

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE DESINFECCIÓN A ESCALA DE
LABORATORIO PARA LA INACTIVACIÓN DE BACTERIAS Y VIRUS EN
MUESTRAS DE AGUA CRUDA SUPERFICIAL**

-

ANDRES CELI BOLAÑOS

KAREN JAKELINE VIRGUEZ QUEVEDO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERIAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C
2021**

**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE DESINFECCIÓN A ESCALA DE
LABORATORIO PARA LA INACTIVACIÓN DE BACTERIAS Y VIRUS EN
MUESTRAS DE AGUA CRUDA SUPERFICIAL**

ANDRES CELI BOLAÑOS

KAREN JAKELINE VIRGUEZ QUEVEDO

**Proyecto de grado presentado para optar al título de
INGENIERIA AMBIENTAL**

Director

**ANDRES FELIPE MARTINEZ URREGO
Ingeniero Químico**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISIÓN DE INGENIERIAS
FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL
BOGOTÁ D.C
2021**

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente de Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá, Agosto de 2021

DEDICATORIA

*“A mis padres por todo su apoyo, fuerzas y acompañamiento durante la carrera
y elaboración del presente trabajo de grado.
A nuestras familias y maestros, ‘por su guía y dedicación en cada etapa y
especialmente a Dios por darme la fortaleza para tomar cada decisión
que me ha traído hasta aquí.”*
Andrés Celi B.

*“Dedico con todo mi amor este trabajo a mi mamá que ha sido luz en mi camino,
por ser mi apoyo incondicional y aquella persona que todo lo puede con su amor y
esfuerzo, y a todos aquellos que me han dado su ayuda
y comprensión durante este proceso.
A Andrés por ser mi compañero y gran amigo durante todos estos años, a mis
profesores, por el aprendizaje y la dedicación en esta etapa
y especialmente a Dios por darme la fortaleza suficiente para nunca rendirme
y a mi abuelito Alberto en el cielo
por ser mi ejemplo a seguir y siempre guiarme”*
Karen J. Virguez Q.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al profesor Andrés Felipe Martínez Urrego por su acompañamiento y dirección. Sin su conocimiento y experiencia no habría sido posible llevar a cabo este proyecto.

Agradecemos al personal de laboratorios de la Universidad Santo Tomas, por su constante colaboración en el préstamo de instrumentos y equipos de laboratorio necesarios para los estudios realizados.

Agradecemos a la Universidad Santo Tomas por su apoyo al realizar los trámites necesarios para utilizar el laboratorio de aguas y microbiología durante la investigación.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	11
ABSTRACT.....	12
1. INTRODUCCIÓN.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1. Objetivo General.....	15
2.2. Objetivos Específicos	15
3. ANTECEDENTES.....	16
4. MARCO TEORICO	18
4.1. Calidad Microbiológica del Agua	18
4.1.1. Virus y su Presencia en el Agua	18
4.2. El Sars-CoV-2 en el Agua.....	19
4.3. Desinfección de Virus y Bacterias en el Agua	19
4.3.1. Desinfección con Cloro	19
4.3.2. Desinfección con Peróxido de Hidrógeno	20
5. METODOLOGÍA.....	21
6. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	26
6.1. Ubicación y descripción del punto de muestreo	26
6.2. Montajes y desinfección de las muestras de agua superficial recolectadas en el punto de muestreo.....	27
6.2.1. Ensayos de identificación para la dosis óptima de cloro	28
6.2.2. Desinfección por Cloración para muestra de agua cruda superficial ...	30
6.2.3. Ensayos de identificación para la dosis óptima de peróxido de hidrógeno.....	33
6.2.4. Desinfección por oxidación con peróxido para muestra de agua cruda superficial.....	35
6.3. Método del número más probable como técnica de detección de Coliformes totales y <i>Escherichia coli</i> para cloración y oxidación con peróxido ..	38
6.3.1. Resultados del Método del número más probable para la detección de coliformes totales utilizando la dosis óptima de hipoclorito de sodio	40
6.3.2. Resultados del Método del número más probable para la detección de coliformes totales utilizando la dosis óptima de Peróxido de hidrógeno	43
6.4. Elaboración y desarrollo del prototipo para la inactivación de bacterias y virus	45

6.4.1. Partes del Prototipo de desinfección.....	46
6.4.2. Proceso de uso del prototipo para una correcta desinfección.....	47
6.5. Validación con prueba de colifagos somáticos	49
7. <i>IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO DEL PROYECTO</i>	51
8. <i>CONCLUSIONES</i>	53
9. <i>RECOMENDACIONES</i>	54
10. <i>REFERENCIAS</i>	55
<i>ANEXOS</i>	58
Anexo 1. Ensayo de identificación para la dosis optima de cloro	58
Anexo 2. Desinfección por cloración para muestra de agua cruda superficial ...	60
Anexo 3. Ensayos de identificación para la dosis optima de peróxido de hidrógeno	62
Anexo 4. Desinfección por oxidación con peróxido para muestra de agua cruda	63
Anexo 5. Resultados del método del número más probable para la detección de coliformes totales utilizando dosis optima de hipoclorito de sodio.....	64
Anexo 6. Resultados de método del número más probable para la detección de coliformes totales utilizando la dosis optima de peróxido de hidrógeno	67
Anexo 7. Prototipo de desinfección de virus y bacterias	70
Anexo 8. Tratamiento final y resultado de validación con prueba de colifagos somáticos	72

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1. Diagrama de las fases de la metodología.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2. Punto de muestreo Río Bogotá.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura 3. Diagrama de prueba de jarras de hipoclorito de sodio</i>	<i>32</i>
<i>Figura 4. Diagrama de prueba de jarras de peróxido de hidrógeno.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 5. Diagrama de método del número más probable.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 6. Diseño del prototipo de desinfección</i>	<i>47</i>
<i>Figura 7. Prototipo de desinfección instalado</i>	<i>48</i>
<i>Figura 8. Captación de la muestra tratada con rotulo</i>	<i>50</i>

LISTA DE TABLAS

	Pág.
<i>Tabla 1. Instrumentos y equipos de medición.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 2. Características del punto de muestreo.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 3. Parámetros medidos.....</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 4. Dosis aplicada por muestra.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 5. Dosis de coagulante.....</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 6. Dosis aplicada por muestra y prueba de colitag</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 7. Dosis de coagulante.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 8. Características fisicoquímicas y dosis de H₂O₂.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 9. Número más probable por cada 100 ml de agua usando la dosis optima de hipoclorito de sodio</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 10. NMP por cada 100 ml de agua según distintos parámetros fisicoquímicos usando la dosis optima de hipoclorito de sodio</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 11. Número más probable de coliformes totales por cada 100 ml de agua usando la dosis optima de peróxido de hidrógeno.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 12. NMP de coliformes totales por cada 100 ml de agua según distintos parámetros fisicoquímicos usando la dosis optima de peróxido de hidrógeno</i>	<i>44</i>

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
<i>Anexo 1. Ensayo de identificación para la dosis optima de cloro</i>	<i>58</i>
<i>Anexo 2. Desinfección por cloración para muestra de agua cruda superficial</i>	<i>60</i>
<i>Anexo 3. Ensayos de identificación para la dosis optima de peróxido de hidrógeno</i>	<i>62</i>
<i>Anexo 4. Desinfección por oxidación con peróxido para muestra de agua cruda..</i>	<i>63</i>
<i>Anexo 5. Resultados del método del número más probable para la detección de coliformes totales utilizando dosis optima de hipoclorito de sodio</i>	<i>64</i>
<i>Anexo 6. Resultados de método del número más probable para la detección de coliformes totales utilizando la dosis optima de peróxido de hidrógeno.....</i>	<i>67</i>
<i>Anexo 7. Prototipo de desinfección de virus y bacterias.....</i>	<i>70</i>
<i>Anexo 8. Tratamiento final y resultado validación con prueba de colifagos somáticos.....</i>	<i>72</i>

RESUMEN

En este proyecto se desarrolló un prototipo a escala de laboratorio, que, a través de la combinación de los métodos de desinfección por cloración y oxidación por peróxido, permiten la inactivación de bacterias y virus en muestras de agua cruda superficial. Esto, surge como una respuesta preventiva frente a la normativa vigente colombiana en agua potable y agua residual, la cual no considera requisitos específicos para el control y/o tratamiento de virus y algunas bacterias en el agua, lo que preocupa cuando en el mundo se comprueba la presencia del virus SARS-CoV-2 en muestras de aguas residuales representando un riesgo a la salud (Lodder & De Roda Husman, A. M., 2020). Para ello, se desarrollaron cuatro fases en las que se realizaron ensayos con las muestras obtenidas del punto de muestreo en el Río Bogotá ubicado entre el municipio de Cota en el departamento de Cundinamarca y la localidad de Suba en la ciudad de Bogotá en el sector de puente la virgen, estas fueron transportadas para el procedimiento de desinfección en el laboratorio de tratamiento de aguas de la Universidad Santo Tomás utilizando la metodología mencionada.

Mediante estos ensayos se logró determinar las condiciones más adecuadas y la dosis óptima para la desinfección de las muestras. Una vez realizados los ensayos y teniendo claras las condiciones adecuadas y la dosis óptima, se desarrolló un prototipo de desinfección a escala de laboratorio que garantiza una alta eficiencia ($\geq 99\%$) en inactivación de bacterias y virus. Por tal motivo, se utilizó como indicador el método del número más probable o más conocido “Ceros de Poisson”, el cual permitió cuantificar la densidad microbiana con un intervalo de confianza de un 95% para la determinación de coliformes totales, este método también permitió identificar las características fisicoquímicas del agua que más favorecen la desinfección. A fin de ratificar los resultados de la desinfección y de la dosis óptima se realizaron pruebas utilizando colitag como método de presencia-ausencia y detección. Por último, se realizó una única prueba de colifagos somáticos como indicadores de contaminación fecal y prueba de validación en un laboratorio externo.

Con la ayuda de estos resultados se pretende contribuir en la reducción del riesgo a la salud de las personas, las cuales pueden tener contacto con diferentes fuentes de agua que contengan virus y bacterias. Del mismo modo, el desarrollo del prototipo pretende ser un insumo importante en materia de investigación, que podría a futuro servir como instrumento mejorando la calidad del agua durante su tratamiento.

Palabras clave: agua cruda superficial, control, tratamiento, bacterias, virus, desinfección, coliformes totales.

ABSTRACT

In this project, a laboratory-scale prototype was developed, which, through the combination of disinfection methods by chlorination and oxidation by peroxide, allows the inactivation of bacteria and viruses in samples of raw surface water. This arises as a preventive response to the current Colombian regulations on drinking water and wastewater, which does not consider specific requirements for the control and / or treatment of viruses and some bacteria in water, which is of concern when the world checks for the presence of the SARS-CoV-2 virus in wastewater samples representing a health risk (Lodder & De Roda Husman, AM, 2020). For this, four phases were developed in which tests were carried out with the samples obtained from the sampling point in the Bogotá River located between the municipality of Cota in the department of Cundinamarca and the town of Suba in the city of Bogotá in the sector of Puente la Virgen, these were transported for the disinfection procedure in the water treatment laboratory of the Santo Tomás University using the aforementioned methodology.

Through these tests it was possible to determine the most suitable conditions and the optimal dose for disinfection of the samples. Once the tests had been carried out and the appropriate conditions and optimal dose were clear, a laboratory-scale disinfection prototype was developed that guarantees high efficiency ($> = 99\%$) in inactivating bacteria and viruses. For this reason, the method of the most probable or best-known number "Poisson's zeros" was used as an indicator, which allowed quantifying the microbial density with a 95% confidence interval for the determination of total coliforms. This method also allowed identify the physicochemical characteristics of the water that most favor disinfection. In order to confirm the disinfection results and the optimal dose, tests were carried out using colitag as the presence-absence and detection method. Finally, a single somatic coliphage test was performed as indicators of fecal contamination and a validation test in an external laboratory.

With the help of these results, it is intended to contribute to reducing the risk to the health of people, who may have contact with different sources of water that contain viruses and bacteria. In the same way, the development of the prototype is intended to be an important input in the field of research, which in the future could serve as an instrument to improve the quality of water during its treatment.

Keywords: raw surface water, control, treatment, bacteria, virus, disinfection, total coliforms.

1. INTRODUCCIÓN

En Colombia, la Resolución 2115 de 2007 establece los parámetros microbiológicos a cumplir en agua para consumo humano, dentro de lo que se considera el estudio de coliformes totales, *Escherichia coli* y protozoarios como *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium parvum*, sin embargo, se evidencian dos escenarios de riesgo potencial a la salud humana asociado al consumo de agua. En primer lugar, la posible presencia de bacterias patógenas y virus, y en segundo lugar la inadecuada operación en los sistemas de desinfección que eliminan eficientemente bacterias y otros patógenos. Los valores del índice de riesgo de la calidad del agua (IRCA) reportados por el Instituto Nacional de Salud (INS) muestran un número significativo de muestras de agua distribuida en el país con coliformes totales y *E. Coli*.

En una investigación realizada en 2016 por el INS de Colombia se realizaron 288 muestras en 102 municipios, de los cuales se detectaron virus en 48,26% de las muestras de agua no tratada y el 45,83% de las muestras de agua tratada dieron como resultado positivo a la presencia de virus: 26,73 %, para el virus de la hepatitis A; 20,48 %, para enterovirus y rotavirus, y 18,05 % para adenovirus (Peláez et al., 2016). Ante esto, el (INS) afirma que a pesar de los tratamientos que exige la normativa, al momento de realizar estas pruebas en diferentes municipios de Colombia los resultados evidenciaron amenazas a la salud pública por la presencia de virus en el agua. Por lo cual se propone incluir políticas que fortalezcan los sistemas de suministro e instrumentos que puedan mejorar la vigilancia epidemiológica. (Peláez et al., 2016).

En 2020 Numerosos estudios han demostrado que las mediciones del ARN de virus como el actual SARS-CoV-2, en muestras de excrementos fecales recolectados de plantas de tratamiento de aguas residuales, puede ser un indicador confiable de la prevalencia del virus en la comunidad aún después de un tratamiento. Por esto, es importante incluir medidas de control y prevención en el agua principalmente con métodos de desinfección para virus y bacterias. (Ahmed et al., 2020), Francia (Wurtzer, Marechal, Mouchel, & Moulin, 2020), (Wurtzer et al., 2020), Países Bajos (Medema, Heijnen, Elsinga, Italiaander, & Brouwer, 2020), (Lodder & De Roda Husman, A. M., 2020), España (Randazzo et al., 2020), (Randazzo, Cuevas-Ferrando, Sanjuán, Domingo-Calap, & Sánchez, 2020) y EE. UU (Wu et al., 2020), (Hart & Halden, 2020).

Por otra parte, el agua como recurso diario y global es de suma importancia para la vida humana, por lo cual se debe cuidar y administrar de la mejor manera, teniendo en cuenta esto, es valioso recalcar que en Colombia no existe un tratamiento completo que garantice la inactivación de agentes patógenos en agua para consumo humano, esto se debe a la ausencia de medidas efectivas de prevención y control que logren evitar la presencia de bacterias y virus en el agua causando un riesgo potencial hacia la salud humana.

Se debe considerar, además, que en las plantas de tratamiento de agua potable y agua residual que incluyen desinfección, con frecuencia no implementan las condiciones adecuadas para el tratamiento, lo cual no brinda garantías en el agua desinfectada contra los virus. Esto deja en claro que a pesar de que existen instrumentos que buscan asegurar la calidad del agua, la falta de control y supervisión de las variables que definen el proceso de desinfección en planta resulta en una deficiente eliminación de patógenos, lo que significa un alto riesgo para la salud pública.

Considerando el alto riesgo que esto supone, este proyecto desarrolló un prototipo a escala de laboratorio, que permite la evaluación de diferentes métodos de inactivación de bacterias y virus como: *Enterobacter*, *Staphylococcus aureus* ó *Micobacteria*, hepatitis A, hepatitis B, *Leptospira*, enterovirus, entre otros, normalmente presentes en muestras de agua cruda superficial, como una contribución a prevenir la presencia y propagación de nuevos agentes patógenos. Para ello, se llevaron a cabo, dos fases en las que se realizaron ensayos de desinfección en el laboratorio (cloración y oxidación con peróxido), de esta forma se logró la inactivación de bacterias y virus, además se determinó el método y las condiciones más adecuadas para su operación.

Posteriormente se realizó un prototipo de desinfección a escala de laboratorio que garantiza una alta eficiencia en inactivación de bacterias, para esto se usó como indicador coliformes totales y *Escherichia coli*. Por último, para la inactivación de virus se realizó una única prueba de fagos somáticos como prueba de validación en un laboratorio externo. Con la ayuda de estos resultados se pretende contribuir a la reducción del riesgo a la salud de la población que puede llegar a tener contacto con diferentes fuentes de agua que contengan virus y bacterias. Del mismo modo, el prototipo pretende ser un insumo importante en materia de investigación, que podría a futuro servir como instrumento para mejorar la calidad del agua en los procesos de tratamiento.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un prototipo de desinfección a escala de laboratorio para la inactivación de bacterias y virus en muestras de agua cruda superficial, que garantice una alta eficiencia y promueva la prevención de agentes patógenos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Efectuar ensayos de desinfección en el laboratorio (cloración y oxidación con peróxido de hidrógeno) para la inactivación de virus y bacterias en muestras seleccionadas de agua cruda superficial, evaluando las condiciones óptimas para la eficiente desinfección.
- Diseñar un prototipo de desinfección a escala de laboratorio, para las condiciones óptimas definidas, garantizando una eficiencia mínima de 99% (log 2) en la inactivación de bacterias, usando coliformes totales y *Escherichia coli* como indicadores de calidad.
- Validar el prototipo desarrollado a partir de una prueba de fagos somáticos en una muestra seleccionada de agua, posterior al tratamiento, como indicador de eficiencia en remoción de virus.

3. ANTECEDENTES

El agua es un recurso primordial para la vida humana, ya que está se involucra en casi todos los procesos biológicos del ser humano, por eso es fundamental para la salud de la población que esta sea apta para consumo. A lo largo de los años se ha logrado realizar procesos de desinfección y potabilización del agua a gran escala que garantizan calidad y seguridad a las personas.

Sin embargo, se ha demostrado que existe una exposición para la salud de las personas con la presencia de diversos virus en el agua potable, lo que demuestra que los procesos de tratamiento del agua no son suficientes para la inactivación de virus como lo comprueba un estudio realizado en Colombia, donde en 288 muestras de 102 municipios de Cundinamarca se encontró que el 50,7% de las muestras daban positivas para algún tipo de virus, entre estos: el virus de la hepatitis A con un 26,73 %; para enterovirus y rotavirus un 20,48 % y para adenovirus entre otros un 18,05 %, representando un riesgo potencial para la salud pública. (Peláez et al., 2016).

Teniendo en cuenta que puede existir la presencia de virus en agua tratada es preocupante la situación futura en Colombia ya que virus como el SARS-CoV-2 mantienen su viabilidad en aguas residuales, ambientes acuáticos y plantas de tratamiento de agua residual. Estos pueden sobrevivir hasta cierto punto en ausencia de una desinfección adecuada causando que se multipliquen la cantidad de contagios, dado que los coronavirus pueden permanecer infecciosos durante días en las aguas residuales y aguas potables como lo menciona un artículo de la revista Ciencias Ambientales Investigación y Tecnología del Agua, (Naddeo, V., & Liu, H., 2020).

Estudios demuestran que en Colombia solo se trata un 10% de las aguas residuales según la UNICEF, este valor dice que el menos de una cuarta parte de los municipios en Colombia cuentan con una planta de tratamiento. Además, según documentos del Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) del Ministerio de Vivienda, aproximadamente el 96% de las aguas residuales en el país generadas de actividades domésticas o industriales no son tratadas (patentes-sic, 2014).

Por esto, es importante resaltar que la incorporación de plantas de tratamiento y métodos óptimos de desinfección de bacterias y virus tienen un papel fundamental para evitar la propagación de agentes patógenos al ambiente y demás población.

Por último, según la guía para la calidad del agua propuesta por la OMS, la desinfección es un proceso muy importante para el abastecimiento de agua potable. La inactivación de microorganismos patógenos es un trabajo esencial para la potabilización del agua y en una gran cantidad de casos se fabricado con productos químicos reactivos como el cloro. La efectividad de la desinfección puede ser insuficiente contra patógenos presentes en flóculos o partículas ya que estas características pueden protegerlos de la acción del desinfectante. La cloración es un método eficaz para impedir o eliminar la contaminación microbiana, y también tienen un importante papel en la protección del agua de origen y la protección del agua durante la distribución y el almacenamiento de esta.

4. MARCO TEORICO

4.1. CALIDAD MICROBIOLÓGICA DEL AGUA

“El objetivo principal de la evaluación de la calidad microbiológica del agua es proteger a los consumidores de enfermedades relacionadas con el consumo de agua que pudiera contener patógenos tales como bacterias, virus y protozoos y prevenir los brotes de enfermedades de transmisión hídrica” (González, 2012).

Para la determinación de la calidad del agua de consumo humano es necesario llevar a cabo unos procesos de laboratorio mínimos que se realizan en una muestra de agua para valorar la presencia o ausencia, el posible tipo de microorganismos que hay en esta muestra, además de una serie de parámetros fisicoquímicos que definen su condición. (Minambiente, 2007).

Como los indicadores más distintivos en la calidad microbiológica del agua se encuentran los coliformes totales que son bacterias de forma de bacilos unicelulares gram negativos. Dentro de los coliformes totales, se tiene la *Escherichia coli* que sirve como patrón de contaminación fecal en el agua, ya que es un microorganismo que habita normalmente en el tracto digestivo de los animales, también pueden existir la presencia de otros microorganismos altamente perjudiciales, los más comunes son *Salmonella sp*, *Shigella sp*, *Klebsiella sp*, *Listeria sp*, entre otros. (IDEAM - República de Colombia, 2007).

“Según la Resolución 2115 de 2007 los parámetros mínimos que se deben analizar en cuanto a bacterias son: *coliformes totales* y *E. Coli*, los cuales, desde un punto de vista microbiológico, debe estar dentro el rango máximo aceptable según las técnicas propuestas en esta resolución” (Minambiente, 2007).

4.1.1. Virus y su Presencia en el Agua

Los virus son pequeños trozos de ARN (ácido ribonucleico) o ADN (ácido desoxirribonucleico), los cuales están rodeados por una envoltura hecha a base de proteínas llamada cápside (“INECOL” México, 2020).

“El agua puede ser una de las primordiales vías de transmisión masiva de virus se ha comprobado que pueden sobrevivir durante mucho tiempo en este entorno y seguir siendo contagioso, y se ha llegado a reportar la presencia de estos durante 120 días en agua dulce, 130 días en agua de mar y hasta 100 días en el suelo” (Fong & Lipp, 2005).

4.2. EL SARS-COV-2 EN EL AGUA

De acuerdo con lo dispuesto por la NCBI, las heces de las personas que padecen o padecieron esta enfermedad, contienen presencia de SARS-CoV-2, ocasionando un aporte a las aguas residuales, ya que también puede darse la posibilidad de una transmisión entérica según Willemijn Lodder (Lodder & De Roda Husman, A. M., 2020), (Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente "PAÍSES BAJOS", 2020). Existen diferentes estrategias para disminuir las cargas del virus en las aguas residuales, como pueden ser biorreactores de membrana y tecnologías de desinfección emergentes (Lehmann, Sérroussi, Jaulent, 2014).

4.3. DESINFECCIÓN DE VIRUS Y BACTERIAS EN EL AGUA

“En el proceso de desinfección se eliminan los agentes patógenos conocidos, pero en muchos casos no todas las formas de vida microbianas. Por esto, se convierte en un término relativo, donde existen diversos niveles y tipos de desinfección, desde una esterilización química, a una mínima reducción del número de microorganismos contaminantes” (Hoyos Serrano et al., 2014).

Para poder lograr una reducción de éstos se utiliza un medio de filtración o inactivación.

4.3.1. Desinfección con Cloro

El cloro es uno de los desinfectantes de agua más antiguos, y de uso común, considerándose uno de los desinfectantes más óptimo para la potabilización del agua potable, además de uno de los más económicos (González Diaz, 2004).

Se utilizan diversas técnicas de desinfección por medio del cloro o también conocido como cloración, estas se dividen en tres, la primera es la cloración a punto de quiebre, la segunda la cloración marginal y la tercera la súper cloración-decloración.

Para este proyecto se utilizó la técnica a punto de quiebre, es un método que utiliza una cantidad suficiente y optima de cloro para oxidar rápidamente el nitrógeno de amonio presente en el agua, dejando una concentración de cloro residual libre. Esto protege el agua de una nueva contaminación durante la desinfección. Según la resolución 2115 del 2007 el valor aceptable del cloro residual libre en cualquiera de los puntos de la red de transporte del agua apta para consumo humano debe estar entre 0,3 y 2,0 mg/L (Resolución 2115 2007).

Al implementar el método de cloración es importante tener en cuenta el cloro residual que se mide al final de esta prueba, este dato es aquella porción que queda en el agua después de un período de contacto definido, que reacciona química y biológicamente como ácido hipocloroso o como ion hipoclorito (Resolución 2115 2007).

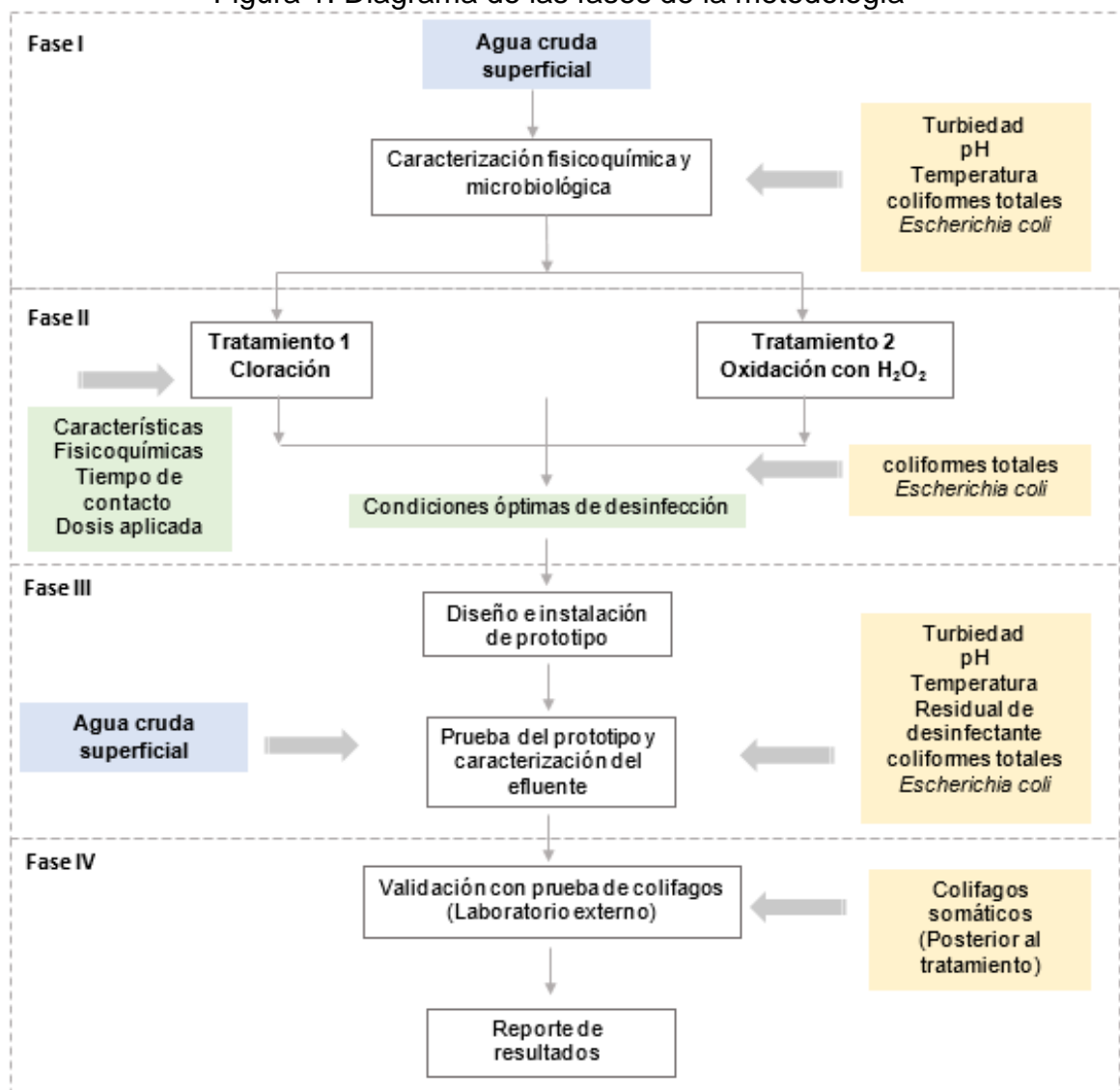
4.3.2. Desinfección con Peróxido de Hidrógeno

El peróxido de hidrógeno (H_2O_2) es mucho más abundante de lo que sugiere su nombre y es una molécula altamente utilizada en todo el mundo, esta es una molécula de agua con átomos de oxígeno adicionales o peróxido de hidrógeno. El modo de desinfección es con la formación de radicales hidroxilos que atacan la membrana lipídica, DNA y otros compuestos esenciales para la supervivencia del microorganismo (Asociación de Esterilización del Uruguay, 2018).

5. METODOLOGÍA

La metodología bajo la cual se desarrolló este proyecto constó de cuatro fases, las cuales se componen por diferentes actividades teórico prácticas, que permitieron estudiar y analizar las características fisicoquímicas de muestras de agua cruda superficial, con el fin de desarrollar el tratamiento más eficiente para la inactivación de bacterias y virus en el agua y con esto dar cumplimiento a los objetivos propuestos.

Figura 1. Diagrama de las fases de la metodología



Fuente: propia

FASE I. Selección de puntos de muestreo y caracterización fisicoquímica y microbiológica de muestras de agua: en la primera fase se definió el punto de muestreo del cual se tomaron muestras de agua cruda superficial, este punto de muestreo fue previamente seleccionado con base en las características que permitieron incrementar las posibilidades de hallar la presencia de virus y bacterias en estas. En la caracterización fisicoquímica se realizaron mediciones de Turbiedad, pH y Temperatura, mientras que en las microbiológicas se determinaron la cantidad de presencia de coliformes totales y *Escherichia coli*.

FASE II. Desarrollo experimental de ensayos de tratabilidad y evaluación de eficiencia en inactivación de bacterias: en la segunda fase se realizaron distintos montajes experimentales en el laboratorio de aguas de la Universidad Santo Tomás, en donde se llevaron a cabo diferentes técnicas de desinfección (cloración y oxidación con H₂O₂), en esta fase para la medición de coliformes totales y *Escherichia coli* se consideraron las técnicas del número más probables y pruebas de presencia-ausencia como métodos de detección, de esta forma se encontró el resultado del método más eficiente y las condiciones más óptimas de desinfección.

FASE III. Diseño e instalación del prototipo de desinfección y pruebas piloto: teniendo en cuenta el resultado óptimo de la segunda fase, se presentó y evaluó un prototipo que integro los métodos más óptimos para lograr una desinfección con una mayor eficiencia por medio de distintos ensayos piloto.

FASE IV. Aplicación del prototipo y validación con análisis de colifagos: finalmente se presentó un prototipo a partir de las fases anteriores, en donde se puso a prueba y posteriormente se realizó la validación de este, esta validación se ejecutó por medio de una prueba de colifagos somáticos después del tratamiento en los laboratorios de calidad de agua y lodos de la Universidad Javeriana. La presencia de colifagos somáticos se asocia con un riesgo potencial para la salud pública, debido a que se utiliza como indicador de contaminación fecal y fueron usados para verificar la eficiencia del proceso de potabilización.

Tabla 1. instrumentos y equipos de medición.

Instrumento o equipo de medición	Descripción
 <p data-bbox="407 667 779 705">Fuente: Google imagenes</p>	<p data-bbox="1079 449 1279 487">Vidrio de reloj</p> <p data-bbox="899 522 1459 632">Este instrumento se utiliza para colocar las sustancias que se desean medir en la balanza.</p>
 <p data-bbox="407 1001 779 1039">Fuente: Google imagenes</p>	<p data-bbox="987 798 1369 835">Balanza Electrónica Digital</p> <p data-bbox="899 871 1459 980">Este Instrumento arroja un dato muy preciso sobre la masa de la sustancia que se esté midiendo.</p>
 <p data-bbox="407 1392 779 1430">Fuente: Google imagenes</p>	<p data-bbox="967 1127 1390 1165">Beaker o Vaso de Precipitado</p> <p data-bbox="899 1201 1459 1383">Este instrumento tiene diferentes usos, comúnmente sirve para preparar sustancias, medir o traspasar líquidos. Normalmente vienen con diferentes capacidades o tamaños.</p>
 <p data-bbox="407 1782 779 1820">Fuente: Google imagenes</p>	<p data-bbox="1008 1545 1349 1583">Balón Aforado o Matraz</p> <p data-bbox="899 1619 1459 1766">Este instrumento se utiliza para medir un volumen exacto de alguna sustancia, esto con base a la capacidad que tenga el propio matraz.</p>



Fuente: Google imagenes

Turbidímetro

Este equipo tiene la principal función de medir las partículas en suspensión en el agua o medir la turbidez del agua, esta medida se da en NTU.



Fuente: Google imagenes

Tiras de pH

Este instrumento permite medir el pH en el agua, este color dependerá de la acidez en la que se encuentre el agua. Para determinar su medida se compara según una escala de colores ya estandarizada.



Fuente: Google imagenes

Termómetro



Este instrumento permite establecer la temperatura en la que se encuentra el agua, el resultado es en Grados Centígrados.



Fuente: Google imagenes

Floculador

Este equipo permite realizar el proceso de coagulación y sedimentación. Este proceso es indispensable para muchos procesos de desinfección del agua.

 <p data-bbox="407 499 779 537">Fuente: Google imágenes</p>	<p data-bbox="1040 273 1317 310">Matraz Erlenmeyer</p> <p data-bbox="898 346 1459 491">Este instrumento se utiliza para preparar sustancias y también calentar sustancias que necesiten un proceso lento y de un largo calentamiento</p>
 <p data-bbox="407 869 779 907">Fuente: Google imagenes</p>	<p data-bbox="1133 653 1227 690">Pipeta</p> <p data-bbox="898 726 1459 871">Este instrumento permite colocar una sustancia con una precisión volumétrica muy exacta. Gracias a su tamaño es fácil y precisa de utilizar.</p>

Fuente: propia

6. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados y análisis del presente trabajo se desarrollaron según el orden de los objetivos específicos, siguiendo la metodología teórico práctica propuesta y con un trabajo en campo autorizado.

6.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO

Para la realización de este proyecto se definió el punto de muestreo en una orilla del cauce del Río Bogotá en el sector de puente la virgen entre el municipio de Cota en el departamento de Cundinamarca y la localidad de Suba en la ciudad de Bogotá, exactamente en las coordenadas (4°47'57"N - 74°05'45"W).

Es importante tener en cuenta que el Río Bogotá es uno de los más contaminados en todo Colombia (Oscar Efrén Ospina Zúñiga, 2018), esto se debe a la gran cantidad de residuos y vertimientos que durante su trayecto se descargan en este. Por lo tanto, para este proyecto se tuvieron en cuenta las diferentes medidas preventivas sanitarias y de bioseguridad pertinentes.

Figura 2. Punto de muestreo Río Bogotá



Fuente: Google Earth

En este punto de muestreo se tomó una muestra y dos replicas cada una de 10 L de agua cruda superficial las cuales fueron rotuladas y en el mismo lugar se midieron diferentes parámetros físicos del agua como: temperatura y pH, como se muestra en la tabla 1 y 2.

Tabla 2. Características del punto de muestreo

Características del punto de muestreo	
Ubicación	Río Bogotá (4°47'57"N 74°05'45"W)
Fecha	14 de junio del 2021
Hora	3:45 pm

Fuente: propia

Tabla 3. Parámetros medidos

Parámetro medido	Valor
pH	6
Temperatura	15°C

Fuente: propia

Posteriormente, se transportaron estas muestras en envases plásticos al laboratorio de aguas ubicado en la Universidad Santo Tomás. Cabe recalcar que las características fisicoquímicas en el punto de muestreo varían dependiendo del clima en la zona del muestreo.

6.2. MONTAJES Y DESINFECCIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA SUPERFICIAL RECOLECTADAS EN EL PUNTO DE MUESTREO

En esta fase, se realizaron distintos montajes experimentales en el laboratorio de aguas de la Universidad Santo Tomás. En primer lugar, se desarrolló la técnica de cloración y seguidamente la oxidación con peróxido. Posterior a esto, se realizaron diferentes pruebas de eficiencia en la desinfección para así identificar el método más apropiado.

6.2.1. Ensayos de identificación para la dosis óptima de cloro

En la cloración se utilizan diversas técnicas de desinfección por medio del cloro, para esta práctica se utilizó la técnica a punto de quiebre, la cual consiste en que la dosis de cloro es suficiente para oxidar y dejar una concentración suficiente de cloro libre residual. Esta concentración es importante, ya que permite proteger el agua de la contaminación al momento de ser transportada hasta el punto de consumo.

En la identificación de la dosis óptima de cloro se realizaron diferentes soluciones de hipoclorito de la siguiente manera: Se pesaron 10 mg de hipoclorito en un vidrio de reloj y se disolvieron en 50 ml de agua destilada en un beaker, luego se transfirieron a un balón aforado de 100 ml y se completó el volumen con agua destilada.

Para la identificación de la dosis óptima se realizó un cálculo en el cual se multiplicó la dosis a aplicar por la cantidad de la disolución en este caso agua destilada, la concentración de hipoclorito la cual era del 70% y la concentración de la solución, la cual se evidencia la ecuación 1. Este cálculo se realizó para 20 muestras diferentes, en donde se iniciaron las dosis desde (0,2 mg/L hasta 4,0 mg/L) con un total de 20 muestras.

Ecuación 1. Dosis óptima de hipoclorito de sodio

$$Dosis\ aplicar \times 0,1\ L \times \left(\frac{100}{70}\right) \times \left(\frac{100\ ml}{10\ mg}\right)$$

Fuente: propia

Dosis aplicar de NaClO = (0,2 - 4,0 mg/L)

Cantidad de disolución = 0,1 L

Concentración de peróxido = 70%

Concentración de la solución = 100 ml/10 mg

Se llevó a cabo el desarrollo de la desinfección por cloración en los 20 ensayos, cada uno con una dosis de cloro distinta, estas dosis se agregaron en intervalos de tiempo de 5 minutos y cada 10 minutos se realizaba la lectura de cloro residual para cada una de las muestras.

Luego de cada lectura en las 20 muestras se evidencia que el valor de cloro residual se encuentra en intervalos de 0,3 mg/L- 0,6 mg/L en las primeras 10 muestras las cuales recibieron dosis de 0,2 mg/L a 2,0 mg/L y en las siguientes 10 muestras la medición fue desde 0,4 mg/L - 1,0 mg/L y estas recibieron dosis desde 2,2 mg/L a 4,0 mg/L como se muestra en la tabla 3.

Tabla 4. Dosis aplicada por muestra

Muestras de agua cruda superficial	Dosis aplicada en mg/L de (NaClO)	Cloro residual en mg/L (Cl₂)
Muestra 1	0,2	0,6
Muestra 2	0,4	0,3
Muestra 3	0,6	0,4
Muestra 4	0,8	0,4
Muestra 5	1,0	0,4
Muestra 6	1,2	0,4
Muestra 7	1,4	0,4
Muestra 8	1,6	0,5
Muestra 9	1,8	0,5
Muestra 10	2,0	0,6
Muestra 11	2,2	0,6
Muestra 12	2,4	0,6
Muestra 13	2,6	0,6
Muestra 14	2,8	0,4
Muestra 15	3,0	0,6
Muestra 16	3,2	0,7
Muestra 17	3,4	0,7
Muestra 18	3,6	0,8
Muestra 19	3,8	0,7
Muestra 20	4,0	1,0

Fuente: propia

Teniendo en cuenta los resultados y la normativa vigente para cloro residual según la Res. 2115 de 2007 la cual emite los sistemas de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano, contempla que el agua sea potable los niveles de cloro residual libre deben estar entre 0,3 y 2 mg /L. Por lo anterior, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos que se muestran en la Tabla 3 se concluye que la dosis óptima es de 2 mg/L la cual tuvo un valor de cloro residual de 0,6 mg/L.

El procedimiento y los resultados de los ensayos de la identificación para la dosis óptima de cloro (véase Anexo 1).

6.2.2. Desinfección por Cloración para muestra de agua cruda superficial

Una vez identificada la dosis óptima para la desinfección por cloración, se realizó una prueba de jarras por medio de 4 muestras de agua cruda superficial, utilizando beakers de 1000 ml para la determinación de variables como: turbiedad, tiempo de contacto, pH y temperatura.

En la prueba de jarras se usó como coagulante el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, donde se utilizaron dosis de 0,5 ml, 1 ml, 2 ml y 3 ml del coagulante en cada una de las muestras de agua, luego de esto, se inició el proceso de coagulación, utilizando una velocidad de 40 rpm mientras se suministraban las dosis de sulfato de aluminio según la cantidad de cada muestra, posteriormente de realizada la mezcla se aumentó la velocidad de mezcla a 100 rpm durante 15 minutos, para que la coagulación sea efectiva se disminuyó la velocidad a 0 rpm durante 10 minutos para así llegar a la precipitación de los sedimentos.

Tabla 5. Dosis de coagulante

Muestra de agua cruda superficial	Dosis de coagulante $Al_2(SO_4)_3$ en ml
Muestra 1 de agua cruda	0
Muestra 2	0,5
Muestra 3	1
Muestra 4	2
Muestra 5	3

Fuente: propia

Con la coagulación y sedimentación realizada se tomaron 100 ml de la muestra 3 y 300 ml de la muestra 5. A cada muestra de 100 ml se le realizaron diferentes cambios fisicoquímicos, con el fin de determinar las condiciones más óptimas para la desinfección. Por otro lado, se dejó una única muestra, a la cual no se le realizó ningún cambio desde su captación en el punto de muestreo, esto para poder tener una comparativa de los resultados. A esta muestra se le denominó como muestra 1, en la cual simplemente se tomaron 100 ml de agua cruda.

Para determinar las condiciones óptimas se decidió tomar la muestra 3 y la muestra 5 las cuales tenían dosis de coagulante de 1 ml y 3 ml respectivamente. Para la muestra 1 se tomaron 100 ml de agua cruda sin realizarle ningún cambio, en la muestra 3 se tomaron 100 ml de agua coagulada y sedimentada con una dosis de coagulante de 1 ml, para la muestra 5 se tomaron 100 ml de los 300 ml de agua coagulada y sedimentada con una dosis de coagulante de 3 ml a la cual se le disminuyó el pH a un valor de 5 utilizando ácido clorhídrico (HCl) y se nombró como muestra 5.1, luego se tomaron otros 100 ml de la muestra 5 de 300 ml y se aumentó el pH a un valor de 8,5 utilizando hidróxido de sodio y se nombró como muestra 5.2, por último, se tomaron los últimos 100 ml de la muestra 5 de agua coagulada y sedimentada sin alterar el pH el cual tenía un valor de 6,5 y se le dio el nombre de muestra 5.3. Estas alteraciones de pH se realizaron con el fin de tener diferentes condiciones en la desinfección y de esta forma ver su efectividad.

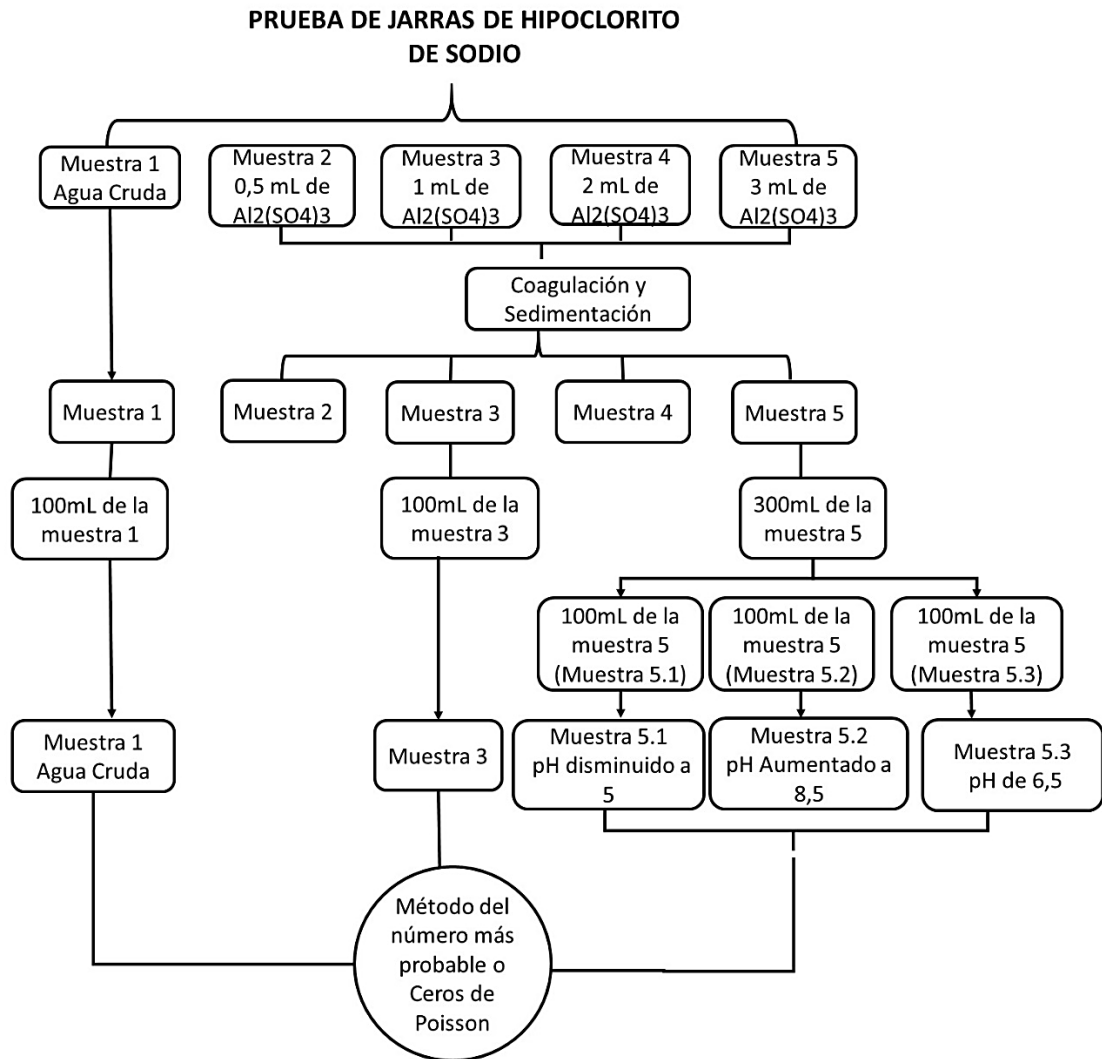
Para la determinación de coliformes totales se utilizó la técnica del número más probable la cual se realizó como prueba de detección de microorganismos para la desinfección por cloración y oxidación con peróxido, que más adelante se explica en la figura 5. Con anterioridad, se realizaron pruebas de presencia-ausencia las cuales permitieron identificar si en la muestra de agua cruda superficial existía la presencia de microorganismos como: coliformes totales y *Escherichia coli*.

En las pruebas de presencia ausencia se utilizaron dos muestras de agua: la primera, de la muestra 5 la cual tenía agua coagulada y sedimentada con una dosis de coagulante de 3 ml y la segunda, de la muestra 5 con la dosis óptima de cloro de 2 mg/L. A estas dos muestras se les realizó la prueba de colitag y posteriormente se incubaron durante 24 horas a una temperatura de 35°C, pasado este tiempo las muestras dieron como resultado: positivo para la presencia de coliformes totales en la muestra sin dosis de cloro y negativo para la muestra que ya tenía la dosis óptima de cloro.

A las 5 muestras se les aplicó la dosis óptima de cloro escogida para la correcta desinfección (2,0 mg/L).

El procedimiento y los resultados de la desinfección por Cloración para muestra de agua cruda superficial (véase Anexo 2).

Figura 3. Diagrama de prueba de jarras de hipoclorito de sodio



Fuente: propia

6.2.3. Ensayos de identificación para la dosis óptima de peróxido de hidrógeno

El peróxido de hidrógeno se utiliza en diversas técnicas de desinfección. Para esta práctica se utilizaron pruebas de colitag como presencia-ausencia para la detección de coliformes totales y *Escherichia coli*, el cual consiste en agregar una prueba de colitag en un tarro con 100 ml de la muestra de agua el cual ya contiene la dosis óptima de peróxido de hidrógeno, para luego agitarla constantemente hasta disolverla completamente y posteriormente llevarla a la incubadora a 35°C durante 24 horas, por último observa el color y se analiza el resultado (cuando la muestra tiene un color amarillo, esta es positiva). Esta concentración o dosis que se agrega a la muestra es importante, ya que permite evidenciar y seleccionar la dosis óptima de desinfección que necesita el agua, esto también con apoyo de varias pruebas con distintos valores de dosis.

En la identificación de la dosis óptima de peróxido de hidrógeno se realizó la solución de H₂O₂ de la siguiente manera: en primer lugar, el peróxido de hidrógeno tenía una concentración del 50% por lo tanto se calculó cuanto peróxido de hidrógeno se usaría para 100 ml de agua destilada, de esta forma se calcula la concentración de la solución. Esta dosis se preparó con 0,2 ml de H₂O₂ y 1000 ml de agua destilada obteniendo una disolución, la cual quedo con una concentración del 0,01%.

Se realizó el cálculo de la cantidad de disolución que se usó en cada muestra de agua cruda superficial como se identifica en la ecuación 2, teniendo en cuenta que la disolución de peróxido de hidrógeno es del 0,01% se iniciaron dosis de (0,2 a 3,8 mg/L) estos valores se escogieron teniendo en cuenta los resultados de la desinfección con NaClO. Estas dosis se agregaron a 10 muestras de agua cruda superficial con el fin realizar pruebas de presencia-ausencia como técnica de detección de coliformes totales y *Escherichia coli*.

Ecuación 2. Dosis óptima de peróxido de hidrógeno

$$Dosis\ aplicar \times 0,1\ L \times \frac{100\ ml}{10\ mg}$$

Fuente: propia

Dosis aplicar de H₂O₂ = (0,2 - 3,8 mg/L)

Cantidad de agua destilada = 0,1 L

Concentración de la solución = 100 ml/10 mg

Consecutivamente se lleva a cabo el desarrollo de la desinfección con peróxido en las 10 muestras de agua con 100 ml cada una, con una dosis distinta la cual se calculó y se definió con anterioridad, para así realizar una prueba de colitag en cada una de las muestras y llevarlas a la incubadora a 35°C durante 24 horas.

Pasado este tiempo se realizó la lectura en las 10 muestras en donde se evidenció que siete de diez muestras tienen un color amarillo lo cual define positivo para coliformes totales y los tres restantes no muestran ninguna coloración, por lo tanto, son negativas para presencia de coliformes totales. El valor de peróxido de hidrógeno que se usó en las 3 muestras negativas fue de 0,6 mg/L en la muestra 2, 1,0 mg/L en la muestra 3 y 1,4 mg/L en la muestra 4, por lo cual entre esos tres valores se encuentra el valor óptimo de dosis de peróxido de hidrógeno como se muestra en la tabla 5.

También se realizó la lectura de las 10 muestras para la detección de *Escherichia coli* en donde se colocó cada una de las muestras en una máquina con luz ultravioleta y éstas no mostraron ningún color fluorescente, lo que concluye que todas las muestras son negativas para la presencia de *E. Coli*.

Tabla 6. Dosis aplicada por muestra y prueba de colitag

Muestras de agua cruda superficial (100 ml)	Dosis aplicar de H₂O₂ (ml)	Prueba de presencia-ausencia
Muestra 1	0,2	Positiva
Muestra 2	0,6	Negativa
Muestra 3	1,0	Negativa
Muestra 4	1,4	Negativa
Muestra 5	1,8	Positiva
Muestra 6	2,2	Positiva
Muestra 7	2,6	Positiva
Muestra 8	3,0	Positiva
Muestra 9	3,4	Positiva
Muestra 10	3,8	Positiva

Fuente: propia

Por lo anterior, y teniendo en cuenta los resultados obtenidos que se muestran en la tabla 5 se concluye que la dosis óptima se encuentra entre (0,6 - 1,0 - 1,4 ml) los cuales dieron negativos. Las dosis óptimas escogidas para realizar la desinfección se calcularon mediante un promedio entre los tres valores con resultado negativo para presencia de coliformes totales, el cual fue de 1,0 ml de peróxido de hidrógeno. El procedimiento y los resultados de ensayos de identificación para la dosis óptima de peróxido de hidrógeno (véase Anexo 3).

6.2.4. Desinfección por oxidación con peróxido para muestra de agua cruda superficial

Una vez identificada la dosis óptima para la desinfección por peróxido de hidrógeno, se realizó una prueba de jarras por medio de 4 muestras de agua cruda superficial, utilizando beakers de 1000 ml para la determinación de variables como: turbiedad, pH y temperatura.

En la prueba de jarras se usó como coagulante el sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$, donde utilizaron dosis de 3,5 ml, 4,5 ml, 6 ml y 8 ml del coagulante en cada una de las muestras de agua, luego de esto, se inició el proceso de coagulación, utilizando una velocidad de 40 rpm mientras se suministraban las dosis de sulfato de aluminio según la cantidad de cada muestra, posterior a esto se realizó la mezcla donde se aumentó la velocidad a 100 rpm durante 15 minutos. Para que la coagulación sea efectiva se disminuyó la velocidad a 0 rpm durante los últimos 10 minutos y así llegar a la precipitación de los sedimentos.

Tabla 7. Dosis de coagulante

Muestras de agua (1000 ml)	Dosis de Coagulante en ml ($Al_2(SO_4)_3$)
Muestra de agua cruda 1	0
Muestra 2	3,5
Muestra 3	4,5
Muestra 4	6
Muestra 5	8

Fuente: propia

Para determinar las condiciones óptimas como se mencionó anteriormente se decidió tomar la muestra 3 y la muestra 5 las cuales tenían dosis de sulfato de aluminio de 4,5 ml y 8 ml respectivamente. Para la muestra 1 de agua cruda se tomaron 100 ml sin realizarle ningún cambio, en la muestra 3 se tomaron 100 ml de agua coagulada y sedimentada con una dosis de coagulante de 4,5 ml, para la muestra 5 se tomaron 100 ml de los 300 ml de agua a la cual se le disminuyó el pH a un valor de 5 utilizando ácido clorhídrico (HCl) y se nombró como muestra 5.1, luego se tomaron otro 100 ml de la muestra 5 y se aumentó el pH a un valor de 7 utilizando hidróxido de sodio (NaOH) y se nombró como muestra 5.2, por último, se tomaron los últimos 100 ml de la muestra 5 sin alterar el pH el cual tenía un valor de 6 y se le dio el nombre de muestra 5.3. Estas alteraciones se realizaron con el fin de tener diferentes condiciones en la desinfección para ver su efectividad.

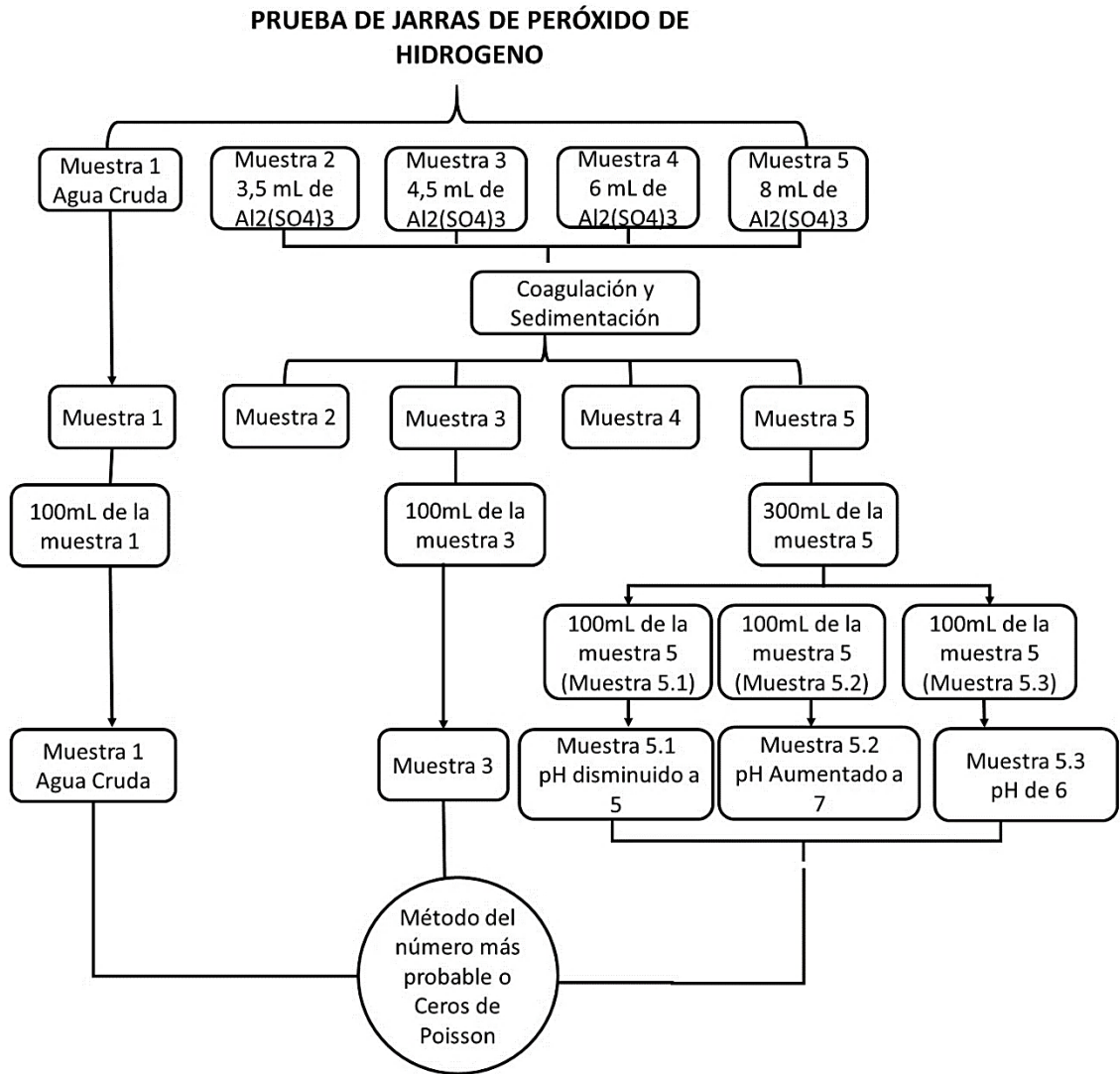
Tabla 8. Características fisicoquímicas y dosis de H₂O₂

Muestras de agua (100 ml)	Turbiedad (NTU)	pH	Temperatura °C	Dosis de (H₂O₂) ml
Muestra 1 de Agua Cruda	188,3	6,5	18	1,0
Muestra 3	73,0	6	18	1,0
Muestra 5.1	1,1	5	18	1,0
Muestra 5.2	1,1	7	18	1,0
Muestra 5.3	1,1	6	18	1,0

Fuente: propia

El procedimiento y los resultados de desinfección por oxidación con peróxido para muestra de agua cruda (véase Anexo 4).

Figura 4. Diagrama de prueba de jarras de peróxido de hidrógeno



Fuente: propia

6.3. MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE COMO TÉCNICA DE DETECCIÓN DE COLIFORMES TOTALES y *ESCHERICHIA COLI* PARA CLORACIÓN Y OXIDACIÓN CON PERÓXIDO

Para la técnica del número más probable la dosis que se escogieron para realizar los diferentes métodos de desinfección fueron de 2 mg/L para cloro y 1 mg/L para peróxido de hidrógeno, estas dosis se agregaron previamente a cada una de las muestras anteriormente seleccionadas (muestra 1 - muestra 3 - muestra 5.1 - muestra 5.2 - muestras 5.3). Se inició con la homogeneización de la solución la cual se realizó en un matraz Erlenmeyer en donde se agregaron 225 ml de agua destilada (diluyente), a este se le agregó 25 ml de la muestra y se agitó durante 3 minutos para que toda la carga bacteriana pasará directamente al diluyente.

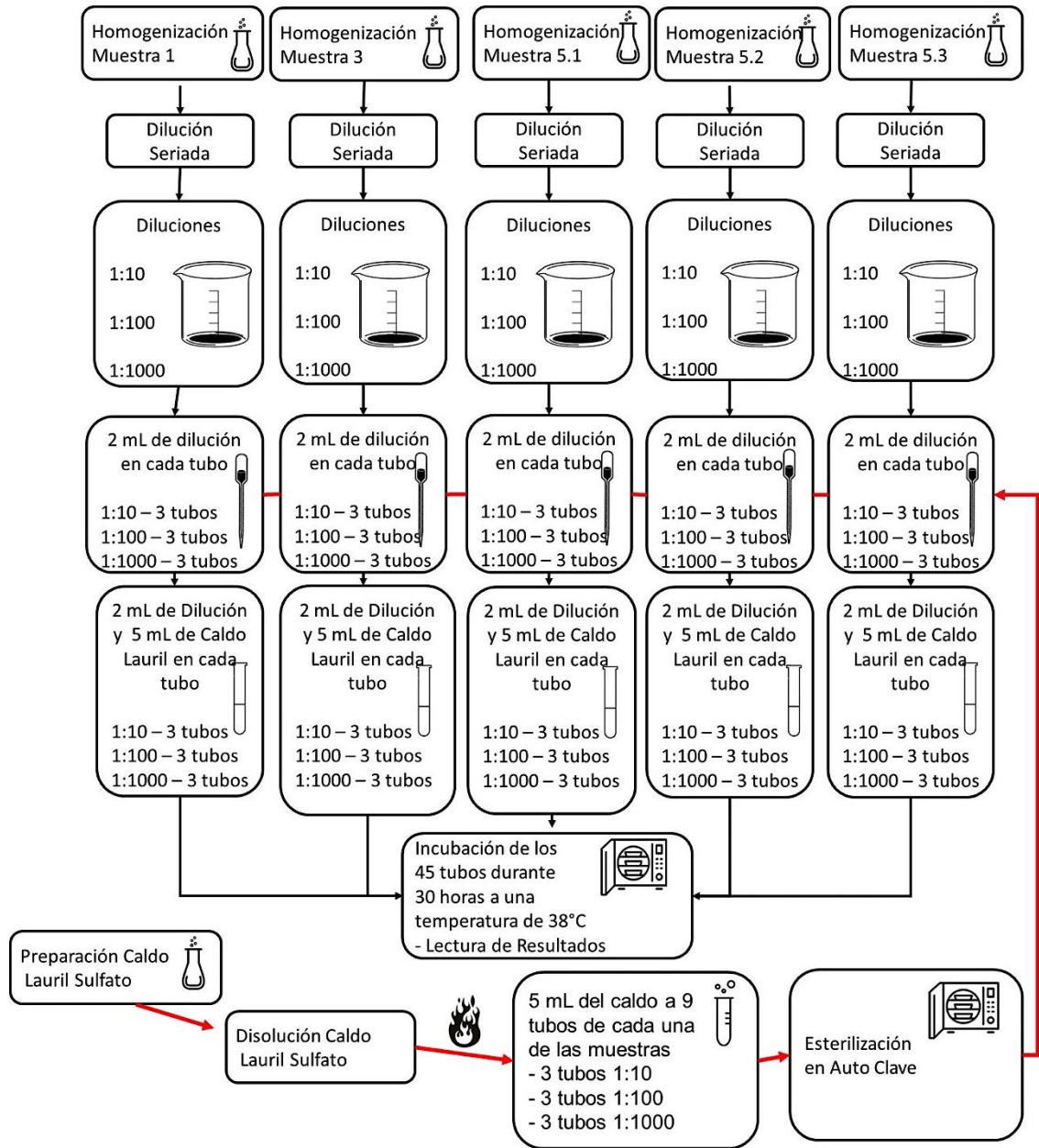
Para llevar a cabo la dilución seriada, se realizaron diferentes mezclas de la solución de acuerdo a una cantidad específica, para esto se traspasaron 10 ml de la solución en una pipeta estéril a un beaker para así obtener la primera dilución la cual es de 1:10, posteriormente para la siguiente dilución se toma otra pipeta estéril y se agita el primer beaker con la dilución 1:10, de esta dilución se traspasó 1 ml al segundo beaker con 9 ml de agua destilada, para así obtener una dilución de 1:100. Por último, se repite el mismo procedimiento en el tercer beaker con 9 ml de agua destilada para así lograr la última dilución de 1:1000.

Una vez terminada la dilución seriada, se procede a realizar la prueba presuntiva. Para esto se prepara el caldo lauril sulfato (MacCONKEY AGAR), del cual se tomaron 51,5 gr los cuales se agregaron a 1 L de agua destilada, luego de esto se llevó la mezcla a punto de ebullición hasta una disolución completa. Una vez completada la disolución se agregaron 5 ml del caldo a 3 tubos de ensayo previamente marcados con la dilución 1:10, otros 3 tubos de ensayo marcados con la dilución 1:100 y otros 3 tubos de ensayo marcados con la dilución 1:1000. Se realizó una esterilización de estos tubos en la autoclave durante 15 minutos en un ciclo a 121°C.

Luego de tener el caldo lauril sulfato en los tubos de ensayo ya esterilizados, se agregaron 2 ml de cada muestra (1 - 3 - 5.1 - 5.2 - 5.3) según las respectivas diluciones (1:10 en 3 tubos, 1:100 en otros 3 tubos y por último la dilución 1:1000 en otros 3 tubos). Por último, se llevaron a incubación durante 30 horas a una temperatura de 38°C y se realizó la lectura y análisis de los resultados, este procedimiento se realizó para cada una de las 5 muestras anteriormente mencionadas y evidenciadas en la figura 5.

Figura 5. Diagrama de método del número más probable

MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE



Fuente: propia

Una vez finalizado el procedimiento y pasadas las 30 horas de incubación de las muestras, se sacaron los tubos y se realizó un análisis de los resultados. Para este caso el método permite dar un número aproximado de bacterias de coliformes totales presentes mediante una regla estadística. Para obtener este resultado se identificaron los tubos que dieron positivos por cada una de las diluciones (1:10 - 1:100 - 1:1000) en cada una de las muestras, estos resultados fueron cruzados con las tablas del número más probable para así obtener un valor presuntivo del número de microorganismos presente. Esta metodología establece que aquellos tubos que fueron inoculados con una o más células microbianas a partir de la muestra y la disolución, se pondrán turbios y con una coloración amarilla, mientras que los tubos que no recibieron ninguna célula permanecerán transparentes.

6.3.1. Resultados del Método del número más probable para la detección de coliformes totales utilizando la dosis óptima de hipoclorito de sodio

Tabla 9. Número más probable por cada 100 ml de agua usando la dosis optima de hipoclorito de sodio

Número de muestra	Dilución 1:10	Dilución 1:100	Dilución 1:1000	Índice NMP/100 ml	Línea de confianza del 95%	
					Límite Inferior	Límite Superior
Muestra 1	3	3	2	1100	150	4800
Muestra 3	2	2	1	28	10	149
Muestra 5.1	1	0	0	4	<0.5	20
Muestra 5.2	3	2	2	210	35	470
Muestra 5.3	2	1	1	20	7	89

Fuente: propia

Tabla 10. NMP por cada 100 ml de agua según distintos parámetros fisicoquímicos usando la dosis óptima de hipoclorito de sodio

Número de muestra	Descripción de la muestra					Índice NMP/100 ml
	Temperatura °C	Turbiedad (NTU)	pH	Dosis de Coagulante (ml)	Dosis de Hipoclorito de sodio (mg/L)	
Muestra 1	19	40,4	6,5	0	0	1100
Muestra 3	19	22,6	6,5	1	2,0	28
Muestra 5.1	19	17,8	5	3	2,0	4
Muestra 5.2	19	17,8	8,5	3	2,0	210
Muestra 5.3	19	17,8	6,5	3	2,0	20

Fuente: propia

En agua la prueba del número más probable es una prueba presuntiva de contaminación por coliformes totales y *Escherichia coli* que comúnmente se encuentra en aguas contaminadas. Analizando un poco los resultados es evidente que las muestras recolectadas en el punto de muestreo estaban contaminadas según los resultados de la muestra 1. También, es claro que las características fisicoquímicas en las cuales se realice la desinfección afectan directamente la presencia y el crecimiento de bacterias. Uno de estos indicadores es el pH el cual entre su valor más se acerque a 6 tendrá una mejor desinfección por el método de cloración, y a su vez una mayor inactivación de bacterias. Este resultado puede deberse a que el valor del pH afecta directamente la reacción del cloro, entre mayor sea el valor del pH la cloración tendrá un efecto de retardo y a su vez disminuirá la eficaz desinfección de la muestra.

Según los resultados obtenidos la desinfección por cloración es efectiva siempre y cuando se realicen antes de la desinfección ciertos cambios en la muestra, entre ellos están: realizar una coagulación y sedimentación adecuados a la muestra, se aplique una dosis óptima de cloro manteniendo los límites de cloro residual, y se tengan en cuenta los parámetros físico químicos adecuados para la inactivación de bacterias. En este caso los parámetros más adecuados para el proceso de cloración se dieron en la muestra 5.1, la cual tuvo un índice de 4 NMP/100 ml en la prueba realizada para la detección de coliformes totales, para esta muestra se tomaron 100 ml del agua coagulada y sedimentada con una dosis de coagulante de 3 ml y se disminuyó el pH a 5 utilizando ácido clorhídrico (HCl). También seguido de este resultado se encuentra la muestra 5.3 la cual tuvo un índice de 20 NMP/100 ml en la prueba realizada para la detección de coliformes totales, en donde se tomaron 100 ml del agua coagulada y sedimentada con una dosis de coagulante de 3 ml y un pH a de 6.5.

El procedimiento y los resultados del método de número más probable para la detección de coliformes totales con hipoclorito de sodio (véase Anexo 5).

6.3.2. Resultados del Método del número más probable para la detección de coliformes totales utilizando la dosis óptima de Peróxido de hidrógeno

Tabla 11. Número más probable de coliformes totales por cada 100 ml de agua usando la dosis optima de peróxido de hidrógeno

Número de muestra	Dilución 1:10	Dilución 1:100	Dilución 1:1000	Índice NMP/100 ml	Línea de confianza del 95%	
					Límite Inferior	Límite Superior
Muestra 1	3	3	1	460	71	2400
Muestra 3	3	2	2	210	35	470
Muestra 5.1	1	0	1	7	1	211
Muestra 5.2	2	2	1	28	10	149
Muestra 5.3	1	1	0	7	1	23

Fuente: propia

Analizando los resultados es evidente que las muestras recolectadas en el punto de muestreo estaban contaminadas según el resultado obtenido en la muestra 1, la cual mostro en primer lugar que las pruebas de presencia-ausencia dieron un color amarillo lo que en inicio dio positivo para la presencia de coliformes totales y en segundo lugar la prueba del número más probable, la cual dio como resultado que 460 es el número más probable de coliformes totales presentes por una unidad de volumen en este caso en 100 ml de agua de la muestra.

Tabla 12. NMP de coliformes totales por cada 100 ml de agua según distintos parámetros fisicoquímicos usando la dosis óptima de peróxido de hidrógeno

Número de muestra	Descripción de la muestra					Índice NMP/100 ml
	Temperatura °C	Turbiedad (NTU)	pH	Dosis de Coagulante (ml)	Dosis de Peróxido de hidrógeno (mg/L)	
Muestra 1	18	188,3	6,5	0	0	460
Muestra 3	18	73,0	6	4,5	1,0	210
Muestra 5.1	18	1,1	5	8	1,0	7
Muestra 5.2	18	1,1	7	8	1,0	28
Muestra 5.3	18	1,1	6	8	1,0	7

Fuente: propia

Es claro que las características fisicoquímicas en las cuales se realice la desinfección afectan directamente en la presencia y el crecimiento de microorganismos. Uno de estos indicadores y en el cual se evidencio que altera más el cambio de los resultados es el pH, que mostro que su valor estándar debe estar entre 5 a 6 para así tener una mejor desinfección por el método de oxidación con peróxido, y a su vez una mayor inactivación de bacterias.

Según los resultados obtenidos la desinfección por oxidación con peróxido es efectiva siempre y cuando se realicen antes ciertos cambios en la muestra, entre ellos están: realizar una coagulación y sedimentación adecuados a la muestra, se aplique una dosis óptima de cloro manteniendo los límites de cloro residual, y se tengan en cuenta los parámetros físico químicos adecuados para la inactivación de bacterias, para luego si realizar la desinfección con peróxido de hidrógeno y reforzar la inactivación de microorganismos. En este caso, los parámetros más adecuados para el proceso de oxidación con peróxido se dieron en la muestra 5.1 y 5.3 las cuales tuvieron un índice de 7 NMP/100 ml en la prueba realizada para la detección de coliformes totales, para estas muestras se tomaron 100 ml del agua coagulada y sedimentada con una dosis de coagulante de 8 ml y se disminuyó el pH a 5 y 6 utilizando ácido clorhídrico (HCl).

El procedimiento y los resultados del método de número más probable para la detección de coliformes totales con peróxido de hidrógeno (véase Anexo 6).

6.4. Elaboración y desarrollo del prototipo para la inactivación de bacterias y virus

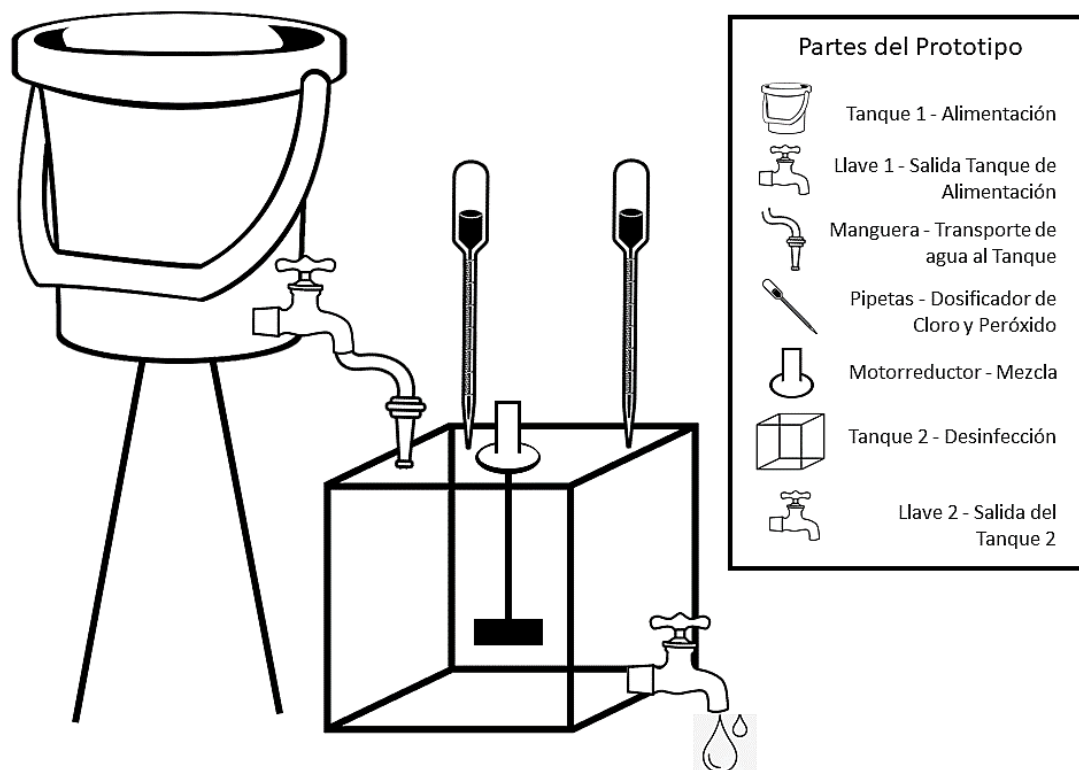
Una vez realizado el análisis de los resultados de acuerdo a los dos métodos empleados para la desinfección y teniendo claras las condiciones más óptimas para realizarla. Se empieza a desarrollar un prototipo cuya finalidad principal es la de una inactivación óptima y eficaz de bacterias y virus en agua.

La realización de este prototipo comienza teniendo en cuenta el caudal y la dosis óptima a desinfectar, este caudal recibe las dosis de cloro y peróxido en un tanque de desinfección el cual fue elaborado en acrílico, esto con el fin de evitar fugas, tener una alta resistencia al proceso de mezcla y a la fuerza ejercida por el peso del caudal. Inicialmente para el transporte del agua al tanque de desinfección, se utilizó un tanque de alimentación con un volumen máximo de 12 L, que, conectado por una manguera al tanque de desinfección, esta permite un fácil transporte del agua al tanque por la fuerza de gravedad. Una vez el agua es transportada al tanque de desinfección, se mide el volumen para establecer la dosificación del hipoclorito de sodio y el peróxido de hidrógeno según este volumen. Una vez calculadas las dosis de los desinfectantes, éstas se agregan por medio de unas pipetas ubicadas en la parte superior del tanque de desinfección. Una vez vertidas las dosis óptimas, se realiza una mezcla. Para esto se utilizó un motor reductor de 200 rpm, al cual se le adaptó una turbina de metal para que la mezcla sea aún más efectiva. Por último, para la extracción del agua desinfectada se instaló una llave en la parte inferior del tanque de desinfección.

6.4.1. Partes del Prototipo de desinfección

- a.** Tanque 1 de alimentación con una capacidad máxima de 12 litros de agua cruda
- b.** Tanque 2 de desinfección con capacidad máxima de 10 litros de agua y mínima de 4 litros de agua
- c.** Salida del tanque 1 de alimentación de agua cruda hacia el tanque 2 de desinfección
- d.** Bureta 1 con hipoclorito de sodio
- e.** Bureta 2 con peróxido de hidrógeno
- f.** Frasco 1 con hipoclorito de sodio
- g.** Frasco 2 con peróxido de hidrógeno
- h.** Motor conectado a la corriente y con encendido y apagado
- i.** Salida del tanque 2 de desinfección de agua desinfectada

Figura 6. Diseño del prototipo de desinfección



Fuente: propia

6.4.2. Proceso de uso del prototipo para una correcta desinfección

1. Para comenzar se da apertura a la salida del tanque 1 – alimentación del agua cruda para posteriormente llenar el tanque 2 – desinfección.
2. Luego se llena el tanque 2 – desinfección hasta llegar a una capacidad máxima de 10 litros de agua.
3. Para iniciar el funcionamiento se enciende el motor y de esta forma se hacen correr las aspas.
4. Se ingresa el hipoclorito de sodio del frasco 1 a la bureta 1 hasta llegar a la dosis óptima.
5. Se ingresa el peróxido de hidrógeno del frasco 2 a la bureta 2 hasta llegar a la dosis óptima.
6. Para iniciar con la dosificación se da apertura del goteo en la bureta 1 y consecutivamente en la bureta 2 hasta completar la dosis deseada.
7. Luego de un tiempo de contacto se da apagado al motor para detener las aspas.
8. Finalmente se da apertura a la salida del tanque 2 – desinfección para así obtener la muestra de agua desinfectada.

Figura 7. Prototipo de desinfección instalado



Fuente: propia

Partes y funcionamiento del prototipo de desinfección de virus y bacterias (véase Anexo 7).

6.5. Validación con prueba de colifagos somáticos

Se realizó una prueba de validación de colifagos somáticos cumpliendo los requerimientos de papeleo y condiciones de la muestra establecidos por los laboratorios de la Universidad Javeriana para el seguimiento de la misma. Esta muestra se captó del punto de muestreo en el puente de la virgen anteriormente mencionado, seguido de esto se llevó a cabo el correspondiente tratamiento con los dos métodos de desinfección propuestos: oxidación con peróxido de hidrogeno y cloración, luego de esto se realiza la correspondiente toma de la muestra tratada directamente de la salida del tanque 2 de desinfección, la cual tuvo un volumen de 2 L y cumplió con todos los estándares exigidos en la cadena de custodia.

La presencia de colifagos somáticos se asocia con un riesgo potencial para la salud pública, debido a que se utiliza como indicador de contaminación fecal y fue usado para verificar la eficiencia del proceso de potabilización.

La validación con prueba de colifagos somáticos funciona como un indicador de eficiencia de inactivación de virus y bacterias en la muestra tratada y de esta misma forma la efectividad de los métodos de desinfección utilizados. El resultado de la prueba de validación fue de <1 UFP/1L (unidad formadora de placa por litro de solución), lo cual quiere decir que no se encontró presencia de colifagos en la muestra analizada y corrobora que el uso de estos tratamientos y del prototipo garantizan una alta eficiencia ($\geq 99\%$).

Tratamiento final y resultado de la prueba de validación con colifagos somáticos (véase Anexo 8).

Figura 8. Captación de la muestra tratada con rotulo



Fuente: propia

7. IMPACTO SOCIAL Y HUMANÍSTICO DEL PROYECTO

El agua es uno de los recursos más indispensables para la vida, esta abarca un gran porcentaje de la superficie de la tierra, lo que la convierte en un medio de transporte de diferentes organismos y microorganismos. A lo largo del tiempo la presencia de algunos virus y bacterias en el agua representa un factor de alto riesgo para la salud humana, considerando la interacción permanente que tienen las comunidades con el recurso hídrico.

Teniendo en cuenta esto, las instalaciones de potabilización y tratamiento de aguas residuales deben garantizar condiciones de calidad en el agua tratada que será distribuida para consumo humano o vertida en cuerpos de agua o sistemas de alcantarillado para evitar problemas directos de salud o efectos ambientales negativos. Puesto que existe una ausencia de medidas de control efectivas para la eliminación de patógenos, es importante definir las condiciones apropiadas para llevar a cabo los procesos de desinfección de forma eficiente en las plantas de tratamiento, reduciendo los índices de morbilidad asociados al consumo de agua y a la exposición a aguas residuales.

Observando la problemática mundial iniciada a finales del 2019 que ha dejado el virus Sars-CoV-2 y que estudios han comprobado que este puede mantener su viabilidad en ambientes acuáticos y plantas de tratamiento de agua residual. Es fundamental incorporar métodos viables para el correcto tratamiento y potabilización de estas aguas.

Considerando la ausencia de medidas de control efectivas para la eliminación de patógenos, es importante definir las condiciones apropiadas para llevar a cabo los procesos de desinfección de forma eficiente en las plantas de tratamiento, reduciendo los índices de morbilidad asociados al consumo de agua y a la exposición a aguas residuales.

Por lo anterior, este proyecto desarrolló un prototipo para la eficiente inactivación de bacterias y virus en muestras de agua cruda superficial, esto con el fin de aportar información acerca de tratamientos de desinfección que garanticen una alta eficiencia y promuevan la prevención de agentes patógenos para reducir los riesgos asociados hacia la salud humana. De esta forma, se pretende reducir el nivel al que puede estar expuesta la población, y a su vez evitar el alto costo económico que conlleva tratar una población infectada por un agente patógeno.

Teniendo en cuenta los estudios previamente realizados, es importante aportar información acerca de tratamientos de desinfección que garanticen una alta eficiencia y promuevan la prevención de agentes patógenos. Este prototipo cuenta con las condiciones idóneas para la inactivación de patógenos. Su Implementación en las PTAR podrá beneficiar a todas aquellas personas que hacen uso del agua potabilizada en una planta, evitando futuras enfermedades causadas por el consumo de esta y salvaguardando la salud de las personas.

8. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos por medio de los métodos empleados en este proyecto como lo fue la desinfección por cloración y oxidación con peróxido, se concluye que es posible fusionar estos dos métodos para obtener una mayor inactivación de bacterias y virus. Claramente se deben realizar antes de la desinfección ciertos cambios en las muestras, entre ellos están: realizar una coagulación y sedimentación adecuados a la muestra y se tengan en cuenta los parámetros fisicoquímicos apropiado para la inactivación de bacterias y virus.

Aunque existen diferentes características fisicoquímicas en el agua, el pH y la turbiedad son uno de los factores que más afectan la desinfección, esto se debe a que el valor del pH altera directamente la reacción del cloro, por lo cual entre mayor sea el valor del pH la cloración tendrá un efecto de retardo. Por otro lado, una turbidez elevada puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, por eso es importante realizar los cambios necesarios en el pH y en la turbiedad.

El método del número más probable, aunque se realiza por medio de una prueba presuntiva permitió la cuantificación de bacterias en las muestras de agua. Como resultado mostro que entre los dos métodos de desinfección el más efectivo es el de cloración con un resultado de 4 NMP/100 ml a diferencia de la oxidación con peróxido el cual dio 7 NMP/100 ml. Estos resultados son de las pruebas con las características fisicoquímicas más apropiadas para una desinfección.

El prototipo de desinfección el cual fue diseñado para ser usado e implementado en las instalaciones del laboratorio de aguas de la Universidad Santo Tomás, demostró un buen funcionamiento el cual se corrobora por medio de la prueba de colifagos somáticos en los laboratorios de la Universidad Javeriana el cual tuvo un resultado de <1 UFP/1L.

Se dio cumplimiento a los objetivos propuestos, realizando y comprobando el funcionamiento del prototipo como método de desinfección óptimo en la inactivación de virus y bacterias en agua cruda superficial, mostrando como resultado una alta eficiencia ($\geq 99\%$).

9. RECOMENDACIONES

En este estudio se empleó el método del número más probable el cual es una prueba presuntiva para cuantificar la contaminación por *Escherichia coli*, se recomienda escoger un método más adecuado y preciso para la detección y cuantificación de bacterias y virus como puede los métodos filtrantes por membrana.

Es importante en el caso que desee usar el método NMP tener en cuenta las medidas de seguridad que eviten tener una contaminación cruzada por parte de otra bacteria o virus ajeno al trabajo, para esto se deben realizar una esterilización de los equipos y herramientas de uso, además de tener una desinfección constante en el área de trabajo.

Luego de captación en el punto de muestro y el análisis fisicoquímico del agua, si se considera necesario para tener una óptima desinfección se deberán cambiar características del agua.

Se recomienda contar con los elementos de protección y bioseguridad pertinentes para trabajar en los laboratorios debido a las contingencias sanitarias y a la manipulación del agua.

Al momento de realizar la prueba de laboratorio para colifagos somáticos se recomienda cumplir con todos los protocolos y el papeleo exigido por la universidad javeriana o correspondientes a el laboratorio externo en el caso de ser así, de esta misma forma es imperativo que la cadena de custodia sea cumplida según las indicaciones establecidas, lo anterior permitirá obtener un resultado acertado a las condiciones de la muestra.

10. REFERENCIAS

- Lodder, W. y de Roda Husman, AM (2020). SARS-CoV-2 en aguas residuales: riesgo potencial para la salud, pero también fuente de datos. *La Lanceta. Gastroenterología y hepatología*, 5 (6), 533–534. [https://doi.org/10.1016/S2468-1253\(20\)30087-X](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(20)30087-X)
- Peláez D, Guzmán BL, Rodríguez J, Acero F, Nava G. Presencia de virus entéricos en muestras de agua para el consumo humano en Colombia: desafíos de los sistemas de abastecimiento. *biomedica* [Internet]. 1 de agosto de 2016 [citado 9 de febrero de 2021];36(Sup2):169-78. Disponible en: <https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/2987>
- Ahmed, W., Angel, N., Edson, J., Bibby, K., Bivins, A., O'Brien, J. W., . . . Mueller, J. F. (2020). First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. *Science of the Total Environment*, 728, 138764. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138764>
- Wurtzer, S., Marechal, V., Mouchel, J. M., Maday, Y., Teyssou, R., Richard, E., . . . Moulin, L. (2020). Evaluation of lockdown impact on SARS-CoV-2 dynamics through viral genome quantification in Paris wastewaters. doi:10.1101/2020.04.12.20062679
- Medema, G., Heijnen, L., Elsinga, G., Italiaander, R., & Brouwer, A. (2020). Presence of SARS-coronavirus-2 RNA in sewage and correlation with reported COVID-19 prevalence in the early stage of the epidemic in the Netherlands. *Environmental Science & Technology Letters*, , acs.estlett.0c00357. doi:10.1021/acs.estlett.0c00357
- Randazzo, W., Cuevas-Ferrando, E., Sanjuán, R., Domingo-Calap, P., & Sánchez, G. (2020). Metropolitan wastewater analysis for COVID-19 epidemiological surveillance. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 230, 113621. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113621>
- Randazzo, W., Truchado, P., Cuevas-Ferrando, E., Simón, P., Allende, A., & Sánchez, G. (2020). SARS-CoV-2 RNA in wastewater anticipated COVID-19 occurrence in a low prevalence area. *Water Research*, 181, 115942. doi:10.1016/j.watres.2020.115942

- Wu, F. Q., Xiao, A., Zhang, J. B., Gu, X. Q., Lee, W. L., Kauffman, K., . . . Alm, E. J. (2020). SARS-CoV-2 titers in wastewater are higher than expected from clinically confirmed cases. *medRxiv*, , 2020.04.05.20051540. doi:10.1101/2020.04.05.20051540
- Hart, O. E., & Halden, R. U. (2020). Computational analysis of SARS-CoV-2/COVID-19 surveillance by wastewater-based epidemiology locally and globally: Feasibility, economy, opportunities and challenges. *Science of the Total Environment*, 730, 138875. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138875>
- Peláez D, Guzmán BL, Rodríguez J, Acero F, Nava G. Presencia de virus entéricos en muestras de agua para el consumo humano en Colombia: desafíos de los sistemas de abastecimiento. *biomedica* [Internet]. 1 de agosto de 2016 [citado 9 de febrero de 2021];36(Sup2):169-78. Disponible en: <https://revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/2987>
- Naddeo, V., & Liu, H. (2020). Editorial perspectives: 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2): What is its fate in urban water cycle and how can the water research community respond? *Environmental Science Water Research & Technology*, 6(5), 1213-1216. doi:10.1039/d0ew90015j
- González, M. I. (2012). Enfoque actual sobre la calidad microbiológica del agua de hemodiálisis. *Revista Cubana De Salud Pública*, 38(3), 451-462.
- González GMI. Enfoque actual sobre la calidad microbiológica del agua de hemodiálisis. *Revista Cubana de Salud Pública*. 2012;38(3):.
- Instituto de Hidrología, Meteorología,y Estudios Ambientales, & Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial - República de Colombia. (2007). Determinación de Escherichia Coli y coliformes totales en agua por el método de filtración por membrana en agar chromocult. (). Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/14691/38155/Coliformes+totales+y+E.+coli+en+Agua+Filtraci%C3%B3n+por+Membrana.pdf/5414795c-370e-48ef-9818-ec54a0f01174>
- INSTITUTO DE ECOLOGÍA "INECOL" MEXICO. (2020). (D. S. Alarcón, Productor) Obtenido de <https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2013-06-05-10-34-10/17-ciencia-hoy/436-que-son-los-virus-y-como-funcionan>: <https://www.inecol.mx/inecol>

Fong, T. T., & Lipp, E. K. (2005). Enteric viruses of humans and animals in aquatic environments: Health risks, detection, and potential water quality assessment tools. *Microbiology and Molecular Biology Reviews* : MMBR, 69(2), 357-371. doi:69/2/357 [pii]

Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente "PAISES BAJOS". (24 de 03 de 2020). Nuevo coronavirus encontrado en aguas residuales. Obtenido de <https://www.rivm.nl/en/news/novel-coronavirus-found-in-wastewater>: <https://www.rivm.nl/>

Lehmann, C. U., Séroussi, B., & Jaulent, M. C. (2014). Big³. editorial. *Yearbook of Medical Informatics*, 9(1), 6-7. doi:10.15265/IY-2014-0030 [doi]

Hoyos Serrano, Maddelaine y Gutierrez Choque, Lenny N.. Esterilizacion, desinfeccion, antisepticos y desinfectantes. *Rev. Act. Clin. Med* [online]. 2014, vol.49 pp. 2635-2640 . Disponible en: <http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2304-37682014001000010&lng=es&nrm=iso>. ISSN 2304-3768.

Gonzalez Diaz, C. (2004). La desinfección y el almacenamiento domiciliario del agua: Intervención fundamental de la salud pública Biblioteca Virtual de Vigilancia en Salud. Recuperado de <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/vigilancia/rtv0404.pdf>

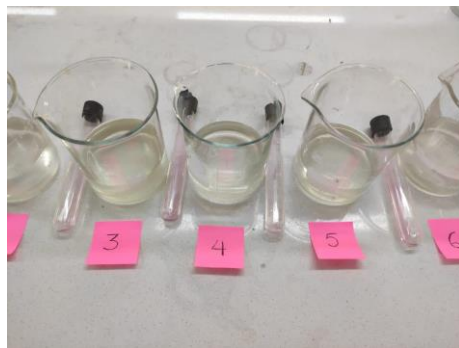
Resolución 2115 (2007). MINISTERIO DE LA PROTECCIÓN SOCIAL
MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL.

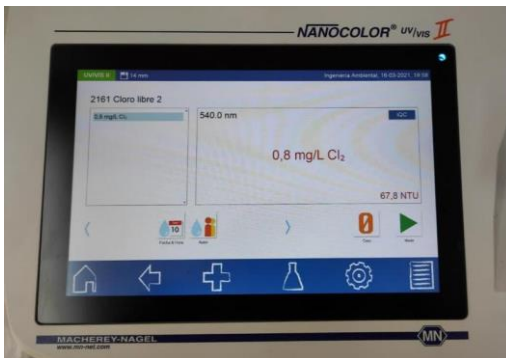
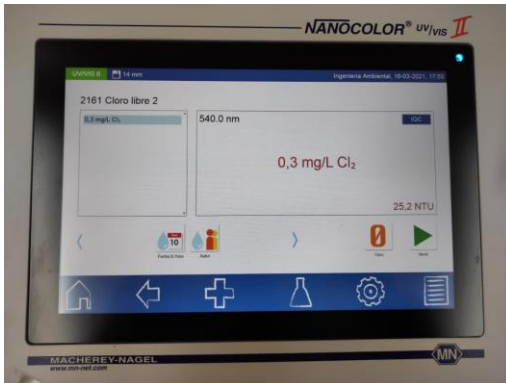
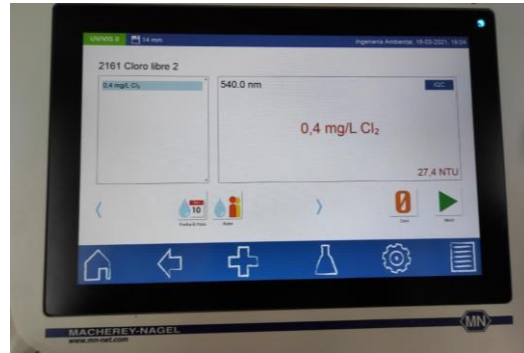
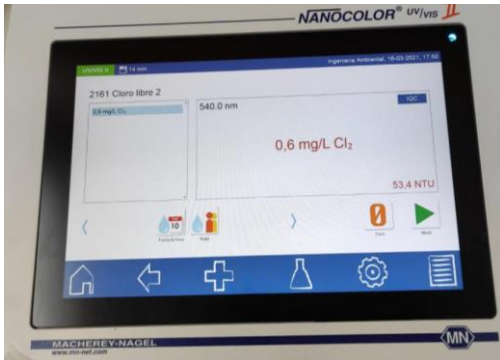
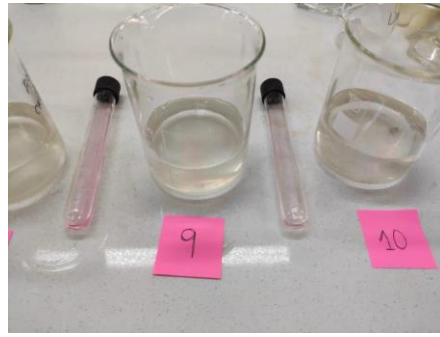
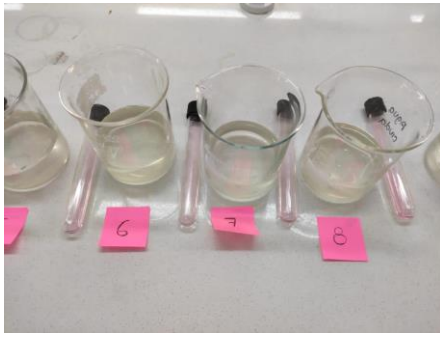
Asociación de Esterilización del Uruguay. (2018). Peróxido de hidrógeno acelerado. (eMedical) Obtenido de <http://www.aestu.org.uy:> <http://www.aestu.org.uy/publicaciones/archivos-3-10-18/uruhigiene/Peroxido%20de%20hidrógenohidrógeno%20acelerado%20Romina%202018.pdf>

Oscar Efrén Ospina Zúñiga, F. J. (26 de Dic de 2018). *Universidad de Caldas*. Obtenido de http://vip.ucaldas.edu.co/lunazul/downloads/Lunazul47_7.pdf

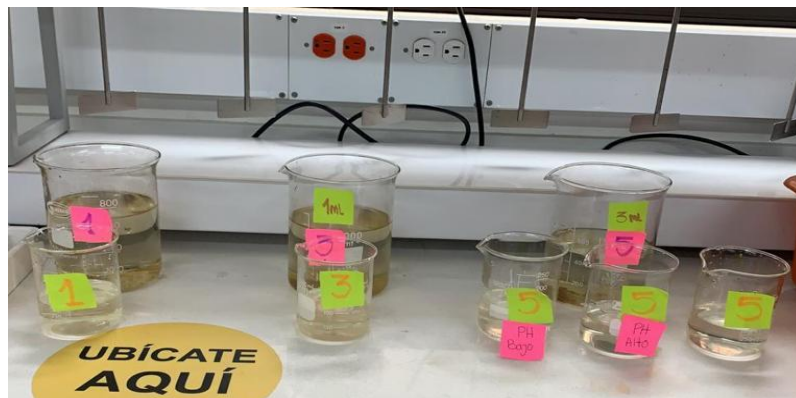
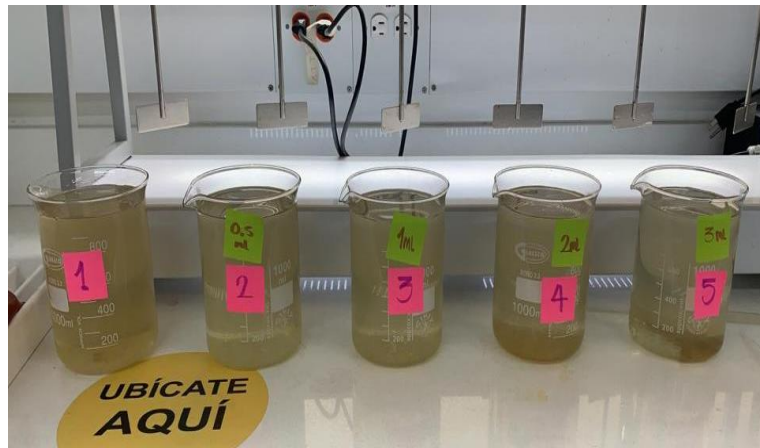
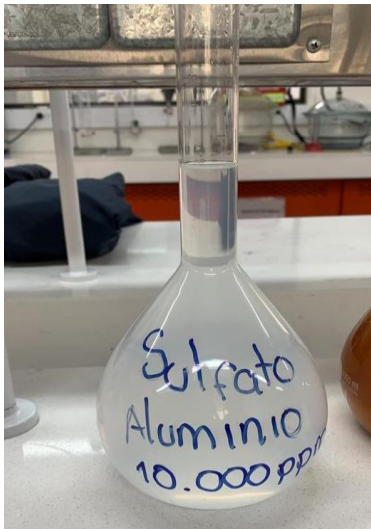
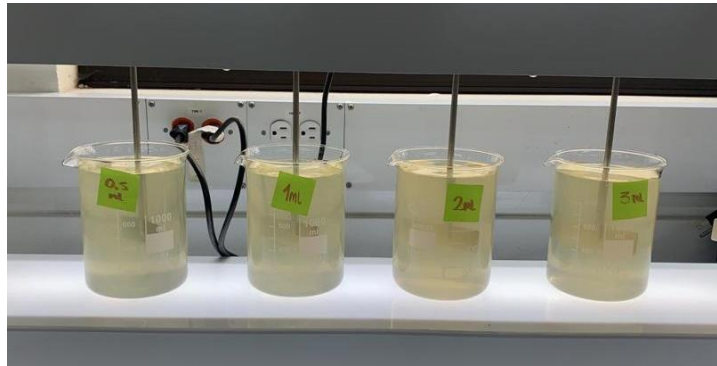
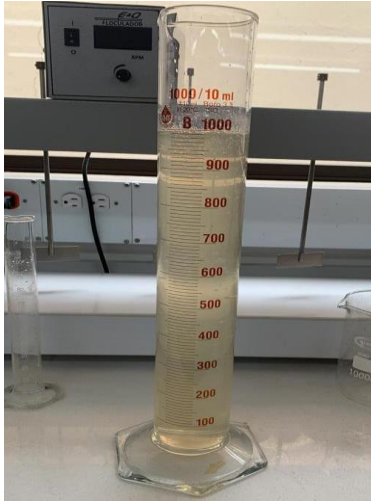
ANEXOS

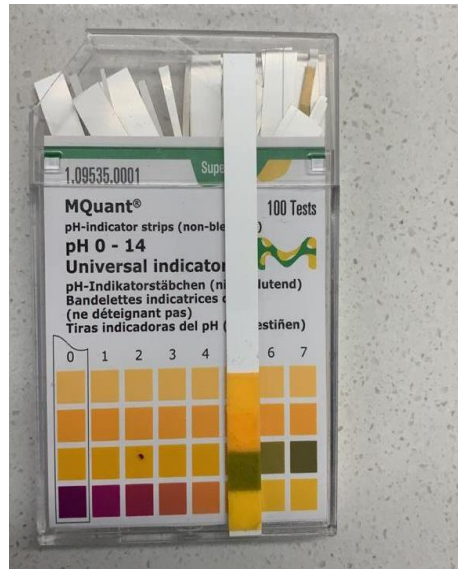
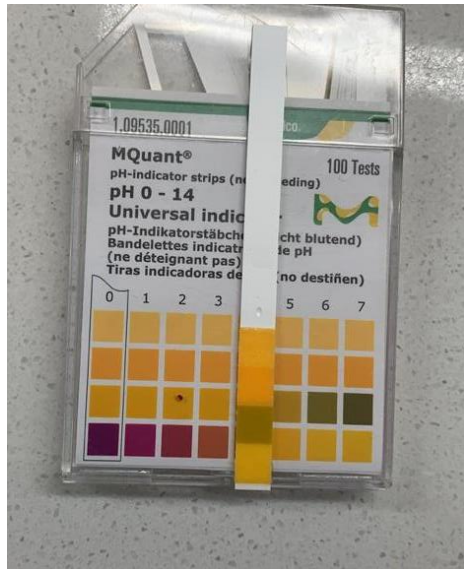
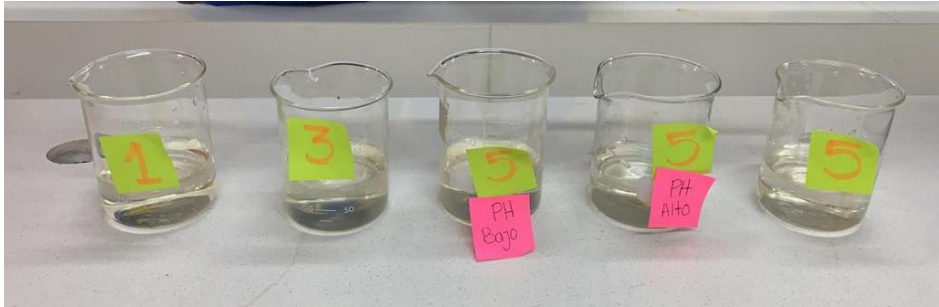
ANEXO 1. ENSAYO DE IDENTIFICACIÓN PARA LA DOSIS OPTIMA DE CLORO



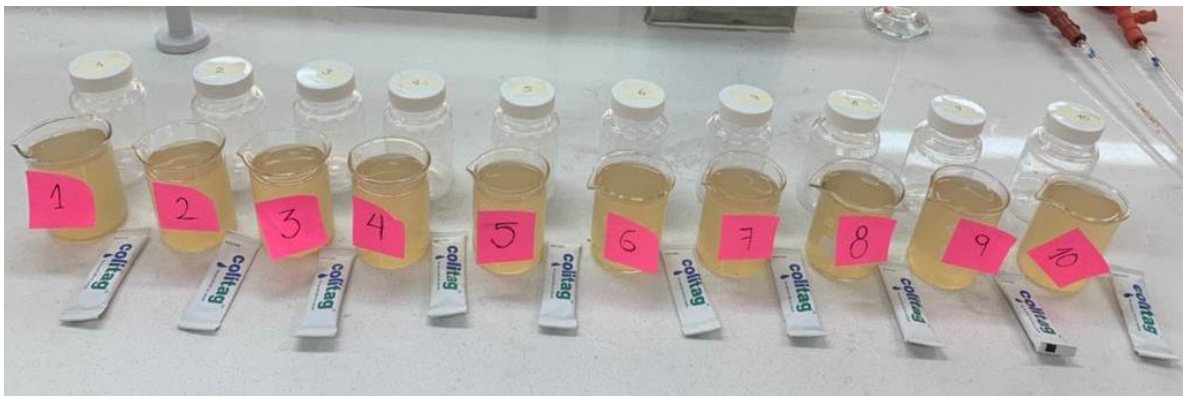
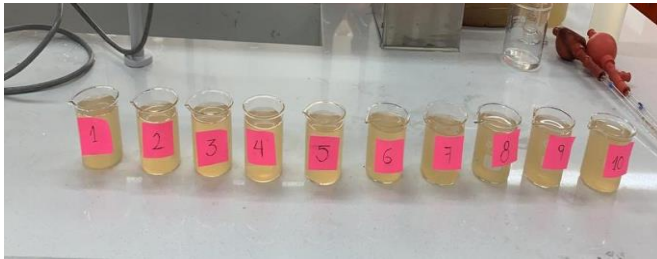


ANEXO 2. DESINFECCIÓN POR CLORACIÓN PARA MUESTRA DE AGUA CRUDA SUPERFICIAL

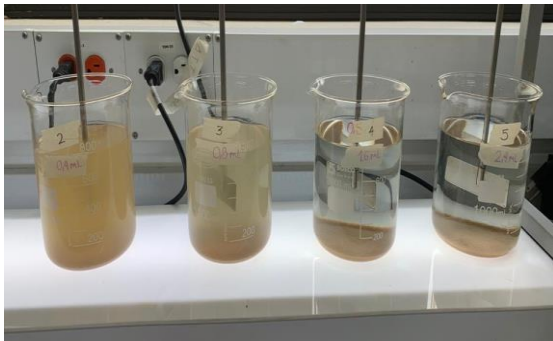
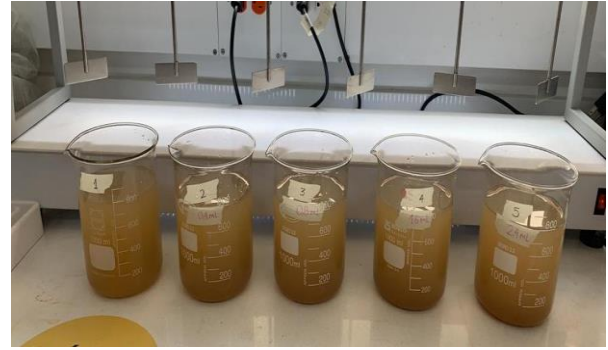
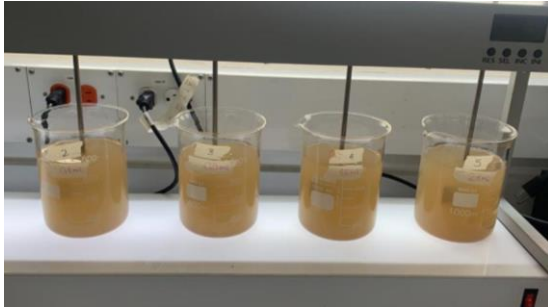




ANEXO 3. ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN PARA LA DOSIS OPTIMA DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

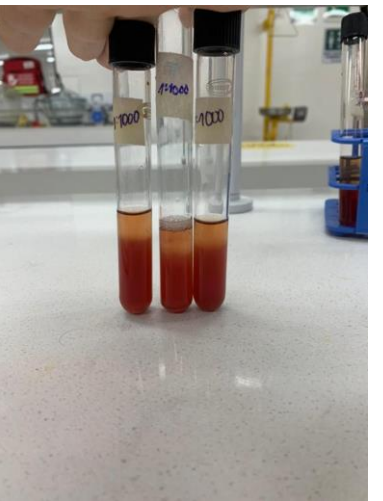
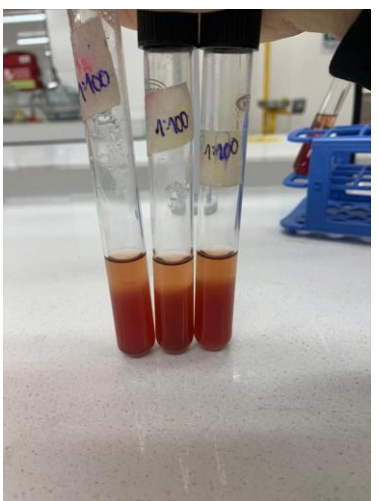
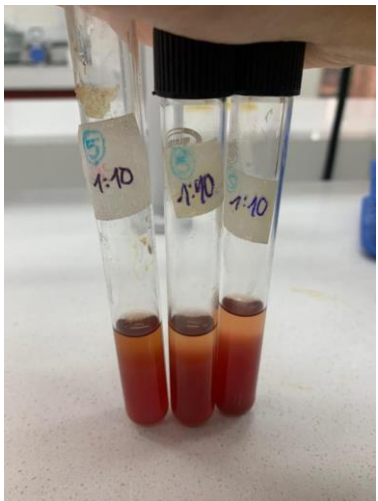
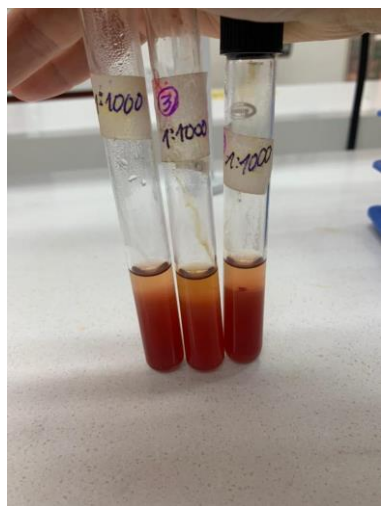
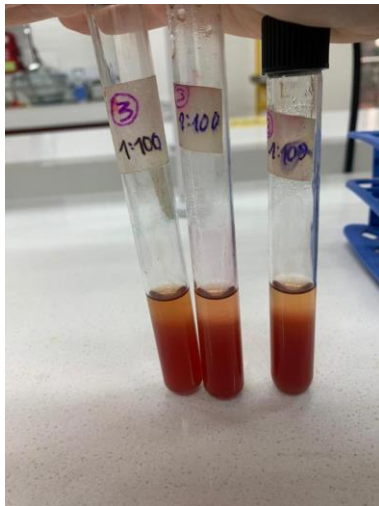
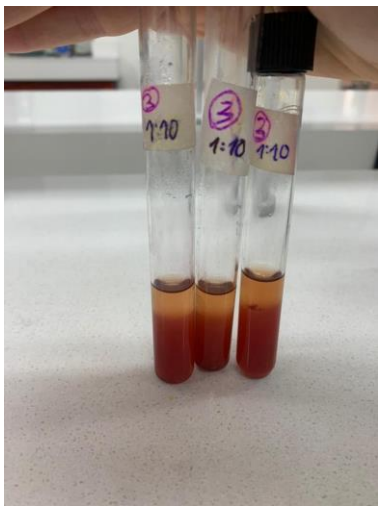
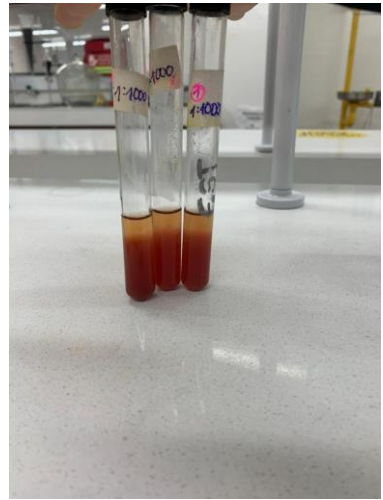
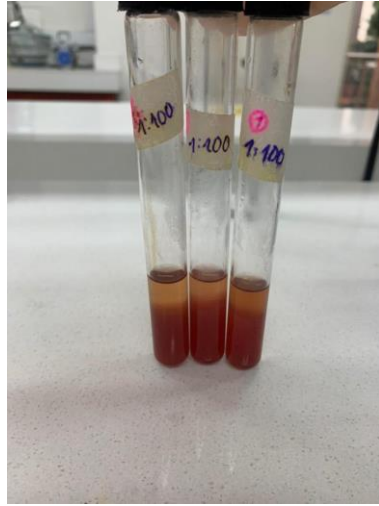
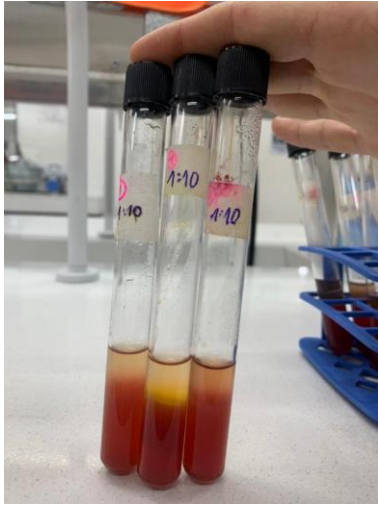


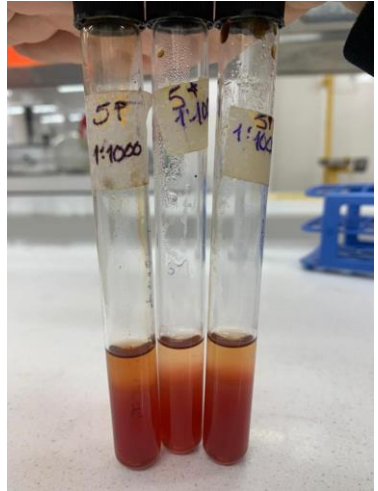
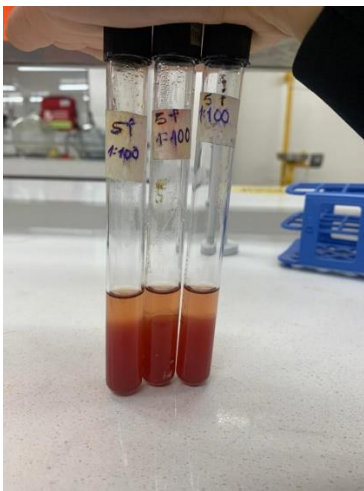
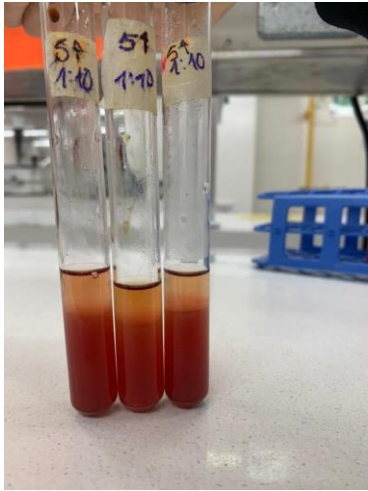
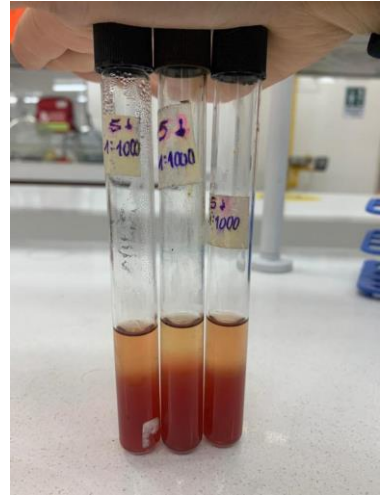
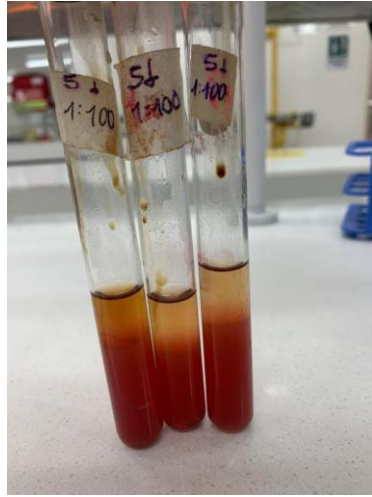
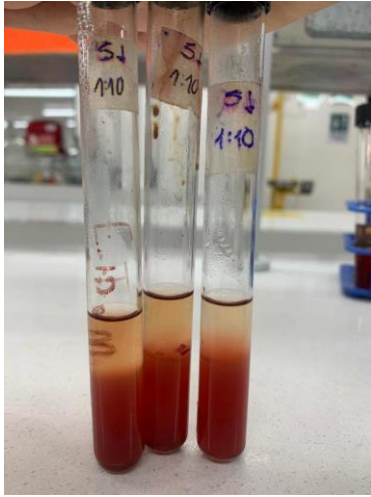
ANEXO 4. DESINFECCIÓN POR OXIDACIÓN CON PERÓXIDO PARA MUESTRA DE AGUA CRUDA



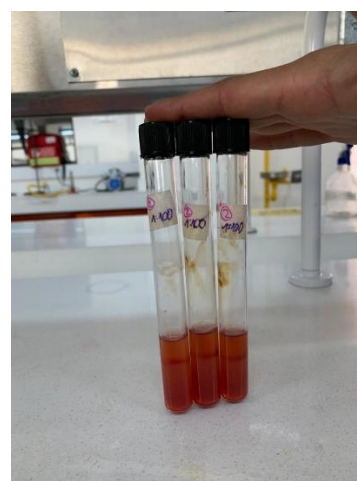
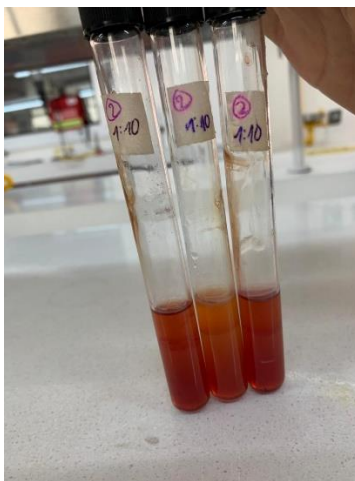
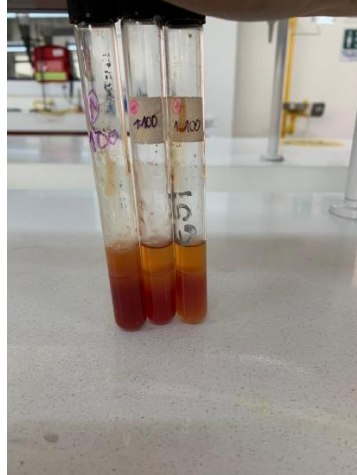
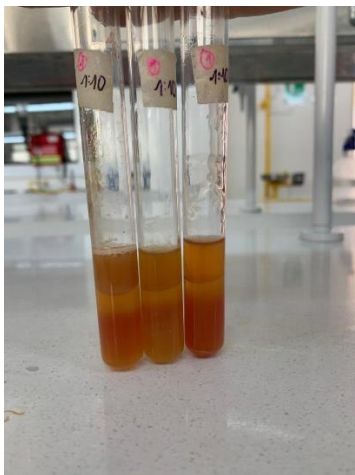
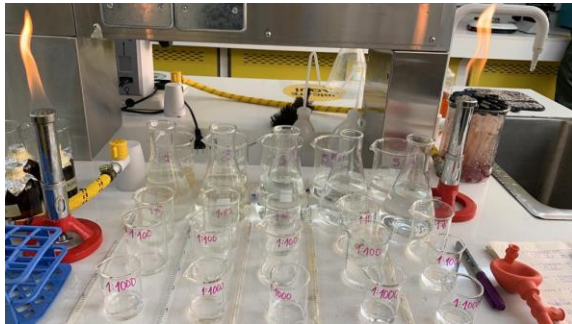
ANEXO 5. RESULTADOS DEL MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE PARA LA DETECCIÓN DE COLIFORMES TOTALES UTILIZANDO DOSIS OPTIMA DE HIPOCLORITO DE SODIO

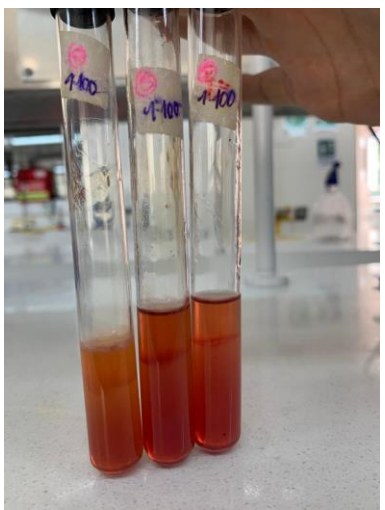
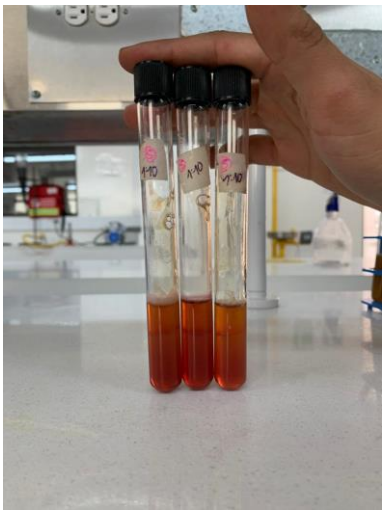
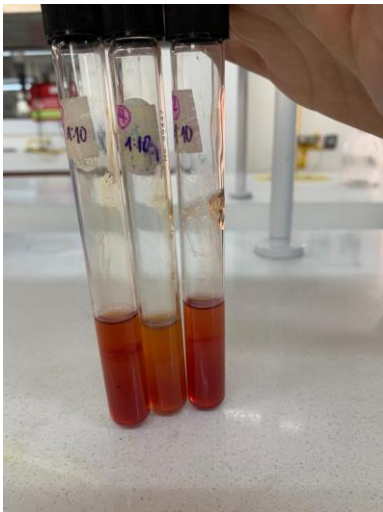
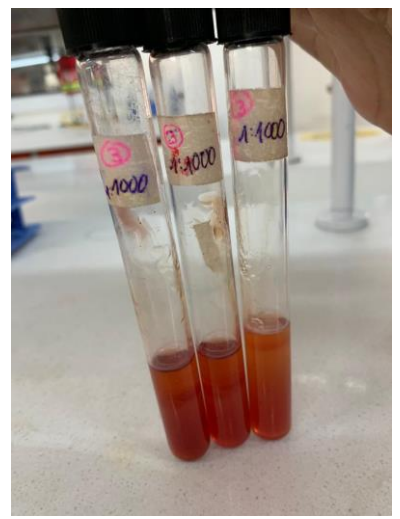
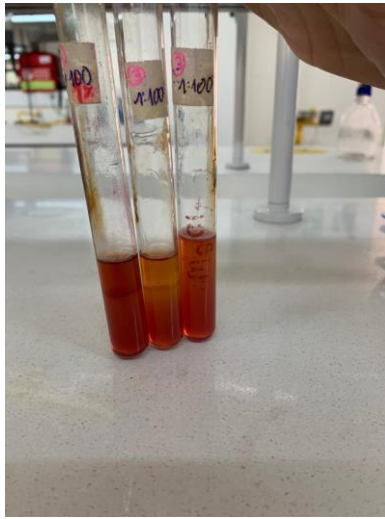
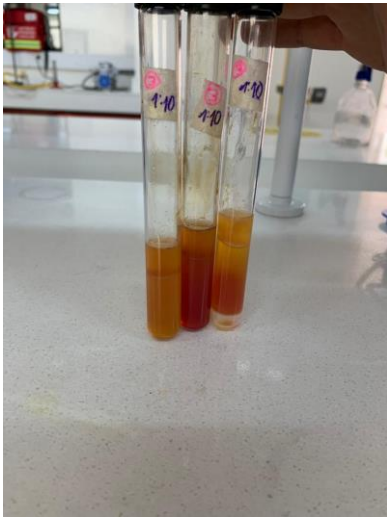






ANEXO 6. RESULTADOS DE MÉTODO DEL NÚMERO MÁS PROBABLE PARA LA DETECCIÓN DE COLIFORMES TOTALES UTILIZANDO LA DOSIS OPTIMA DE PERÓXIDO DE HIDRÓGENO

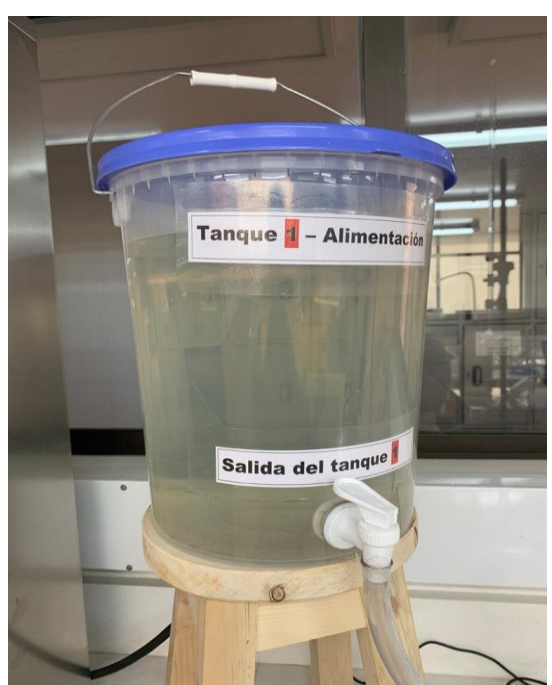
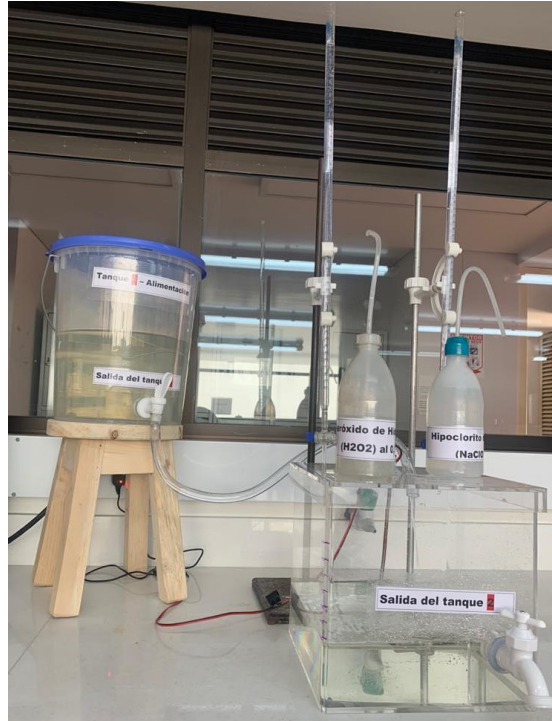


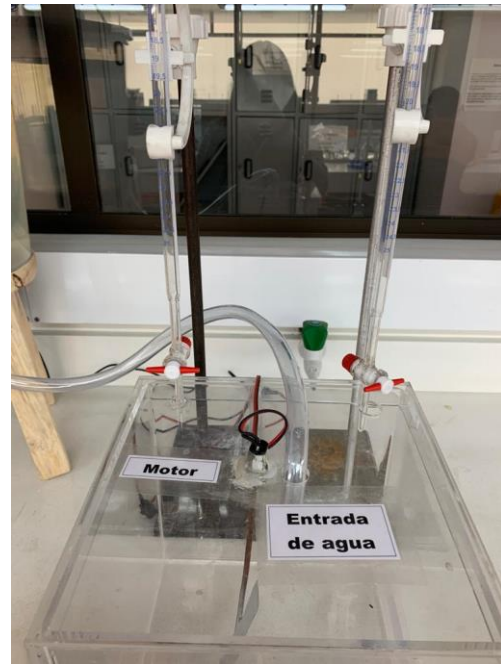


Con los intervalos de confianza del 95 por 100, entre los cuales pueden variar para diversas combinaciones de resultados positivos y negativos

Número de tubos que dan reacción positiva			Índice NMP/100 ml	Línea de confianza del 95 por 100	
3 tubos de 10 ml	3 tubos de 1 ml	3 tubos de 0.1 ml		Límite inferior	Límite superior
0	0	1	3	<0.5	9
0	1	0	3	<0.5	13
1	0	0	4	<0.5	20
1	0	1	7	1	211
1	1	0	7	1	23
1	1	1	11	3	336
1	2	0	11	3	36
2	0	0	9	1	36
2	0	1	14	3	37
2	1	0	15	3	44
2	1	1	20	7	89
2	2	0	21	4	47
2	2	1	28	10	149
3	0	0	23	4	120
3	0	1	39	7	130
3	0	2	64	15	379
3	1	0	43	7	210
3	1	1	75	14	230
3	1	2	120	30	380
3	2	0	93	15	380
3	2	1	150	30	440
3	2	2	210	35	470
3	3	0	240	36	1300
3	3	0	460	71	2400
3	3	2	1100	150	4800

ANEXO 7. PROTOTIPO DE DESINFECCIÓN DE VIRUS Y BACTERIAS





ANEXO 8. TRATAMIENTO FINAL Y RESULTADO DE VALIDACIÓN CON PRUEBA DE COLIFAGOS SOMÁTICOS



INFORME DE RESULTADOS
Laboratorio Calidad Microbiológica de Aguas y Lodos (CMAL)

			Resultado N°
			2679
Nombre del Cliente	NIT/N° Identificación	Dirección	Teléfono
Karen Jakeline Virquez Quevedo	1070926720	Cr 5 #4-57, Cota, Cundinamarca	3177312556

Fecha recepción de la muestra	Fecha ejecución del ensayo		Fecha emisión del resultado	
2021 8 5	2021 8 5	2021 8 5	2021 8 5	2021 8 6

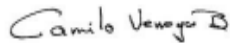
Análisis Solicitado
Detección de Colifagos Somáticos en agua tratada

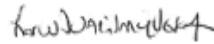
Responsable del muestreo	Tipo de muestra	Lugar de muestreo	Radicado Interno del Cliente	
Karen Jakeline Virquez Quevedo	Agua Tratada	Rio Bogotá	No aplica	
Laboratorio que realizó el análisis	Volumen de la muestra recibida		Condiciones de recepción de la muestra	
Laboratorio Calidad Microbiológica de Aguas y Lodos (CMAL). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia	2 L		Cumple X	No cumple

Método Utilizado
ISO 10705-2 (2000): Water quality. Detection and enumeration of bacteriophages. Part 2: Enumeration of somatic coliphages Méndez, J. Standardised evaluation of the performance of a simple membrane filtration-elution method to concentrate bacteriophages from drinking water. J. Virol. Methods 2004, 117, 19-25.

Resultados
Colifagos Somáticos: <1 UFP/1 L

Controles Internos
Fago de referencia: Øx174 (ATCC 13706-B1)

Informe elaborado por:		
Nombres y Apellidos	Cargo	Firma
Camilo Venegas Barbosa	Profesional I Departamento de Microbiología	

Informe verificado por:		
Nombres y Apellidos	Cargo	Firma
Fidson Juarismy Vesga P	Profesora Asistente Departamento de Microbiología	

Observaciones
La muestra de agua fue tomada a partir del Río Bogotá (4°47' 57" N-74°05' 45"). El 2021-08-05, 10:30 a.m. se trato con Hipoclorito de Sodio (100 mg/L) y Peróxido de hidrogeno (50 mg/L) UFP/1 L: Léase como Unidades Formadores de Placa por litro de solución. El límite de Cuantificación es de <1 UFP/L Cualquier duda o inquietud técnica por favor comunicarse directamente con la Dra. Fidson Vesga al correo electrónico: vesga.f@javeriana.edu.co o al Conmutador: 3208320 Ext: 4156 Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada. <u>El contenido de este informe no debe ser reproducido parcial o totalmente.</u>

----- Fin del -----