construcción de un sistema de abastecimiento de agua pero no se logró su objetivo por problemas técnicos quedando totalmente abandonado; posteriormente en 1996 se construye la</p>

<b>Perú en Distrito de San Miguel, Provincia de La Mar, Región Ayacucho</b>	infraestructura que dará paso al acceso en el servicio de agua y saneamiento, el funcionamiento de este ha sido posible gracias a las tarifas establecidas permitiendo la creación de un fondo de contingencia, la compra de insumos y herramientas, la limpieza y mantenimiento se realiza cada tres o cuatro meses bajo supervisión y esta provisto de un sistema de cloración por goteo instalado en 2017. Su visión a futuro va encaminada a la micromedición (Vivanco et al., 2022).
<b>Perú en el Distrito de Moyobamba, Provincia de Moyobamba, Región San Martín</b>	Presenta un sistema de agua por gravedad sin tratamiento quedando listo en el año 2003, se ha logrado mantener gracias a la tarifa de 5 nuevos soles el cual permite cubrir los costos de operación, así como el mantenimiento, tiene un nivel de morosidad en los pagos del 0%. La importancia de este proyecto se debe a que se promueve campañas de limpieza que ayuden a prevenir la contaminación de las fuentes de sus recursos hídricos (esto a través de actividades de educación sanitaria). El sistema presenta cloración por goteo y se lleva un registro detallado en la medición de cloro residual, las comunidades gozan de un servicio de agua las 24 horas del día los 7 días de la semana (Vivanco et al., 2022).
<b>República Dominicana en Carrizal, San José de las Matas, Provincia Santiago</b>	En el 2013 se construye el acueducto gracias a aportes financieros de la misma comunidad, de familiares que viven en el exterior y del Programa del Plan Sierra se opera por gravedad, los baños presentan arrastre hidráulico con fosas sépticas abarcando el 90% de la población y el 10% realizan uso de letrinas. Con el fin de evitar la contaminación de la principal fuente hídrica se compra el terreno de los alrededores y se restringe el acceso a las personas, únicamente pueden acceder las personas que van a realizar algún tipo de operación o mantenimiento, también cuentan con un programa de recolección de residuos sólidos y los residuos orgánicos se destinan para realizar compostaje utilizando posteriormente como abono en actividades de agricultura (Vivanco et al., 2022)
<b>República Dominicana en Villa Sombrero, distrito municipal del municipio de Baní, en la provincia Peravia</b>	Este Acueducto ya se encuentra bien estructurado y cuenta con sistema contable y comercial, las tarifas de pago se encuentran establecidas dependiendo el tipo de vivienda o negocio y la capacidad monetaria que tiene cada uno de ellos de realizar los respectivos pagos, se cuenta con 1881 clientes de los cuales el 87.5% se encuentran activos, 163 están suspendidos por solicitud del cliente y 72 se encuentran exentos de pagos. Los ingresos que se tienen gracias a las tarifas establecidas han permitido brindar un servicio de agua potable desde 1997 (Vivanco et al., 2022).

**Nota.** La tabla brinda un resumen de los proyectos que se han llevado a cabo en diferentes países de América Latina y el Caribe con el objetivo de mejorar el acceso a agua potable en zonas rurales.

En la tabla 8 se evidenció algunos de los proyectos que se están desarrollando en acueductos de las zonas rurales para mejorar el acceso de acueducto y alcantarillado a las poblaciones, la mayoría de estos demuestran que se está fortaleciendo la infraestructura de los mismos con el fin de mejorar la calidad del agua y garantizar el suministro de agua potable evitando que sigan apareciendo enfermedades que ocasionen problemas de salud sobre todo en niños menores de 5 años; dichos proyectos ayudan a entender que los municipios, departamentos, entes gubernamentales y la comunidad se están capacitando sobre la importancia del consumo de agua potable en las zonas rurales buscando mejorar sus servicios para así lograr minimizar la brecha que existe entre las zonas urbanas y mejorar la calidad de vida de las personas.

### **5.3. Condiciones del acceso y saneamiento del agua potable en Colombia**

Colombia cuenta con Planes Departamentales de agua los cuales cuentan con apoyo financiero y técnico en conjunto con el Ministerio de vivienda donde la idea principal es permitir que los habitantes de los municipios y distritos cuenten con acceso a agua potable de calidad y que esta se apta para su consumo, para el período 2019-2022 se realizó una priorización para los municipios que contaban con un plan de desarrollo con enfoque territorial y todas aquellas poblaciones que se encuentran más afectadas por el conflicto, dichos recursos se obtienen del Sistema General de Participaciones, Sistema General de Regalías, recursos de la Nación, del Fondo de Paz, apoyo internacional y Obras por Impuestos los cuales brindan apoyo a diferentes municipios, sin embargo, existen ocasiones donde se ha tenido que hacer uso de recursos propios o se ha obtenido apoyo de organizaciones externas como la Federación Nacional de Cafeteros (Moreno Méndez, 2020).

En Colombia se puede encontrar una brecha muy grande entre el acceso de agua potable entre las zonas urbanas y rurales, por ello se dice que más de 3 millones de personas pertenecientes a las zonas rurales no tienen acceso a agua potable y no presentan servicio de acueducto y alcantarillado representando así el 28% de la población (MINVIVIENDA, 2019). Otro indicador de la brecha que existe entre las zonas urbanas y rurales es el acceso en la cobertura de acueducto y alcantarillado donde según (Moreno Méndez, 2020) el acceso a acueducto para zonas urbanas es de 97.9% mientras que para zonas rurales es de 71.54% y para cobertura de alcantarillado es de 92.85% para zonas urbanas y de 73.88% en zonas rurales según dichas estadísticas la situación es más complicada en la región Pacífica y Atlántica donde el acceso a

acueducto y alcantarillado está muy por debajo del promedio nacional, dicha deficiencia en el acceso para zonas rurales se debe a la baja infraestructura que se tiene para realizar el proceso de potabilización del agua, la distribución no es equitativa dado que se prioriza la zona urbana, la operación ejecutada en los acueductos no es la idónea para lograr un proceso de potabilización completo y de calidad, las tarifas cobradas para gozar del acceso de este servicio no da abasto para cubrir todos los gastos generados en el proceso, además en algunas regiones la capacidad de las instituciones que ejecutan la potabilización es muy baja y además existe una limitación en el seguimiento por parte de las autoridades competentes. El acceso a agua potable por parte de las poblaciones de zonas rurales inicio con el 10% en 1992, 12% para el año 2002 y del 18% para el año 2013 evidenciándose así un incremento en dicho acceso, sin embargo, dicho porcentaje continúa siendo muy bajo para la necesidad que se tienen en dichas zonas (Moreno Méndez, 2020). Los principales problemas que enfrenta la zona rural es que existen diferentes entidades prestadoras del servicio de acueducto y alcantarillado pero no son formales y de 1102 municipios de Colombia solo existen 1320 prestadores del servicio registrados en la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, dicha informalidad se debe a la falta de conocimiento en el tema normativo, la poca capacidad que presentan para poder llevar a cabo el proceso completo de potabilización, la falta de financiación para poder elaborar una infraestructura apta para el proceso, el cumplimiento legal para poder ser vigilados por los entes encargados de regular el servicio que ofrecen los acueductos, la falta de conocimiento para poder llevar a cabo los procedimientos establecidos, la ausencia de tarifas y de estratos socioeconómicos y el escaso apoyo por parte de los entes de financiación encargados para este proceso en cada uno de los municipios; otro problema que permite la gran brecha entre las zonas urbanas y rurales se debe a la poca planeación en la financiación de los recursos asignados para los proyectos que se deben ejecutar lo que limita el apoyo a los acueductos encargados de ejecutar el proceso de potabilización y así brindar agua con la calidad suficiente para ser consumida y el último problema se relaciona con el abastecimiento del recurso hídrico teniendo como principal dificultad el calentamiento global causado de forma natural o por la intervención del hombre (entre estos factores se presenta la deforestación, cambios en los suelos, la baja calidad de las fuentes de agua utilizadas para realizar el tratamiento generando así mayores costos en el proceso, así como el incremento en la demanda del recurso, entre otros) (Moreno Méndez, 2020).

Según el (Gobierno de Colombia, 2020) en su Informe Nacional de Calidad del Agua para consumo humano la calidad del agua mejoró en las áreas urbanas mientras que en la rurales se mantiene un nivel alto de riesgo, teniendo en cuenta los análisis microbiológicos se encontró que

la *Escherichia coli* presenta valores por encima de los permitidos en la norma teniendo así el 63% (representando 90 de 142 resultados) adicional a esto se tienen valores de hasta 11000 unidades formadoras de colonias (UFC/cm<sup>3</sup>). Dicho lo anterior la *Escherichia coli* es considerada el indicador de presencia en contaminación fecal por lo que no se permite su presencia en aguas que sean destinadas para consumo humano, por otra parte, los coliformes totales pueden ayudar a los prestadores del servicio a tener una alerta sobre la limpieza y distribución utilizado para la distribución del agua. La mayor dificultad presentada para este informe se encuentra determinada en los grupos catalogados como “sin información” por parte de la vigilancia de calidad de agua puesto que se evidenció que no se realiza seguimiento a los parámetros estipulados en el decreto 1575 de 2007 para dar cumplimiento al uso para consumo. Así mismo se logró identificar la posible relación de la calidad del agua con respecto a la enfermedad diarreica aguda donde se evaluaron 63 municipios de los 12 departamentos con niveles altos en el IRCA; dichos municipios fueron: Boyacá, Caldas, Tolima y Valle del Cauca.

Según la (Defensoría del Pueblo, 2023) un millón y medio de personas consumieron agua no apta para el consumo humano en el 2022, donde según cifras en ese mismo año se encontraron 32 municipios con agua inviable sanitariamente y 84 con riesgo alto, determinando así que 61 municipios la cobertura de acueductos es tan solo del 15% y de alcantarillado es inferior al 15%, adicional a esto se encuentra que un factor en la contaminación de los cuerpos hídricos es llevado a cabo por la minería ilegal en el uso de mercurio y cianuro en los ríos Atrato, Cauca, Suratá y Amazonas.

Teniendo en cuenta la importancia que se dio en el lavado de manos tras la aparición del COVID-19 se intensificó el seguimiento en el acceso en el suministro de agua potable por parte de diferentes entidades de los departamentos, es por ello, que en el Valle del Cauca se identificó que el índice de riesgo por calidad de agua el 41.2% están categorizados como agua de alto riesgo (considerándose no apta para consumo humano), lo peor de estas cifras es que 113 acueductos rurales presentan agua inviable para el consumo debido a la presencia de coliformes totales y *E.coli* por lo que se puede asegurar que el agua se encuentra contaminada con heces fecales, según estudios realizados las heces fecales de personas con COVID-19 podían durar contaminadas con dicha enfermedad durante 100 días lo que hacía más vulnerable a la población que no cuenta con un acceso seguro de agua potable, además, la contraloría logró identificar que el 60% de los acueductos rurales no están ejecutando el proceso de desinfección por falta de recursos para obtener el cloro o simplemente no tiene implementado el proceso de cloración (Contraloría Departamental del Valle del Cauca, 2020).

Se logró identificar que el problema en la calidad de agua potable en las zonas rurales y la falta de acceso que tiene la población a ella se debe a la falta de apoyo por parte del Estado, según (Soto et al., 2019) la causa principal para dicho problema es la falta de conocimiento por parte de la población en el derecho para exigir a los entes encargados el acceso a gozar de agua potable y de calidad para su consumo, teniendo en cuenta lo anterior en veredas ubicadas en Caldas (Marmato y Viterbo) se ha unido la comunidad para recuperar el acceso del agua potable, empezando con el cuidado y la restricción de las bocatomas de donde se obtiene el recurso, sin embargo, es difícil controlar el uso en aguas abajo ya que no existen normas que ayuden a regular lo que ocurre en ese tramo de los ríos, por ello, es necesario que las Asociaciones de Usuarios de Acueductos Rurales fomenten la cooperación de toda la comunidad para lograr el cuidado de los ríos y así mejorar la calidad del agua potable que se brinda a todas las poblaciones que habitan en las zonas rurales.

En el municipio de Santander de Quilichao en el Cauca la junta de acción comunal en conjunto con la Corporación Autónoma Regional del Cauca CRC, la Federación Nacional de Cafeteros y el Servicio de Salud del Cauca han implementado proyectos y han distribuido los recursos para lograr la construcción de los acueductos rurales. Para mejorar el acceso de agua potable a toda la población en el 2009 se creó la Unidad Municipal de Agua Potable y Saneamiento Básico quienes desarrollaron un plan de acción que se dividió en tres fases: la primera fase era el diagnóstico identificando así los principales problemas que no permiten brindar el servicio de acueducto, en la segunda fase se realizó la intervención en varios de los acueductos de las zonas rurales así como la implementación de sistemas de filtración en múltiples etapas (FIME) junto con el proceso de cloración en cinco plantas de tratamiento y la tercera fase es la encargada de la coordinación y la actualización (Proyecto ASIR-SABA, 2016a). Adicional, Emquilichao ESP se encarga de la asistencia técnica de los acueductos y vela por la construcción de las plantas de tratamiento y el proceso de potabilización (Proyecto ASIR-SABA, 2016a). Teniendo en cuenta visitas realizadas las fuentes de abastecimiento se encuentran determinadas por el 8% son de los nacimientos, 76% arroyos o quebradas, 14% de ríos y 2% de lagos o lagunas. En cuanto a las plantas de tratamiento solo cuatro realizan análisis de control para determinar la calidad de agua que se está suministrando aunque no cumplen con la totalidad de requerimientos de ley, el 44% presentan inconvenientes en el mantenimiento y falta de capacitación para operar el sistema del acueducto, el 36% tienen algún problema técnico, el 16% presenta escasez en los recursos suministrados y el 4% no cuenta con agua, ninguna planta cuenta con laboratorio para realizar análisis y tan solo el 50% realiza el proceso de medición de cloro y pH (Proyecto ASIR-SABA, 2016a). Según el diagnóstico realizado en un muestreo de 114

muestras a las que se les midió parámetros de alcalinidad, color, conductividad, dureza total, hierro total, pH, turbiedad, calcio y magnesio, coliformes totales y *E.coli* en 98 sistemas de tratamiento y 16 instituciones educativas se determinó que la calidad del agua suministrada es aceptable para el consumo humano y para el índice de riesgo de la calidad del agua el 74% presenta riesgo alto, el 20% riesgo medio y el 6% sin riesgo para la salud de las personas (Proyecto ASIR-SABA, 2016a).

En el corregimiento de Mondomo, municipio de Santander de Quilichao en el Cauca la primera forma de abastecimiento de agua era el acercamiento al nacimiento o vertientes con ollas de barro o calabazos para así ser transportado hasta los hogares de las personas, fue en 1948 que se construye el primer acueducto captando agua de la quebrada Los Canelos en la vereda de Santa Bárbara este fue dirigido por la Junta de Acción Comunal, en 1965 se construye otro sistema captando agua de la quebrada San Pablo su operación era por gravedad siendo administrado por Acuacauca, en el año de 1994 ocurre un sismo que daña las tuberías y los tanques de almacenamiento y para la reconstrucción del acueducto se contrata a la Universidad del Valle y en 1998 se termina de reconstruir el sistema de acueducto incluyendo la planta de potabilización, el nuevo sistema contiene líneas de aducción, desarenador, conducción a la plata, sistema de filtración por múltiples etapas, administración, tanques de almacenamiento, conducción a la localidad y red de distribución (Lasso, 2022) según información suministrada por el personal del acueducto de Mondomo el caudal de operación tiene un promedio de 15 l/s, sin embargo, en la noche el caudal es de 7 l/s y el máximo presentado es de 17 l/s. Para el corregimiento de Mondomo en el muestreo donde se determinó parámetros fisicoquímicos y microbiológicos la calidad de la fuente de abastecimiento del acueducto (Bocatoma quebrada San Pablo) queda clasificada como aceptable, del mismo modo al realizar el cálculo de índice de riesgo de la calidad del agua este obtiene un puntaje de 1.8 clasificada como agua sin riesgo (Proyecto ASIR-SABA, 2016).

La mejor solución para atacar la brecha tan grande que existe entre las zonas rurales y urbanas se encuentra determinada en fortalecer el apoyo por parte de municipios, departamentos y sobre todo del Gobierno Nacional donde los alcaldes vean la importancia y la necesidad de incluir dentro de sus planes de desarrollo el acceso a agua potable apta para consumo humano para todas las poblaciones que habitan en las zonas rurales, manteniendo los programas así surja un cambio de gobierno dado que no se puede lograr una mejoría en tan solo cuatro años de gobierno sino que hace falta el fortalecer todas aquellas propuestas que buscan satisfacer las necesidades de las personas; también existe la necesidad de exponer dichos problemas en la

academia para hacer posible el surgimiento de nuevas ideas que conlleven a que futuras generaciones logren mejorar procesos que aún no se han logrado llevar a cabo y que mejoren el desarrollo del país a nivel económico, social y del medio ambiente (Moreno Méndez, 2020).

En resumen, se puede identificar que las zonas rurales son las más afectadas en el consumo de agua contaminadas en cuanto a que no logran tener los IRCA en niveles aptos para consumo humano, esto se debe a falta de presupuestos para fortalecer el funcionamiento de los acueductos ubicados en los diferentes municipios así como la falta de seguimiento y vigilancia en el cumplimiento de los parámetros establecidos en el decreto 1575 de 2007, donde eventualmente se puede identificar que varias de las enfermedades gastrointestinales son causadas por la presencia de microorganismos contenidos en dichas aguas.

## 6. EFICIENCIA DE INHIBICIÓN MICROBIOLÓGICA DEL AGENTE CLORADO

### 6.1. Proceso de inhibición de la bacteria *E.coli*

De acuerdo con (Cuesta Parra et al., 2024) se elaboró un prototipo el cual fue ubicado en el acueducto de Mondomo para obtener hipoclorito de sodio a partir de cloruro de sodio, al cual se le realizó la evaluación de inhibición para la bacteria *E.coli* y así lograr el suministro de agua potable a la población.

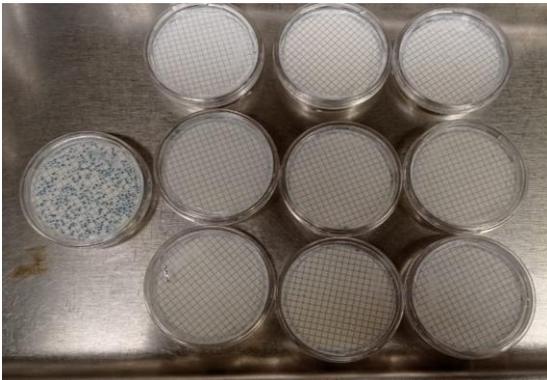
#### 6.1.1. *Análisis de la E.coli con una muestra control*

Se realizó un análisis con el estándar 0.5 de la curva de McFarland teniendo una concentración teórica de  $1 \times 10^8$ . Para preparar dicha muestra se utilizaron varias colonias de la bacteria *E.coli* hasta obtener la turbiedad del estándar, llevándola a un volumen final de un litro para realizar siembras de 100 ml de acuerdo con el método (American Public Health Association, 2017b). A la muestra se le adicionó una concentración de 0.5 mg/L de NaClO a diferentes tiempos de contacto de 10, 20 y 30 minutos por triplicado. Se realiza la lectura a las 24 horas, evidenciando que no hubo inhibición de la bacteria, esto es porque la muestra se encontraba muy concentrada.

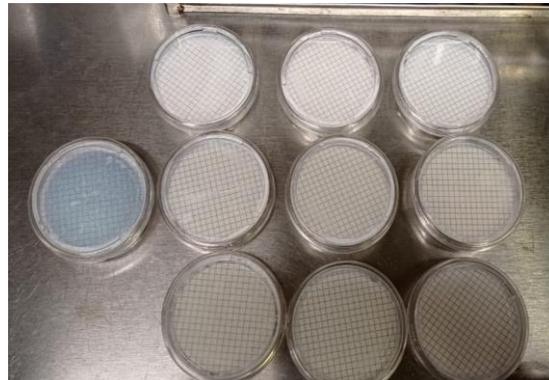
Posteriormente se procede a realizar diluciones seriadas hasta obtener una dilución que sea contable, teniendo la dilución óptima se realiza la evaluación de la inhibición para la muestra diluida de  $10^{-3}$  y  $10^{-5}$ . Para verificar el comportamiento de la bacteria a las diferentes concentraciones y tiempo de contacto, obteniendo los resultados de la figura 2. Como se evidencia en la figura 2 b para la dilución  $10^{-5}$  la muestra directa no es contable, sin embargo, se logra la inhibición total de la bacteria al adicionar las diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio y utilizando los tiempos de contacto establecidos. Por ende, la dilución de  $10^{-3}$  si es contable pero también logra la inhibición total de la bacteria.

**Figura 2.**

a) Siembra dilución  $10^{-5}$  con NaClO, b) Siembra dilución  $10^{-3}$  con NaClO



**Figura a**



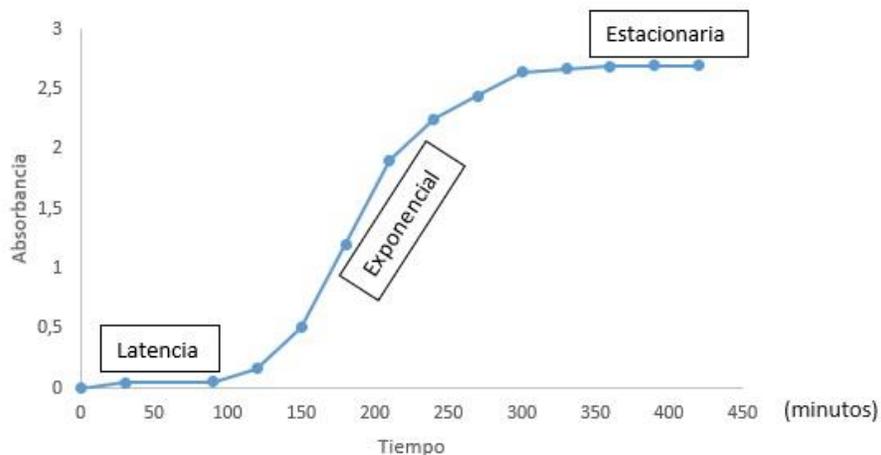
**Figura b**

**Nota.** Se presenta el resultado de inhibición con hipoclorito de sodio para la *E.coli* en diferentes diluciones seriadas por el método de la curva de McFarland.

Teniendo en cuenta el resultado anterior donde se logró la inhibición de la bacteria tanto para la dilución de  $10^{-3}$  y  $10^{-5}$  a las diferentes concentraciones y tiempos de contacto se busca otro método que ayude a fundamentar el resultado, por ello se realiza una curva de crecimiento de la bacteria en caldo BHI para determinar la fase estacionaria de la bacteria y tener en cuenta el tiempo donde alcanza dicha fase (Figura 3).

**Figura 3.**

*Curva de crecimiento de la bacteria E.coli en caldo BHI*



**Nota.** En la figura se muestra las diferentes fases de crecimiento de la bacteria *E.coli* a medida que aumenta el tiempo.

Teniendo en cuenta la figura 3, se determina que la fase estacionaria se logra en un tiempo de 300-320 min (5 horas aproximadamente). Posteriormente se realiza la siembra de la bacteria en caldo BHI permitiendo su crecimiento hasta lograr la fase estacionaria, luego se busca obtener una dilución contable realizando diluciones seriadas siendo esta la de  $10^{-8}$  (figura 4 a). Se realizó el proceso de desinfección para la concentración de 0.5 mg/L con el tiempo mínimo de contacto de 10 minutos, donde se logra evidenciar una inhibición total de la *E.coli*, adicional se realiza el mismo procedimiento con la dilución de  $10^{-6}$  para verificar el comportamiento, obteniendo inhibición total de la bacteria (figura 4 b).

#### Figura 4.

a) Diluciones seriadas, b) diluciones seriadas de  $10^{-6}$  y  $10^{-8}$  con NaClO



Figura a



Figura b

**Nota.** Se presenta el resultado de inhibición con hipoclorito de sodio para la *E.coli* en diferentes diluciones seriadas por el método de crecimiento bacteriano en caldo BHI.

Con los resultados de los dos métodos el McFarland y con el caldo BHI, se puede confirmar que con el NaClO obtenido en sitio con el nuevo prototipo se logra una inhibición completa de la bacteria a la concentración de 0.5 mg/L y un tiempo mínimo de contacto de 10 minutos, sin embargo, se debe realizar el análisis del comportamiento de las bacterias en el agua de la quebrada después de realizar el proceso de desinfección.

#### 6.1.2. Muestreo en el acueducto de Mondomo

El día 12 de noviembre del 2022 a la 01:00 p.m se tomaron 10 muestras de agua en el acueducto de Mondomo ubicado en Santander de Quilichao en Colombia. El agua de la planta de tratamiento de potabilización es tomada en la quebrada San Pablo (Alcaldía Municipal de Santander de Quilichao, n.d.). En la figura 5 se puede apreciar el sistema de tratamiento de agua potable en el acueducto del municipio en el cual encontramos varias secciones las cuales hacen posible este proceso, 1. Vivienda del operador. 2. Válvula de entrada. 3. Filtros dinámicos. 4. Filtros gruesos. 5. Filtros lentos. 6. Caja de agua. 7. Caja de cloración. 8. Caja de lavado de arena. 9. Tanque de almacenamiento. 10. Almacenamiento de arena y producción de hipoclorito.

## Figura 5.

*Acueducto de Mondomo.*



**Nota.** Distribución del sistema de tratamiento de agua potable en el acueducto de Mondomo, Santander de Quilichao, Cauca.

Durante el muestreo se recolecto muestras de agua a la entrada del sistema, agua tratada por filtración, agua filtrada a la que se le adicionaron concentraciones de 0.5, 1 y 2 mg/l de NaClO en los minutos 10, 20 y 30, la reacción del hipoclorito se detiene con el uso de tiosulfato de sodio al 3% (American Public Health Association, 2023). Sin embargo, no se capto muestra 2 mg/l de hipoclorito en el minuto 30, debido a que se decidio tomar una muestra al inicio del sistema de agua cruda. Las muestras fueron transportadas hasta Bogotá y analizadas el domingo 13 de noviembre del 2022.

El domingo 13 de noviembre del 2022 se realizó la siembra por el método de filtración por membrana para determinar la cantidad de coliformes totales y *E.coli* teniendo en cuenta el método AWWA Standard Methods 9222 J Edición 23-2017. Obteniendo los resultados presentados en la Tabla 9.

**Tabla 9.**

*Resultados análisis microbiológicos en las muestras tomadas por el método de filtración por membrana*

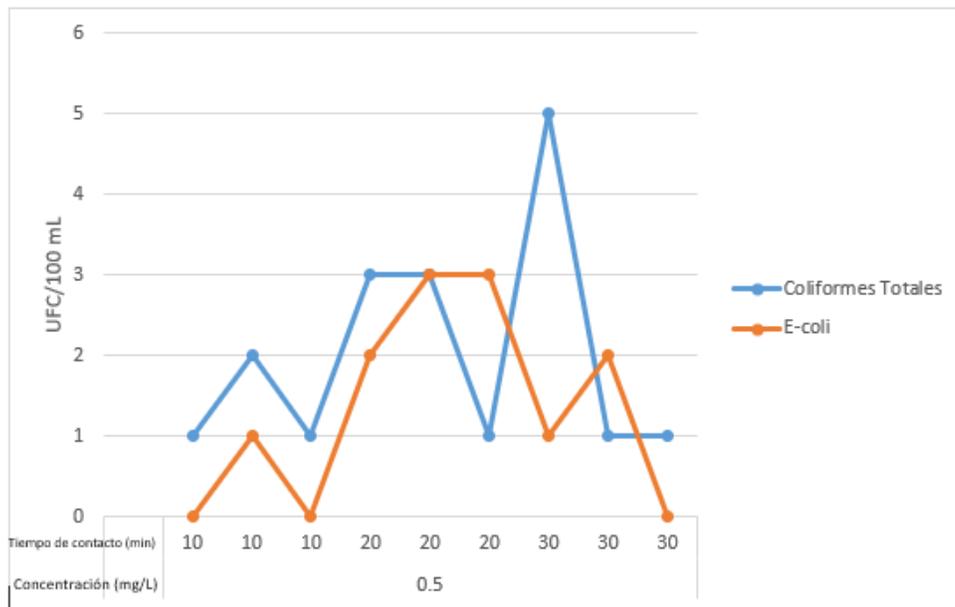
Concentración (mg/L)	Tiempo contacto (minutos)	de Identificación	Resultado (UFC/100 mL)	
			Coliformes Totales	<i>E-coli</i>
<b>Blanco</b>	No Aplica	S1*	0	0
<b>Blanco</b>	No Aplica	S2*	0	0
<b>Blanco</b>	No Aplica	S3*	0	0
<b>0.5</b>	10	S1*	1	0
<b>0.5</b>	10	S2*	2	1
<b>0.5</b>	10	S3*	1	0
<b>0.5</b>	20	S1*	3	2
<b>0.5</b>	20	S2*	3	3
<b>0.5</b>	20	S3*	1	3
<b>0.5</b>	30	S1*	5	1
<b>0.5</b>	30	S2*	1	2
<b>0.5</b>	30	S3*	1	0
<b>1</b>	10	S1*	4	0
<b>1</b>	10	S2*	3	0
<b>1</b>	10	S3*	3	0
<b>1</b>	20	S1*	6	0
<b>1</b>	20	S2*	1	0
<b>1</b>	20	S3*	4	0
<b>1</b>	30	S1*	1	17
<b>1</b>	30	S2*	1	3
<b>1</b>	30	S3*	0	8
<b>2</b>	10	S1*	1	0
<b>2</b>	10	S2*	0	5
<b>2</b>	10	S3*	0	2
<b>2</b>	20	S1*	3	0
<b>2</b>	20	S2*	0	0
<b>2</b>	20	S3*	1	0
<b>Muestra directa sin filtrar</b>	No Aplica	S1*	<b>Incontable</b>	<b>205</b>
<b>Muestra directa sin filtrar</b>	No Aplica	S2*	<b>Incontable</b>	<b>206</b>
<b>Muestra directa sin filtrar</b>	No Aplica	S3*	<b>Incontable</b>	<b>224</b>
<b>Muestra directa filtrada</b>	No Aplica	S1*	3	3
<b>Muestra directa filtrada</b>	No Aplica	S2*	3	1
<b>Muestra directa filtrada</b>	No Aplica	S3*	2	1

**Nota.** Resultados para determinar las unidades formadoras de colonias para coliformes totales y *E. coli* en el muestreo realizado en el acueducto de Mondomo, Santander de Quilichao, Cauca.

Teniendo en cuenta los resultados mostrados en la Tabla 9 y lo establecido por la resolución 2115 de 2007 artículo 11 de Colombia donde se indica que el agua para consumo humano no debe presentar unidades formadoras de colonias para coliformes totales y *E.coli*, se evidencia que la muestra a la entrada del sistema presenta coliformes totales con colonias mayores a 300 unidades formadoras de colonias (UFC/100 mL) y *E.coli* de 212 UFC/100 mL. Para las muestras analizadas después del proceso de tratamiento por filtración se elimina microorganismos presentes por ello se puede observar que en los resultados existe un promedio de 3 UFC/100 mL de coliformes totales y un promedio de 2 UFC/100mL de *E.coli* resultados muy favorables si se comparan con los obtenidos en el agua cruda, el lavado de gravas y arenas se realiza con agua clorada y la frecuencia es periódica por eso se reduce el riesgo en la presencia de microorganismos.

**Figura 6.**

*Resultados en UFC/100 mL del agua tratada con 0.5 mg/L de NaClO*



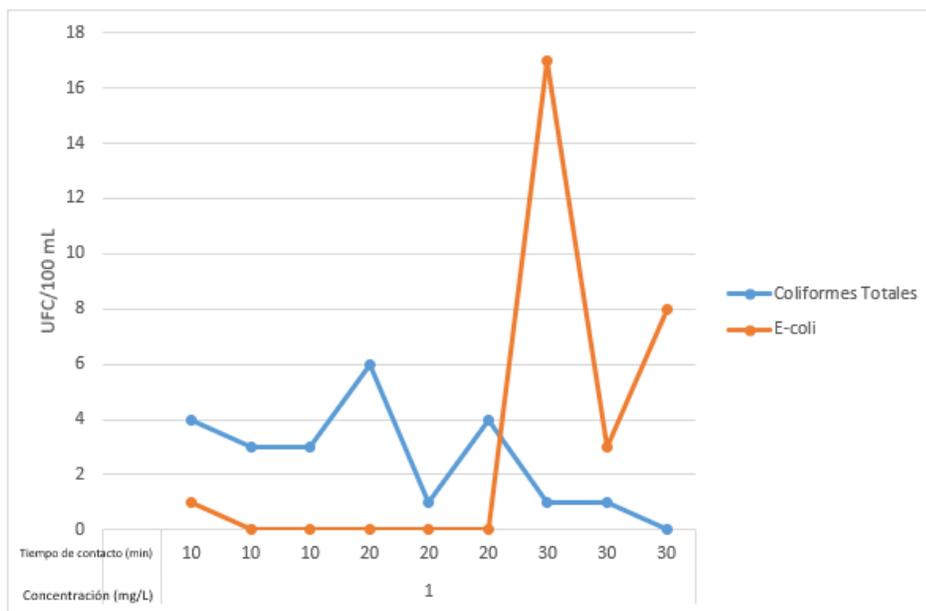
**Nota.** En la figura anterior se evidencia el resultado de las unidades formadoras de colonia para coliformes totales y *E.coli* en el tratamiento de agua con hipoclorito de sodio al 0.5 mg/L.

Después del tratamiento con NaClO de las muestras tomadas en sitio se identifica que ninguna concentración y tiempo de contacto es óptimo para la inhibición de los coliformes totales y *E.coli*. Como se observa en la figura 6 a los diferentes tiempos de contacto y a una concentración de 0.5 mg/L no se evidencia inhibición completa ni para coliformes totales ni para

*E.coli* por lo cual no tendría cumplimiento con la resolución 2115 de 2007 en el artículo 11 de Colombia en los parámetros microbiológicos.

**Figura 7.**

*Resultados en UFC/100 mL del agua tratada con 1 mg/L de NaClO*

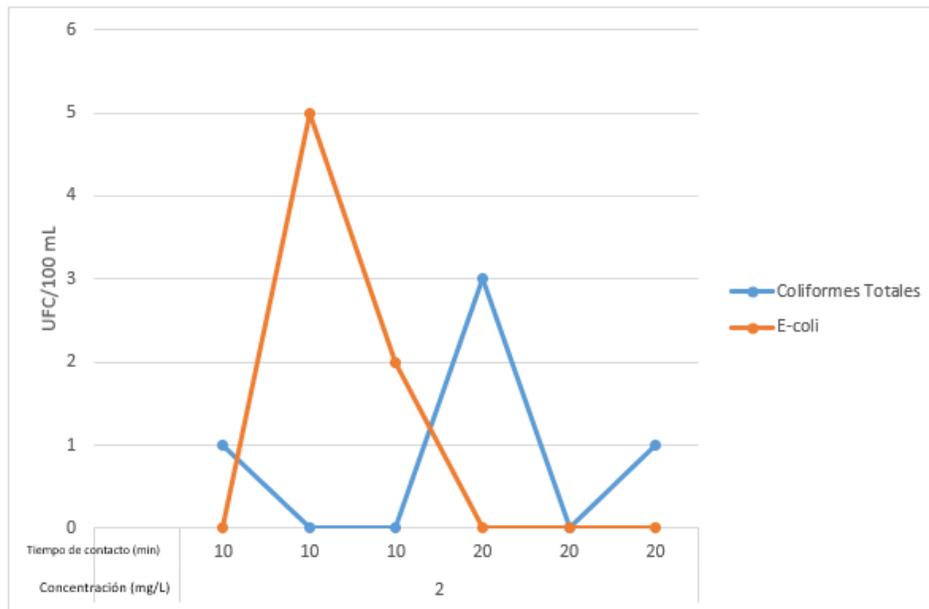


**Nota.** En la figura anterior se evidencia el resultado de las unidades formadoras de colonia para coliformes totales y *E.coli* en el tratamiento de agua con hipoclorito de sodio al 1 mg/L.

Según la figura 7, se puede evidenciar inhibición completa para *E.coli* en tiempo de contacto de 20 minutos, sin embargo, se identifica presencia de un promedio de 4 coliformes totales por lo cual no es posible dar cumplimiento al artículo 11 de la resolución 2115 de 2007 de Colombia en parámetros microbiológicos. Por otra parte, para tiempos de contacto de 10 y 30 minutos existe presencia tanto para *E.coli* como para coliformes totales, para el tiempo de 10 minutos se tiene 1 UFC/100 mL de *E.coli* y promedio de 3 UFC/100 mL de coliformes totales y para un tiempo de 30 minutos hay presencia de 1 UFC/100 mL de coliformes totales y promedio de 9 UFC/100 mL para *E.coli* por lo que se puede confirmar que no existe inhibición por parte del NaClO para estos tiempos de contacto.

**Figura 8.**

Resultados en UFC/100 mL del agua tratada con 2 mg/L de NaClO



**Nota.** En la figura anterior se evidencia el resultado de las unidades formadoras de colonia para coliformes totales y *E.coli* en el tratamiento de agua con hipoclorito de sodio al 2 mg/L.

Para la concentración de 2 mg/L se tuvo en cuenta tiempos de contacto de 10 y 20 minutos, observando la figura 8 se evidencia inhibición total de *E.coli* para tiempo de contacto de 20 minutos y presencia promedio de 2 UFC/100 mL de coliformes totales para las muestras sembradas por triplicado, por el contrario para el tiempo de contacto de 10 minutos se tiene presencia en promedio de 2 UFC/100 mL de *E.coli* y 1 UFC/100 mL de coliformes totales por lo cual se confirma que para la concentración de 2 mg/L en un tiempo de contacto de 10 minutos no es eficiente la inhibición del NaClO utilizado.

**Tabla 10.**

Desviación estándar de las muestras analizadas

Concentración (mg/L)	Tiempo de contacto (minutos)	Desviación estándar coliformes totales	Desviación estándar <i>E.Coli</i>
0.5	10	1±0.58	1±0.58
0.5	20	2±1.15	3±0.58
0.5	30	2±2.31	1±1.00
1	10	3±0.58	1±0.58
1	20	4±2.52	0

1	30	1±0.58	9±7.09
2	10	1±0.58	2±2.52
2	20	1±1.53	0

**Nota.** La tabla muestra el resultado de la desviación estándar de las muestras cloradas con hipoclorito de sodio sembradas por triplicado

En la tabla 10 se relaciona las concentraciones utilizados así como los tiempos de contacto y sus respectivas desviaciones estándar tanto para coliformes totales como para *E.coli*, teniendo en cuenta que las muestras fueron sembradas por triplicado. Como se puede observar en la tabla 10 se puede identificar que las muestras sembradas con una concentración de 0.5 mg/L a 30 minutos y la de 1 mg/L a 30 minutos presentan mayor desviación estándar para coliformes totales. Para la *E.coli* se evidencia que la muestras trabajadas a una concentración de 1 mg/L en un tiempo de contacto de 20 minutos y a 2 mg/L con tiempo de contacto de 20 minutos no presentan desviación estándar logrando inhibición completa del bioindicador, por ende, no se logra el cumplimiento en la resolución 2115 de 2007 de Colombia debido a que se evidencia crecimiento de coliformes totales, es posible que se deba a la demanda de cloro requerida para la oxidación de nitrógeno.

Por lo anteriormente expuesto y considerando los resultados de la desviación estándar de la *E.coli* se sugiere trabajar con una concentración de 2 mg/L con tiempo de contacto de 20 minutos porque esta presenta menor desviación estándar para coliformes totales, es necesario realizar un muestreo de seguimiento para confirmar el cumplimiento de la resolución 2115 de 2007 de Colombia.

El día 23 de abril del 2023 se realiza un muestreo de seguimiento para verificar el cumplimiento con resolución 2115 de 2007 de Colombia utilizando el NaClO obtenido a la concentración sugerida de 2 mg/L con tiempo de contacto de 20 minutos en el prototipo en sitio teniendo los resultados de la Tabla 11.

### Tabla 11.

*Resultados obtenidos en muestreo de seguimiento*

<b>Municipio Mondomo</b>				
<b>Identificación</b>	<b>Tipo de agua</b>	<b>Hora de toma</b>	<b>Coliformes Totales (UFC/100 mL)</b>	<b><i>E.coli</i> (UFC/100 mL)</b>
Punto 1 Muestra 1	Cruda	10:07	<b>Incontable</b>	<b>58</b>
Punto 1 Muestra 2	Cruda	10:09	<b>Incontable</b>	<b>50</b>

Punto 1 Muestra 3	Cruda	10:10	<b>Incontable</b>	<b>40</b>
Punto 3 Muestra 1	Clorada	10:34	0	0
Punto 3 Muestra 2	Clorada	10:35	0	0
Punto 3 Muestra 3	Clorada	10:36	0	0

**Nota.** Resultados del muestreo de seguimiento realizado en el acueducto de Mondomo, Santander de Quilichao, Cauca para determinar el cumplimiento en la resolución 2115 de 2007.

Teniendo en cuenta los resultados de la Tabla 11 se evidencia que el agua suministrada a la comunidad es apta para consumo humano puesto que se da cumplimiento a la resolución 2115 de 2007 de Colombia para características microbiológicas encontrados en el artículo 11 donde se estipula que el agua no debe presentar coliformes totales ni *E-coli*, garantizando así la calidad del agua (cabe aclarar que este cumplimiento se encuentra determinado solo para los análisis microbiológicos, tendría que evaluarse que el agua cumpla también con los estándares establecidos para análisis fisicoquímicos además de cumplir con la concentración de cloro residual libre de 0.3 a 2 mg/L estipulado en el artículo 9 de la resolución 2115 de 2007).

Del mismo modo se realiza muestreo para verificar la situación del agua cruda de otros municipios que participaron en el proyecto de ASIR-SABA, en la tabla 12 se evidencia los resultados:

**Tabla 12.**

*Resultados agua cruda de municipios participantes del proyecto ASIR-SABA*

Municipio	Tipo de agua	Hora de toma	Coliformes Totales (UFC/100 mL)	<i>E.coli</i> (UFC/100 mL)
Trujillo, vereda culebras (Valle del Cauca)	Cruda	13:13	197	27
	Clorada	13:33	0	0
Riohacha, acueducto Romonero (La Guajira)	Cruda	10:00	Incontable	Incontable
	Clorada	10:30	2	0
Tumaco, acueducto de Tumaco (Nariño)	Cruda	16:49	271	28
	Clorada	17:17	0	0

**Nota.** Resultados del muestreo realizado a diferentes municipios que participan en el proyecto ASIR-SABA para verificar la calidad del agua en la entrada del sistema de tratamiento.

Teniendo en cuenta los resultados en la tabla 12 y los datos obtenidos en el acueducto de Mondomo se evidencia la presencia de coliformes totales y *E.coli*, la diferencia en las unidades

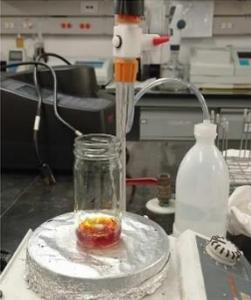
formadoras de colonia se debe a las fuentes de agua que se utilizan para realizar el tratamiento de agua potable, como se mencionó anteriormente el acueducto de Mondomo utiliza agua de quebrada (Proyecto ASIR-SABA, 2016a), en la vereda de culebras en el Valle del Cauca la fuente utilizada es el río Culebras (Proyecto ASIR-SABA, 2016b), en el acueducto Romonero la fuente de agua utilizada es la pila pública y el pozo profundo (Alcaldía de Riohacha, 2023) y para el acueducto de Tumaco la fuente de agua utilizada son pozos profundos (Sartori, 2020), cabe resaltar que el proyecto ASIR-SABA brinda ayuda a estos municipios por la presencia de conflicto armado lo que disminuye la posibilidad de que la comunidad cuente con acceso a acueducto y alcantarillado. Una característica principal en los municipios es la presencia de enfermedades por el consumo de agua sin tratar como se puede observar en los resultados las aguas crudas presentan coliformes totales y *E.coli* por lo que no existe cumplimiento en la resolución 2115 de 2007 artículo 11 puesto que muchas familias carecen de recursos económicos o no existe una infraestructura adecuada para brindar el servicio de acueducto. En cuanto a los resultados se evidencia que el agua cruda del acueducto de Mondomo y la muestra del acueducto de Romonero la presencia de coliformes totales es incontable lo que indica que existe presencia de más de 300 unidades formadoras de colonias en una muestra de 100 mL, sin embargo, la muestra del acueducto de Romonero presenta resultados incontables para la *E.coli* esto se debe a que el agua en los pozos profundos tienden a estar contaminadas cuando no se cuenta con servicio de alcantarillado evidenciando presencia de materia fecal. En el análisis del agua clorada se obtiene inhibición de los coliformes totales y de la *E.coli* para las muestras tomadas en el acueducto de Mondomo, la vereda de Culebras y el acueducto de Tumaco dando cumplimiento en la resolución 2115 de 2007 artículo 11 suministrando agua apta para consumo humano, por otra parte, el acueducto de Romonero en la muestra clorada presenta 2 unidades formadoras de colonias para coliformes totales pero inhibición completa de la *E.coli* demostrando que el proceso de desinfección es efectivo pues el agua al entrar al sistema era de más de 300 unidades formadoras de colonias, en cierto modo, se debe evaluar la concentración utilizada del desinfectante para lograr inhibir completamente los coliformes totales y la *E.coli*.

## 7. PLAN DE CAPACITACIÓN DE DESINFECCIÓN

El prototipo utilizado para obtener el agente desinfectante quedará ubicado en el acueducto del corregimiento de Mondono, Santander de Quilichao, Cauca razón por la cual surge la necesidad de implementar un manual de operación tanto para el manejo del prototipo como para tener el conocimiento en el uso del agente clorado obtenido para lograr el proceso de desinfección. Teniendo en cuenta lo anteriormente expuesto y la necesidad de realizar una capacitación para lograr que el personal del acueducto de Mondomo realice el proceso de desinfección de una manera eficiente, lo primero que se hace según el ciclo PHVA es planear donde se realizaron pruebas en el laboratorio para poder estandarizar el uso del test HANNA 3843-100 frente a la prueba yodometrica para determinar la concentración de hipoclorito de sodio obtenido en el prototipo, en la tabla 13 se evidencia la prueba por el método yodométrico determinando la concentración en el laboratorio y en la tabla 14 se especifica los valores obtenidos con el kit de HANNA que se deben utilizar para la determinación de la concentración en sitio.

**Tabla 13.**

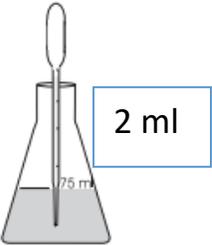
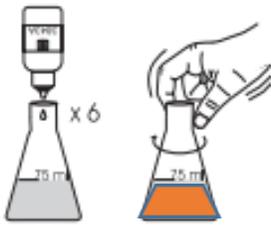
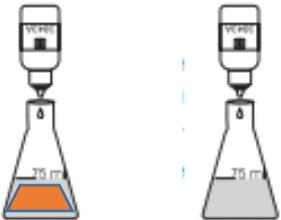
*Prueba por método yodométrico*

<p>1. Adicionar 10 mL de hipoclorito de sodio, adicionar ácido acético hasta obtener pH de 3-4, adicionar yoduro de potasio.</p> 	<p>2. Se titula con tiosulfato de sodio hasta obtener tonalidad amarilla.</p> 
<p>3. Se adiciona el indicador de almidón hasta tonalidad oscura.</p> 	<p>4. Se realiza titulación hasta que la solución se encuentre incolora. Registrar volumen y calcular la concentración.</p> 

**Nota.** Proceso de titulación yodométrica realizado en el laboratorio para determinar la concentración de hipoclorito de sodio

**Tabla 14.**

*Prueba con el kit de HANNA para determinación de hipoclorito de sodio en sitio*

<p><b>1.</b> Tome 2 ml del hipoclorito producido en el equipo inclúyalo en el contenedor de vidrio</p> 	<p><b>2.</b> Añada 6 gotas de reactivo yoduro y hágalo girar suavemente para que se mezcle.</p> 
<p><b>3.</b> Añada 1 paquete de reactivo HI 3843B-0 y hágalo girar suavemente para que se disuelva.</p> 	<p><b>4.</b> Añada gotas del reactivo HI 3843C-0 lentamente, haciéndolo girar tras cada gota y contando las gotas hasta que la solución cambie de amarilla a incolora.</p> 
<p>• Cada gota equivale a 1.45 g/l de Hipoclorito</p>	

**Nota.** Proceso de titulación con el test de HANNA 3483-100 realizado en el laboratorio para determinar la cantidad de reactivo que se debe usar en campo para determinar la concentración de hipoclorito de sodio.

Al finalizar dichas pruebas se confirma las cantidades de reactivos del kit HANNA que se debe utilizar para obtener la concentración del hipoclorito de sodio obtenido en el prototipo y así realizar el cálculo de lo que se debe adicionar para poder realizar el proceso de desinfección en el acueducto, luego de estas pruebas y en la visita realizada al acueducto se hace entrega del equipo para la determinación de hipoclorito de sodio así como los reactivos que se deben utilizar, en la figura 9 se puede evidenciar el equipo para este fin.

### Figura 9.

*Equipo utilizado para determinar la concentración de hipoclorito de sodio con el kit HANNA 3843-100*

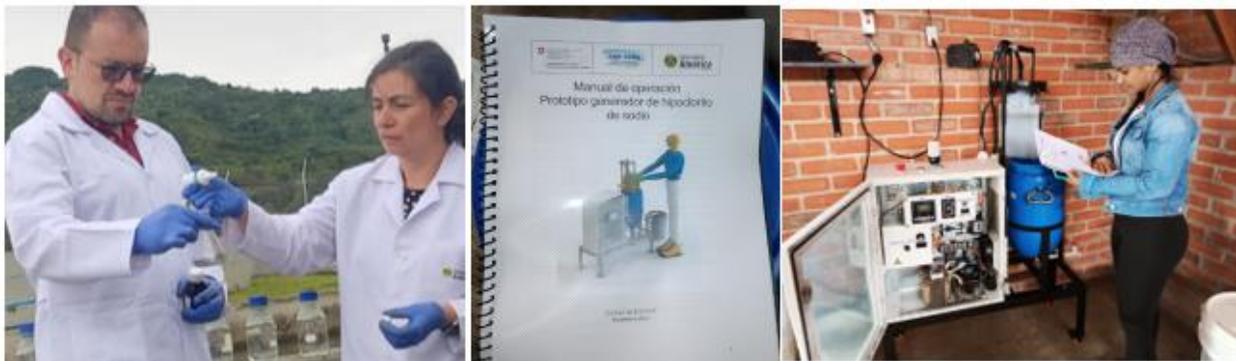


**Nota.** En la figura anterior se puede evidenciar el equipo y los reactivos que se deben utilizar para determinar la concentración de hipoclorito de sodio en sitio.

Teniendo los resultados para el buen funcionamiento del equipo y finalizada la planeación de la capacitación que se debe dar al personal del acueducto de Mondomo se procede al segundo punto en el ciclo PHVA, el hacer donde se realizó una visita al acueducto el día 12 de noviembre del 2022 y se dio la capacitación al personal del uso del equipo y las cantidades que se deben usar de cada reactivo según los resultados obtenidos en las pruebas, también se hizo entrega del manual de operación, en la figura 10 se evidencia la entrega del manual y el momento en que se realiza dicha capacitación.

### Figura 10.

*Evidencia de entrega del manual de operación y la capacitación al personal encargado del acueducto*



**Nota.** La figura muestra el momento en que se realiza la capacitación en el uso del equipo de HANNA 3843-100 para la determinación en la concentración de hipoclorito de sodio al personal del acueducto de Mondomo, Santander de Quilichao, Cauca

Finalizada la capacitación se procede a realizar la verificación de que la información suministrada fue clara y se solicita al personal que asistió a la misma que repita el procedimiento para así confirmar que no existe ninguna duda en el procedimiento y que el uso del equipo queda claro, se recomienda implementar un formato donde quede registrada la información de las mediciones realizadas con fecha, hora y concentración obtenida para que así los otros operadores cuenten también con esta información. Para continuar con el ciclo PHVA y llevar a cabo el actuar se solicita al acueducto que lleve una bitácora con las mejoras que se identifiquen durante el proceso y si existe alguna falla en el equipo entregado lo manifieste para poder brindar el apoyo correspondiente.

Como se mencionó el proceso de desinfección en el acueducto de Mondomo se realizaba con hipoclorito de calcio, sin embargo, el proyecto entrega un prototipo que permite la obtención del hipoclorito de sodio en sitio para ser utilizado en el proceso. La tabla 15 muestra las ventajas y desventajas en el uso de hipoclorito de calcio contra el hipoclorito de sodio.

**Tabla 15.**

*Comparativo uso de hipoclorito de calcio y el hipoclorito de sodio*

<b>Desinfectante</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Hipoclorito de calcio	de -Su presentación es granular o tabletas y se encuentra listo para ser utilizado en el proceso de tratamiento de aguas (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades, 2016).	-En los últimos dos años ha tenido un incremento del 126%. -El costo es de \$30714 por día, la producción de hipoclorito de sodio con el prototipo reduce un 32% el costo. -La compra llega a ser demorada por lo que se debe tener un mayor stock, incrementando costos de operación.
Hipoclorito de sodio	-Su producción en el prototipo se da con cloruro de sodio, una sal económica y de fácil acceso por la ubicación geográfica del corregimiento de Mondomo. -El cloruro de sodio de origen marino generó una concentración máxima de 7.3 g/L superando la concentración objetivo de 5.3 g/L,	-En la puesta en marcha del prototipo y el seguimiento que se hizo al equipo se determina que este no es apto para ser usado después de las 5:00 pm por ser hora pico ya que existe fluctuación en la tensión de entrada lo que muestra inestabilidad en el proceso (se recomienda no usar el equipo).

<p>por ello, se puede utilizar una menor cantidad de cloruro de sodio.</p> <p>-El prototipo es accesible tanto técnica como económicamente, ya que está diseñado con piezas que se pueden conseguir fácil y rápidamente dentro del país.</p> <p>-El costo de la producción de hipoclorito de sodio con el prototipo para suplir la demanda en el tratamiento de 1065.6 m<sup>3</sup> es de \$20862 por día.</p> <p>-En el análisis financiero se evidencio la viabilidad del reemplazo de hipoclorito de calcio por hipoclorito de sodio producido por el prototipo recuperando la inversión inicial en 32 meses, suponiendo un incremento en el hipoclorito de calcio.</p> <p>-Se encuentra disponible para ser utilizado en el proceso de desinfección, no se debe esperar a realizar compra del producto químico.</p>	<p>-El volumen del prototipo para la producción de hipoclorito de 22 litros es muy bajo para plantas de tratamiento grandes como la del acueducto de Mondomo.</p> <p>-Costo de mano de obra si el prototipo presenta alguna falla en el sistema.</p>
--	--

**Nota.** Se muestra las ventajas y desventajas de utilizar el hipoclorito de calcio o el hipoclorito de sodio en el proceso de desinfección del acueducto de Mondomo, Santander de Quilichao, Cauca.

Con la información suministrada en la tabla 15 se identifica las ventajas y desventajas de utilizar el nuevo prototipo que genera hipoclorito de sodio instalado en el acueducto de Mondomo, así mismo, se puede identificar que el reto inicial fue lograr el funcionamiento del equipo para la producción de hipoclorito de sodio donde inicialmente las concertaciones obtenidas eran menores a 1 g/L, aunque las pruebas siguientes lograron la obtención en la concentración objetivo de 5 g/L obteniendo resultado satisfactorio; en la puesta en marcha del equipo en el acueducto de Mondomo se obtuvo una concentración máxima de 7.3 g/L superando las expectativas. Para el proyecto el mayor reto es lograr que el prototipo mantenga su funcionamiento y así mismo logre el objetivo de producir la cantidad que necesita el acueducto para poder desarrollar el proceso de desinfección a la demanda de agua que presenta la comunidad. En cuanto a desafíos se espera que la tensión para el funcionamiento del equipo sea constante para evitar cambios bruscos que pueda llegar a dañar los electrodos, por ello, se recomendó al personal del acueducto de Mondomo no realizar operación del prototipo en horas piso que puedan presentar dicha característica. Una amenaza importante que puede tener el prototipo es que sufra algún daño en su sistema y no se cuente con los recursos económicos

para la mano de obra especializada generando que el personal del acueducto deje el equipo como fuera de uso y el acueducto tenga que volver a utilizar el hipoclorito de calcio para el proceso de desinfección, además, otra amenaza es que el costo del hipoclorito de calcio se reduzca hasta el punto de que sea más económico realizar el proceso de desinfección con este producto químico y no con el hipoclorito de sodio generado en el prototipo. En cuanto a oportunidades el prototipo ofrece la producción de hipoclorito de sodio en sitio para poder realizar el proceso de desinfección siempre que la planta de tratamiento lo necesite sin tener que esperar que llegue el producto químico, además se puede calcular la concentración de hipoclorito de sodio que se esté produciendo en el momento para así saber la dosis que se necesita para llevar a cabo el proceso; la mayor oportunidad que esta brindado la elaboración de este prototipo es que se pueda implementar en otras plantas de tratamiento de zonas rurales para que así tengan la oportunidad de implementar el proceso de desinfección del agua y garantizar el suministro de agua potable a comunidades vulnerables.

## 8. CONCLUSIONES

Según la revisión bibliográfica a nivel mundial, en Latino América y Colombia se evidencia una brecha muy amplia en las cifras del servicio de acueducto y alcantarillado entregado a zonas rurales y urbanas, donde las zonas rurales son las más afectadas debido a que los porcentajes del servicio entregado es bajo comparándolo con las zonas urbanas, las principales razones de este fenómeno se encuentran en la falta de compromiso por parte de los entes gubernamentales, la escasez de agua en algunas zonas, el cambio climático, acciones antropogénicas, abandono de acueductos ya constituidos por falta de inversión y deficiente capacitación para los trabajadores. Sin embargo, se encontró que la mayoría de los países están llevando a cabo nuevos proyectos que han permitido mejorar el acceso a agua potable sobre todo a las comunidades de zonas rurales que lo necesitan.

Este trabajo entregó una alternativa viable para realizar el proceso de desinfección del agua en el acueducto de Mondomo, con enfoque en la producción de NaClO para el proceso captada en la quebrada San Pablo en el municipio de Mondomo, Santander de Quilichao en Colombia, este estudio evaluó los efectos de variables esenciales, como el tiempo de contacto y la concentración de NaClO, a través de un diseño experimental. Los resultados mostraron que para la muestra problema elaborada con una cepa de *E.coli* la inhibición del crecimiento de la bacteria por el método de McFarland y el de caldo BHI se logró en la concentración mínima de 0.5 mg/L y el tiempo mínimo de contacto de 10 minutos. Para el tratamiento realizado al agua del acueducto en el corregimiento de Mondomo se logra evidenciar la inhibición completa de la *E.coli* en la muestra de 1 mg/L a 20 minutos y la muestra de 2 mg/L en 20 minutos, sin embargo, las desviaciones estándar son de  $4 \pm 2.52$  y  $2 \pm 1.53$  respectivamente para coliformes totales, por ello, no es posible cumplir con la resolución 2115 de 2007 de Colombia donde está estipula 0 UFC/100 mL tanto para coliformes totales y *E.coli*. Por ende, el día 23 de abril se realiza un muestreo de seguimiento donde los resultados son de 0 UFC/100 mL tanto para coliformes totales como *E.coli* dando cumplimiento al parámetro incluido en el artículo 11 de la resolución 2115 de 2007 de Colombia obteniendo agua apta para consumo humano puesto que la resolución establece que no debe existir presencia de coliformes totales ni *E.coli*.

Se formulo un plan de capacitación teniendo en cuenta el ciclo PHVA, donde se logró que los trabajadores del acueducto del municipio de Mondomo ejecutaran satisfactoriamente el uso del equipo HANNA para la determinación en la concentración de hipoclorito de sodio generado en el prototipo y poder calcular la dosis que se debe ser adicionada en el proceso de desinfección,

obteniendo agua apta para consumo humano y cumplimiento en la resolución 2115 de 2007 de Colombia.

## REFERENCIAS

- Acueducto Metropolitano de Bucaramanga. (n.d.). *Procesos de Potabilización de agua en las Plantas del amb*. Retrieved June 4, 2024, from <https://www.amb.com.co/amb/conoce-amb/nuestros-procesos/procesos-operativos/proceso-de-potabilizacion/>
- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (2016, May 6). *ToxFAQs™ - Hipoclorito de calcio e hipoclorito de sodio (Calcium Hypochlorite/Sodium Hypochlorite)*. [https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts184.html#:~:text=Las%20soluciones%20de%20hipoclorito%20de,un%20fuerte%20olor%20a%20cloro.](https://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts184.html#:~:text=Las%20soluciones%20de%20hipoclorito%20de,un%20fuerte%20olor%20a%20cloro.)
- Alarcon Mariño, F. C. M. C. N. (2021). *Propuesta de optimización para la planta de potabilización de agua del Municipio de Zipacón (Cundinamarca)* [Universidad Santo Tomas]. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/35554>
- Alcaldía de Riohacha. (2023, August 14). *FICHA “CARACTERIZACIÓN FUENTES DE AGUA COMUNIDADES INDIGENAS WAYUU”*. <https://www.riohacha-laguajira.gov.co/Participa/SentenciaT302/252%20ROMONERO%20ok.pdf>
- Alcaldia Municipal de Santander de Quilichao. (n.d.). *Mi Municipio*. Retrieved May 31, 2024, from <https://www.santanderdequilichao-cauca.gov.co/ciudadanos/PortaldeNinos/MiMunicipio/Paginas/Nuestras-dependencias.aspx>
- American Public Health Association, A. W. W. A. y W. E. F. (2017a). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (A. E. A. y E. R. A. Rodger Baird WEF, Ed.).
- American Public Health Association, A. W. W. A. y W. E. F. (2017b). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (23th ed.).
- American Public Health Association, A. W. W. A. y W. E. F. (2023). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (24th ed.).
- Ang, W. L., & Mohammad, A. W. (2020). State of the art and sustainability of natural coagulants in water and wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 262, 121267. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121267>
- AQUAE FUNDACIÓN. (2021, December 28). *Datos interesantes de la distribución del agua en la Tierra*. <https://www.fundacionaquae.org/principales-datos-del-agua-en-el-mundo/>

- Banco Mundial. (2020, March 19). *El agua residual puede generar beneficios para la gente, el medioambiente y las economías, según el Banco Mundial*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank#:~:text=%E2%80%9CUna%20vez%20tratadas%2C%20las%20aguas,pueden%20generar%20energ%C3%ADa%20y%20>
- Banco Mundial. (2023, July 28). *Panorama general-Agua*. <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2020/03/19/wastewater-a-resource-that-can-pay-dividends-for-people-the-environment-and-economies-says-world-bank#:~:text=%E2%80%9CUna%20vez%20tratadas%2C%20las%20aguas,pueden%20generar%20energ%C3%ADa%20y%20>
- BBVA. (2021, April 28). *¿Qué es el proceso de potabilización del agua y cuáles son sus fases?* <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-el-proceso-de-potabilizacion-del-agua-y-cuales-son-sus-fases/>
- BELZONA. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales*. [https://www.belzona.com/es/solution\\_maps/wastewater/money\\_map.pdf](https://www.belzona.com/es/solution_maps/wastewater/money_map.pdf)
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2016, November 16). *Calidad del Agua*. <https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio%2F10221%2F23747%2F2%2FCalidad+del+Agua+Final.pdf>
- CEPAL. (2022, December 18). *Una recuperación transformadora en América Latina y el Caribe con servicios básicos de agua potable y electricidad como sectores clave*. <https://www.cepal.org/es/notas/recuperacion-transformadora-america-latina-caribe-servicios-basicos-agua-potable-electricidad>
- Chaves, R. S., Guerreiro, C. S., Cardoso, V. V., Benoliel, M. J., & Santos, M. M. (2019). Hazard and mode of action of disinfection by-products (DBPs) in water for human consumption: Evidences and research priorities. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 223, 53–61. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2019.05.015>
- Chu, W., Fang, C., Deng, Y., & Xu, Z. (2021). Intensified Disinfection Amid COVID-19 Pandemic Poses Potential Risks to Water Quality and Safety. *Environmental Science & Technology*, 55(7), 4084–4086. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c04394>

- Comisión Nacional del Agua, Gobierno de la República México, & Secretaria de Medio Ambiente y recursos naturales. (2019). Desinfección Para Sistemas de Agua Potable y Saneamiento. In Gobierno de la República México, Secretaria de Medio Ambiente y recursos naturales, & Comisión Nacional del Agua (Eds.), *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento* (pp. 1–46). <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- Constitución Política de Colombia. (1991). *Constitución Política de Colombia Artículo 366*. <https://www.acnur.org/fileadmin/Documentos/BDL/2001/0219.pdf>
- Contraloría Departamental del Valle del Cauca. (2020, April 23). *Contraloría exige a las autoridades locales cumplir la normatividad para garantizar servicios básicos en la zona rural*. <https://www.contraloriavalledelcauca.gov.co/publicaciones/1467/contraloria-exige-a-las-autoridades-locales-cumplir-la-normatividad-para-garantizar-servicios-basicos-en-la-zona-rural/>
- Corrales, L., Sánchez, L., & Quimbayo, M. (2018). Microorganismos potencialmente fitopatógenos en aguas de riego proveniente de la cuenca media del río Bogotá. *Nova*, 16(29). [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-24702018000100071](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702018000100071)
- Cuesta Parra, D. M., Correa Mahecha, F., Rubio Pinzon, A. F., Bustos, D. R., Teran Llorente, L. A., & Jimenez Jimenez, M. F. (2024). A prototype for on-site generation of chlorinated disinfectant for use in rural aqueducts. *Water Science and Engineering*, 17(1), 33–40. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2023.05.005>
- De la Hoz Santos, J., Oliveros, M., & Cordero, M. (2022). *Diseño de un prototipo de filtro casero para la potabilización del agua de la comunidad de Carepa, Antioquia*. [Repositorio, Fundación Universitaria los Libertadores]. <https://repository.libertadores.edu.co/handle/11371/5447>
- DECRETO 1575, Pub. L. No. 1575 (2007). <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=30007>
- Defensoría del Pueblo. (2023, March 22). *Al menos un millón y medio de colombianos tomaron agua con riesgo para su salud en el último año*. <https://www.defensoria.gov.co/-/al-menos-un-mill%C3%B3n-y-medio-de-colombianos-tomaron-agua-con-riesgo-para-su-salud-en-el-%C3%BAltimo-a%C3%B1o>

- Denamur, E., Clermont, O., Bonacorsi, S., & Gordon, D. (2021). The population genetics of pathogenic *Escherichia coli*. *Nature Reviews Microbiology*, 19(1), 37–54. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-0416-x>
- Ehyaei, M. A., Baloochzadeh, S., Ahmadi, A., & Abanades, S. (2021). Energy, exergy, economic, exergoenvironmental, and environmental analyses of a multigeneration system to produce electricity, cooling, potable water, hydrogen and sodium-hypochlorite. *Desalination*, 501, 114902. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114902>
- Erazo, M., & Cárdenas, R. (2013). Impacto de la problemática ambiental actual sobre la salud y el ambiente. In *Ecología* (ECO Ediciones, p. 139).
- Ersoy, Z. G., Dinc, O., Cinar, B., Gedik, S. T., & Dimoglo, A. (2019). Comparative evaluation of disinfection mechanism of sodium hypochlorite, chlorine dioxide and electroactivated water on *Enterococcus faecalis*. *LWT*, 102, 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.041>
- Forero Torres, Y., Galindo Borda, M., & Ramírez, G. (2017). Patógenos asociados a enfermedades transmitidas por alimentos en restaurantes escolares de Colombia. *Revista Chilena de Nutrición*, 44(4), 325–332. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182017000400325>
- Ghasemian, S., Asadishad, B., Omanovic, S., & Tufenkji, N. (2017). Electrochemical disinfection of bacteria-laden water using antimony-doped tin-tungsten-oxide electrodes. *Water Research*, 126, 299–307. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.09.029>
- Gil, M. I., López-Gálvez, F., Andújar, S., Moreno, M., & Allende, A. (2019). Disinfection by-products generated by sodium hypochlorite and electrochemical disinfection in different process wash water and fresh-cut products and their reduction by activated carbon. *Food Control*, 100, 46–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.12.050>
- Gobierno de Colombia. (2020). *Informe Nacional de Calidad del Agua para Consumo Humano INCA* 2020. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/inca-consumo-calidad-agua-2020.pdf>
- Hand, S., & Cusick, R. D. (2021). Electrochemical Disinfection in Water and Wastewater Treatment: Identifying Impacts of Water Quality and Operating Conditions on Performance. *Environmental Science & Technology*, 55(6), 3470–3482. <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c06254>

- Hashim, K. S., Ali, S. S. M., AlRifaie, J. K., Kot, P., Shaw, A., Al Khaddar, R., Idowu, I., & Gkantou, M. (2020). Escherichia coli inactivation using a hybrid ultrasonic–electrocoagulation reactor. *Chemosphere*, 247, 125868. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125868>
- He, J., Kumar, A., Khan, M., & Lo, I. M. C. (2021). Critical review of photocatalytic disinfection of bacteria: from noble metals- and carbon nanomaterials-TiO<sub>2</sub> composites to challenges of water characteristics and strategic solutions. *Science of The Total Environment*, 758, 143953. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143953>
- Hidalgo Valdivia, A., Roque Rodriguez, J., & Delgado Pineda, D. (2020). Nueva metodología para el diseño rápido de sistemas de potabilización de agua en la enseñanza universitaria en Ingeniería ambiental. *Veritas*, 21(1), 75. <https://doi.org/10.35286/veritas.v21i1.261>
- Horesh, G., Blackwell, G. A., Tonkin-Hill, G., Corander, J., Heinz, E., & Thomson, N. R. (2021). A comprehensive and high-quality collection of Escherichia coli genomes and their genes. *Microbial Genomics*, 7(2). <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000499>
- Howe, Kerry., Hand, D., & Crittenden, J. (2017). *Principios de tratamiento del agua* (Cengage Learning).
- IBLSpecific. (2020, April 22). *Qué es la desinfección – definición*.
- ICONTEC. (2020). *GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC-ISO 10015 Gestión de calidad. Directrices para la gestión de la competencia y el desarrollo de las personas*.
- IDEAM. (n.d.). *Hipoclorito de sodio*. Retrieved June 4, 2024, from <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018903/Links/Guia18.pdf>
- INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. (n.d.). *Guía de laboratorio para la vigilancia y control de calidad bacteriológico en muestras de agua para consumo humano*. Retrieved August 6, 2024, from <https://www.ins.gov.co/BibliotecaDigital/guia-para-la-vigilancia-y-control-de-calidad-bacteriologico-en-muestras-de-agua-para-consumo-humano.pdf>
- JHUESA. (n.d.). *Potabilización*. Retrieved June 4, 2024, from <https://jhuesa.com/aplicaciones/potabilizacion-del-agua>
- Komba, F. E., Fabian, C., Elimbinzi, E., & Shao, G. N. (2022). Efficiency of common filters for water treatment in Tanzania. *Bulletin of the National Research Centre*, 46(1), 208. <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00888-9>

- Lasso, E. (2022). *Los retos y perspectivas de la gestión comunitaria del agua: el caso del acueducto comunitario del corregimiento de Mondomo. Municipio de Santander de Quilichao – Cauca* [Tesis maestría, Pontificia Universidad Javeriana]. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.10554.59224>
- Liu, B., Furevi, A., Perepelov, A. V, Guo, X., Cao, H., Wang, Q., Reeves, P. R., Knirel, Y. A., Wang, L., & Widmalm, G. (2020). Structure and genetics of *Escherichia coli* O antigens. *FEMS Microbiology Reviews*, *44*(6), 655–683. <https://doi.org/10.1093/femsre/fuz028>
- Liu, Y., Zhang, S., Fang, H., Wang, Q., Jiang, S., Zhang, C., & Qiu, P. (2022). Inactivation of antibiotic resistant bacterium *Escherichia coli* by electrochemical disinfection on molybdenum carbide electrode. *Chemosphere*, *287*, 132398. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132398>
- Manges, A. R., Geum, H. M., Guo, A., Edens, T. J., Fibke, C. D., & Pitout, J. D. D. (2019). Global Extraintestinal Pathogenic *Escherichia coli* (ExPEC) Lineages. *Clinical Microbiology Reviews*, *32*(3). <https://doi.org/10.1128/CMR.00135-18>
- Medicina & Laboratorio. (2009). Programa de Educación Médica Continua Certificada. Universidad de Antioquia, Edimeco. *Medicina & Laboratorio*, *15*(11–12), 557–561. <https://medicinaylaboratorio.com/index.php/myl/article/view/465/420>
- Microbiologics. (2022, June 22). *INSTRUCCIONES DE USO*. [https://www.microbiologics.com/core/media/media.nl?id=7409396&c=915960&h=qRg5SOQOKAdTVMUOhLGxZbWhkK0DmaQEJwJ0YN-wAk6YLTIW&\\_xt=.pdf](https://www.microbiologics.com/core/media/media.nl?id=7409396&c=915960&h=qRg5SOQOKAdTVMUOhLGxZbWhkK0DmaQEJwJ0YN-wAk6YLTIW&_xt=.pdf)
- MINVIVIENDA. (2019, February 6). *La realidad del acceso al agua en zonas rurales de Colombia*. <https://asirsaba.com.co/2019/02/la-realidad-del-acceso-al-agua-en-zonas-rurales-de-colombia/>
- Mojica, K. (2020). *Producción de nanopartículas a partir de la cáscara del camarón para la remoción de Escherichia coli* [Universidad de los Andes]. chrome-extension://efahttps://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/e1090435-afb3-4ca6-bbfb-f627803d9542/content
- Moncada, J. (2018). *Evaluación del riesgo microbiológico en agua de consumo humano en zona rural del municipio de Villapinzón, Colombia*. [Repositorio, Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/c5685bee-9fc2-450a-af90-8b56e71956f6>

- Moreno, E. (2020). *Principales enfermedades causadas por el consumo directo de aguas residuales* [Repositorio, Universidad Científica del Sur]. <https://doi.org/10.21142/tb.2020.1553>
- Moreno Méndez, J. O. (2020). LOS RETOS DEL ACCESO A AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO DE LAS ZONAS RURALES EN COLOMBIA. *Revista de Ingeniería*, 49, 28–37. <https://doi.org/10.16924/revinge.49.5>
- Ocampo-Rodríguez, D. B., Vázquez-Rodríguez, G. A., Martínez-Hernández, S., Iturbe-Acosta, U., & Coronel-Olivares, C. (2022). Desinfección del agua: una revisión a los tratamientos convencionales y avanzados con cloro y ácido peracético. *Ingeniería Del Agua*, 26(3), 185–204. <https://doi.org/10.4995/ia.2022.17651>
- Ojeda, D. (2020). *Estudio técnico y económico de dos tecnologías de potabilización de agua impulsadas por energías renovables en el municipio de Manaure – La Guajira* [Repositorio, Universidad de la Costa]. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/6916>
- OMS. (2022a, March 21). *Agua*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- OMS. (2022b, March 21). *Saneamiento*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>
- Ortega Ramírez, A. T., & Sánchez Rodríguez, N. (2021). Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(2), 121–134. <https://doi.org/10.18359/rcin.5343>
- Ortiz, S. (2020). *Desinfección del agua residual doméstica de las viviendas palafíticas mediante el uso de materiales exclusivos de la zona* [Repositorio, Universidad de los Andes]. <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/11f710e5-834f-4bdc-82e1-cbda5b4738f8>
- Parlamento Europeo. (2018, October 23). *Medidas para mejorar la calidad del agua potable y reducir desechos plásticos*. <https://www.europarl.europa.eu/news/es/press-room/20181018IPR16523/medidas-para-mejorar-la-calidad-del-agua-potable-y-reducir-desechos-plasticos>

- Pasmiño, J. (2021, November 11). *PREVALENCIA DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR CONSUMO DE AGUA INSEGURA EN EL SECTOR DE PIANGUAPI*. Repositorio. <https://repositorio.puce.edu.ec/items/5c632788-1c03-4ca4-a87d-37e0602146b4>
- Perales, E. (2020). *Determinación de la dosificación óptima de cloro en relación con cloro residual en el tratamiento de agua para consumo en la Urbanización Santa Lucia - Morales* [Repositorio, Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4252>
- Phattarapattamawong, S., Chareewan, N., & Polprasert, C. (2021). Comparative removal of two antibiotic resistant bacteria and genes by the simultaneous use of chlorine and UV irradiation (UV/chlorine): Influence of free radicals on gene degradation. *Science of The Total Environment*, 755, 142696. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142696>
- 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*, 218, 1014–1030. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.11.205>
- Proyecto ASIR-SABA. (2016a). *Diagnóstico sobre agua potable y saneamiento integral rural*. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/diagnostico-santander-de-quilichao1.pdf>
- Proyecto ASIR-SABA. (2016b). *Diagnóstico sobre agua potable y saneamiento integral rural- Municipio de Trujillo*. <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/diagnostico-trujillo1.pdf>
- Qing, G., Anari, Z., Foster, S. L., Matlock, M., Thoma, G., & Greenlee, L. F. (2021). Electrochemical disinfection of irrigation water with a graphite electrode flow cell. *Water Environment Research*, 93(4), 535–548. <https://doi.org/10.1002/wer.1456>
- Quintero, K. (2022). *Sistemas de Tratamiento para la Potabilización del Agua en Colombia* [Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Civil, Neiva]. <https://repository.ucc.edu.co/items/57243110-c35b-482c-9122-d22bb321919e/full>
- Rahmani, A. R., Samarghandi, M. R., Nematollahi, D., & Zamani, F. (2019). A comprehensive study of electrochemical disinfection of water using direct and indirect oxidation processes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(1), 102785. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.11.030>

RESOLUCIÓN NÚMERO (811), Pub. L. No. 811 (2008).

Resolución Número 2115, Pub. L. No. 2115 (2007).  
[https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n\\_2115\\_de\\_2007.pdf](https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/Resoluci%C3%B3n_2115_de_2007.pdf)

Resolución Número 4716, Pub. L. No. 4716 (2010).  
<https://www.dssa.gov.co/index.php/descargas/468-resolucion4716de2010/file>

Riley, L. W. (2020). Distinguishing Pathovars from Nonpathovars: *Escherichia coli*. *Microbiology Spectrum*, 8(4). <https://doi.org/10.1128/microbiolspec.AME-0014-2020>

Rios, S., Agudelo, R., & Gutiérrez, L. (2017). Patógenos e Indicadores Microbiológicos de calidad del agua para beber. *Facultad Nacional de Salud Pública*, 35(2), 1–20.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=12052447008>

Rocano, D. (2022). *Evaluación de los procesos de potabilización de agua aplicados en la Ptap de Cachiyacu del sistema municipal de la Ciudad de Paute* [Repositorio, Universidad Católica de Cuenca]. <https://dspace.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/12822>

Saravia, S., Fernández, D., Montañez, A., López, S., Naranjo, L., & Llavona, A. (2023). *Necesidades de inversión en agua potable y saneamiento en América Latina y el Caribe: efectos en el empleo verde y el valor agregado bruto* (CEPAL, Ed.).  
<https://www.cepal.org/es/publicaciones/68026-necesidades-inversion-agua-potable-saneamiento-america-latina-caribe-efectos>

Sarowska, J., Futoma-Koloch, B., Jama-Kmiecik, A., Frej-Madrzak, M., Ksiazczyk, M., Bugla-Ploskonska, G., & Choroszy-Krol, I. (2019). Virulence factors, prevalence and potential transmission of extraintestinal pathogenic *Escherichia coli* isolated from different sources: recent reports. *Gut Pathogens*, 11(1), 10. <https://doi.org/10.1186/s13099-019-0290-0>

Sartori, G. (2020, May 14). *Agua potable para Tumaco en tiempos de COVID-19*.  
[https://www.eeas.europa.eu/delegations/colombia/agua-potable-para-tumaco-en-tiempos-de-covid-19\\_und\\_it?s=73](https://www.eeas.europa.eu/delegations/colombia/agua-potable-para-tumaco-en-tiempos-de-covid-19_und_it?s=73)

Scharlau. (2022, January 29). *Eosin Methylene Blue Agar (EMB)*.  
<https://www.bd.com/resource.aspx?IDX=8765>

- Soto, I., Colala, L., & Caruso, M. (2019). Los servicios ambientales y la ética del cuidado del agua en acueductos rurales de los municipios Marmato y Viterbo (Caldas, Colombia). *Gestión y Ambiente*, 22(2), 191–205. <https://doi.org/10.15446/ga.v22n2.79848>
- Srivastav, A. L., Patel, N., & Chaudhary, V. K. (2020). Disinfection by-products in drinking water: Occurrence, toxicity and abatement. *Environmental Pollution*, 267, 115474. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115474>
- Superintendencia de industria y comercio. (2014, July). *Boletín Tecnológico Tratamiento de aguas residuales*. [https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Propiedad%20Industrial/Boletines\\_Tecnologicos/Boletin\\_Tratamiento\\_aguas\\_20140624.pdf](https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Propiedad%20Industrial/Boletines_Tecnologicos/Boletin_Tratamiento_aguas_20140624.pdf)
- Tanaro J., Piaggio M., Gasparovic A., & Lound L. (2019). Lavado y desinfección con hipoclorito de sodio de lechuga contaminada con Escherichia coli O157:H7. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 9(9), 248–249. <https://pcient.uner.edu.ar/index.php/Scdyt/article/view/663/680>
- Tudela, J. A., López-Gálvez, F., Allende, A., Hernández, N., Andújar, S., Marín, A., Garrido, Y., & Gil, M. I. (2019). Operational limits of sodium hypochlorite for different fresh produce wash water based on microbial inactivation and disinfection by-products (DBPs). *Food Control*, 104, 300–307. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.05.005>
- UNESCO. (2020). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2020: agua y cambio climático*. <https://www.unesco.org/reports/wwdr/es/reports>
- Universidad del Valle, Cinara, Fundación Evaristo García, UBC, & IDRC. (2011, September). *Sistema de Abastecimiento de Agua para el Corregimiento*. <https://link.landfood.ubc.ca/ACCCR/sitios/MONDOMO.pdf>
- Vargas, A. K. N., Calderón, J., Velásquez, D., Castro, M., & Núñez, D. A. (2020). Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 28(2), 315–322. <https://doi.org/10.4067/S0718-33052020000200315>
- Vivanco, C., Soto, M., & Mancilla, G. (2022). *Organizaciones comunitarias de servicios de agua y saneamiento (OCSAS) en América Latina y el Caribe: la gestión del agua en zonas rurales desde una perspectiva técnico-social*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000383912>

- Vivar, D. (2020). *Incidencia de fiebre tifoidea en pacientes atendidos en el Laboratorio Clínico Cristo Salvador de la parroquia Viche*. Repositorio. <https://repositorio.puce.edu.ec/items/67d233d4-4554-4bf1-bee2-35f71b6d3afe/full>
- Wang, M., Ateia, M., Hatano, Y., & Yoshimura, C. (2022). Regrowth of *Escherichia coli* in environmental waters after chlorine disinfection: shifts in viability and culturability. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 8(7), 1521–1534. <https://doi.org/10.1039/D1EW00945A>
- Wen, X., Chen, F., Lin, Y., Zhu, H., Yuan, F., Kuang, D., Jia, Z., & Yuan, Z. (2020). Microbial Indicators and Their Use for Monitoring Drinking Water Quality—A Review. *Sustainability*, 12(6), 2249. <https://doi.org/10.3390/su12062249>
- Xu, L., Zhang, C., Xu, P., & Wang, X. C. (2018). Mechanisms of ultraviolet disinfection and chlorination of *Escherichia coli*: Culturability, membrane permeability, metabolism, and genetic damage. *Journal of Environmental Sciences*, 65, 356–366. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.07.006>
- Yang, M., Liberatore, H. K., & Zhang, X. (2019). Current methods for analyzing drinking water disinfection byproducts. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 7, 98–107. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.12.006>
- Zhang, H., Zhao, L., Liu, D., Wang, J., Zhang, X., & Chen, C. (2020). Early period corrosion and scaling characteristics of ductile iron pipe for ground water supply with sodium hypochlorite disinfection. *Water Research*, 176, 115742. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115742>