

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE OXIDACIÓN AVANZADA PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS EN LA CLÍNICA  
VERSALLES-SEDE PRINCIPAL VALLE DEL CAUCA



ALEJANDRO ANDRES GRISALES CUAICAL

CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO  
Junio de 2023

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE OXIDACIÓN AVANZADA PARA EL  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS EN LA CLÍNICA  
VERSALLES-SEDE PRINCIPAL VALLE DEL CAUCA



ALEJANDRO ANDRES GRISALES CUAICAL

Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario

Director. Esp. ARNOL ARIAS HOYOS

CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
GESTIÓN INTEGRAL DEL RECURSO HÍDRICO  
Junio de 2023

### Nota de aceptación

El director y los jurados del trabajo de grado, modalidad pasantía: **"IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE OXIDACIÓN AVANZADA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS EN LA CLÍNICA VERSALLES-SEDE PRINCIPAL VALLE DEL CAUCA"**, realizado por: **ALEJANDRO ANDRES GRISALES CUAICAL**, una vez revisado el informe final y aprobado la sustentación, autorizan para que se realicen los trámites concernientes para optar el título profesional de **Ingeniera Ambiental y Sanitaria**.



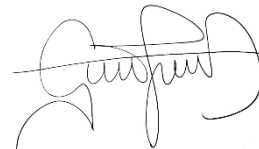
---

Director: Esp. Arnol Arias Hoyos



---

Jurado Mg. Ronald Cerón



---

Jurado Ing. Edwin Sierra

Popayán, 14 de julio de 2023

## DEDICATORIA

*A mi madre Ana Ella Cuaical y padre Luis Alfredo Nieto: gracias por su amor infinito y su apoyo incondicional en cada momento de mi vida.*

## AGRADECIMIENTOS

*Quiero manifestar mi gratitud a las instituciones y personas que con su ayuda permitieron que este trabajo de investigación el cual es un fruto del conocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la energía y fuerza que nos anime a crecer como personas y profesionales.*

*Agradezco a Dios primeramente por darme la vida, salud y ser mi fortaleza en cada momento de mi vida.*

*A mis padres y a mi hermana, ya que gracias a su apoyo incondicional he podido alcanzar mis objetivos personales y académicos, ellos a través de su amor me han incitado perseguir mis metas y no desfallecer ante las adversidades; gracias por brindarme el soporte material y económico para que esta meta se cumpla.*

*Agradezco a la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca por orientarme en la formación tanto académica, personal y profesional, a los directivos por su trabajo y gestión, los cuales instauran bases del conocimiento como pilares en nuestra vida profesional.*

*Agradezco a la empresa Water Treatment Colombia por permitirme desarrollar mi trabajo de grado.*

*Agradezco a mi tutor Arnol Arias por su acompañamiento y orientación en el desarrollo de esta tesis.*

*Por último, agradecer a Jhon Gulloso y Darío Piñeres compañeros y amigos, por brindarme su apoyo moral y humano, imprescindible en los momentos difíciles de este trabajo y profesión.*

## CONTENIDO

RESUMEN .....	11
ABSTRACT .....	12
INTRODUCCIÓN .....	13
Capítulo I: Problema.....	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	14
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	15
1.3. OBJETIVOS .....	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos.....	17
Capítulo II: Marco teórico .....	18
1.4. ANTECEDENTES .....	18
1.5. MARCO NORMATIVO .....	20
1.6. MARCO CONCEPTUAL .....	21
1.6.1. Tipo de aguas residuales.....	21
1.6.2. Aguas residuales hospitalarias .....	21
1.6.3. Aguas residuales domésticas .....	21
1.6.4. Aguas residuales industriales .....	21
1.7. Sistemas de tratamiento para agua residuales .....	22
1.7.1. Tratamiento primario.....	22
1.7.2. Tratamiento secundario .....	22
1.7.3. Tratamiento terciario.....	22
Tabla 1. Propiedades físicas del dióxido de cloro.....	24
Capítulo III: Metodología .....	25
1.8. Fase uno: caracterización de las condiciones actuales de las aguas residuales hospitalarias (ARH) generadas en las instalaciones de la Clínica Versalles-Sede principal .....	25
1.8.1. Muestreo del agua residual hospitalaria .....	25
Tabla 2. Materiales de muestreo.....	25
1.8.2. Procedimiento.....	26

1.8.3. Caracterización del Agua Residual Hospitalaria (So) .....	27
1.8.4. Procedimiento experimental .....	27
Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos evaluados.....	27
1.9. Fase dos: Establecimiento de las condiciones de operación para poner en marcha los sistemas de oxidación avanzada .....	27
1.9.1. Actividad 1: revisión de planos sanitarios .....	28
1.9.2. Actividad 2: revisión de las condiciones eléctricas e hidráulicas para la instalación del sistema de oxidación avanzada .....	29
1.9.3. Actividad 3: instalación y puesta en marcha de los sistemas de oxidación avanzada .....	29
Tabla 4. Ubicación geográfica de los sistemas de oxidación avanzada. ....	32
1.10. Fase tres: evaluación de la eficiencia de remoción de la carga contaminante del sistema de oxidación avanzada.....	32
1.10.1. Actividad 1. Selección de los puntos de muestreo.....	33
1.10.2. Actividad 5: determinación de la eficiencia de remoción del sistema de oxidación avanzada .....	34
Capitulo IV: Resultado y análisis .....	36
1.11. Caracterización del agua residual hospitalaria antes del tratamiento ...	36
Tabla 5. Caracterización del vertimiento antes del tratamiento (So).....	36
1.12. Acondicionamiento de operación para la puesta en marcha de los sistemas de oxidación avanzada .....	37
1.12.1. Descripción y puesta en marcha de los sistemas de oxidación avanzada .....	38
1.13. Evaluación de la eficiencia de remoción de la carga contaminante del sistema de oxidación avanzada .....	42
1.13.1. Caracterización del agua residual hospitalaria después del tratamiento	42
Tabla 6. Caracterización del vertimiento después del tratamiento (S). ....	43
1.13.2. Eficiencia del sistema de dosificación con oxidante líquido (ClO <sub>2</sub> ) ....	44
Tabla 7. Eficiencia del sistema de tratamiento con dióxido de cloro .....	44
1.13.3. Eficiencia del sistema de ozonización .....	45
Tabla 8. Eficiencia del sistema de tratamiento con ozono .....	45
1.13.4. Eficiencia de remoción de los dos sistemas por parámetro monitoreado.....	45

1.14. Costos del tratamiento .....	52
Tabla 9. Tratamientos actuales de aguas residuales y costos de obra civil, instalación y puesta en marcha de los tratamientos.....	53
CONCLUSIONES.....	54
RECOMENDACIONES .....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	56
ANEXOS .....	61



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croquis de la ubicación de las cajas sanitarias N°3 y N°5 y POA (ozonización y dióxido de cloro). Fuente: propia. ....	28
Figura 2. Fotografía durante el muestreo (Clínica Versalles).....	33
Figura 3. Aspecto del ARH recolectada de la caja sanitaria N°3 y N°5, Clínica Versalles, Cali. Fuente: propia. ....	37
Figura 4. Casetas de almacenamiento de los sistemas de oxidación avanzada. Fuente propia. ....	38
Figura 5. Proceso de ozonización para tratamiento de agua residual hospitalaria. Fuente: propia. ....	39
Figura 6. Proceso de dosificación con oxidante líquido ( $\text{ClO}_2$ ) como para tratamiento de agua residual hospitalaria. Fuente: propia.....	41
Figura 7. Eficiencia de remoción de DQO. Fuente: propia.....	46
Figura 8. Eficiencia de remoción de $\text{DBO}_5$ . Fuente: propia.....	47
Carbono orgánico Total (COT) .....	47
Figura 9. Eficiencia de remoción de COT. Fuente: propia. ....	48
Figura 10. Eficiencia de remoción de grasas y aceites. Fuente: propia. ....	49
Fenoles totales (pHOH).....	49
Figura 11. Eficiencia de remoción de fenoles. Fuente: propia. ....	50
Figura 12. Eficiencia de remoción de Sólidos Suspendidos Totales. Fuente: propia. 51	
Sólidos Sedimentables.....	51
.....	52
Figura 13. Eficiencia de remoción de los sólidos sedimentables. Fuente: propia. 52	

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades físicas del dióxido de cloro.....	24
Tabla 2. Materiales de muestreo.....	25
Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos evaluados.....	27
Tabla 4. Ubicación geográfica de los sistemas de oxidación avanzada. ....	32
Tabla 5. Caracterización del vertimiento antes del tratamiento (So).....	36
Tabla 6. Caracterización del vertimiento después del tratamiento (S). ....	43
Tabla 7. Eficiencia del sistema de tratamiento con dióxido de cloro .....	44
Tabla 8. Eficiencia del sistema de tratamiento con ozono .....	45
Tabla 9. Tratamientos actuales de aguas residuales y costos de obra civil, instalación y puesta en marcha de los tratamientos.....	53

## RESUMEN

Una de las problemáticas actuales en el mundo se atribuye a la escasez de agua y la contaminación de la misma, debido a que las aguas residuales de tipo hospitalario, catalogadas fuente importante de riesgo ambiental en gran parte del mundo no son tratadas [1], descargándose directamente a los receptores de agua, impactando de manera directa a los ecosistemas acuático y terrestre. Es por esta razón que las actuales legislaciones ambientales, concernientes al tratamiento de aguas residuales, han obligado a buscar métodos alternativos que puedan remover sustancias como metabolitos y micro contaminantes emergentes presentes en las aguas residuales de origen hospitalario, ante los tratamientos convencionales. Como alternativa, han surgido los procesos de oxidación avanzada (POA's) [2], entre los que sobresale la ozonización gracias a su alto poder oxidante y el dióxido de cloro gracias a su alto poder oxidante biocida.

En el presente trabajo, se ozonizó y dosifico oxidante líquido (dióxido de cloro) en los vertimientos provenientes de la caja sanitaria N°3 y N°5: Clínica Versalles sede principal, ciudad de Cali, Valle del Cauca, utilizando como agente oxidante el ozono y dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ). Los mejores resultados se alcanzaron a una concentración de descarga de 16 g/h de  $\text{O}_3$  y 3,33 L/h de  $\text{ClO}_2$ , al finalizar el proceso de oxidación avanzada (ozonización y dióxido de cloro) se evidenciaron remociones de DQO (75%),  $\text{DBO}_5$  (81%), COT (67%), grasas y aceites (15%), SST (45%), SSED (68%), fenoles totales (22%) y DQO (66%),  $\text{DBO}_5$  (75%), COT (66%), grasas y aceites (51%), SST (-112%), SSED (33%), fenoles totales (33%) respectivamente, evidenciando la alta eficiencia que tienen los procesos de oxidación avanzada en cuestión de remoción como medio de tratamiento de aguas residuales hospitalarias.

Palabras clave: Aguas residuales hospitalarias, procesos de oxidación avanzada, ozono, dióxido de cloro.

## ABSTRACT

One of the current issues in the world is attributed to the scarcity of water and its pollution, as hospital wastewater, classified as an important source of environmental risk in many parts of the world, is not treated. [1] By being discharged directly into water bodies, it directly impacts aquatic and terrestrial ecosystems. This is why current environmental legislations regarding wastewater treatment have compelled the search for alternative methods that can remove substances such as metabolites and emerging micro-pollutants present in hospital wastewater, in addition to conventional treatments. As an alternative, advanced oxidation processes have emerged (AOP's) [2], Among them ozonation stands out due to its high oxidizing power and chlorine dioxide stands out due to its high biocidal oxidizing power.

In this study, liquid oxidant (chlorine dioxide) was ozonated and dosed into the discharges coming from the sanitary box N°3 y N°5: Clinic Versailles, main headquarters, Cali city, Valle del Cauca, Using ozone and chlorine dioxide as oxidizing agents ( $\text{ClO}_2$ ). The best results were achieved at a discharge concentration of 16 g/h de  $\text{O}_3$  y 3,33 L/h de  $\text{ClO}_2$ , Upon completion of the advanced oxidation process (ozonation and chlorine dioxide) removals were evidenced of COD (75%),  $\text{BOD}_5$  (81%), TOC (67%), oil and grease (15%), TSS (45%), SS (68%), total phenols (22%) y COD (66%),  $\text{BOD}_5$  (75%), TOC (66%), oil and grease (51%), TSS (-112%), SS (33%), total phenols (33%) Respectively, demonstrating the high efficiency of advanced oxidation processes in terms of removal as a means of treating hospital wastewater.

Keyword: Hospital wastewater, advanced oxidation processes, ozone, chlorine dioxide.

## INTRODUCCIÓN

La Clínica Versalles (CV). es una sociedad civil fundada el 28 de octubre de 1988, mediante la Circular N°9948 del Juzgado Segundo de Circuito de Cali. Cuenta con una oficina principal y dos oficinas satélites, con el objetivo de brindar servicios de salud. Además, la FUNDACIÓN CLINICA VERSALLES, brinda servicios de salud a personas de escasos recursos, desde su fundación ha ido implementado mejoras sostenibles, en pro de la calidad del medio ambiente y el beneficio de sus pacientes, colaboradores y demás sociedad en general. Implementar estas mejoras ha implicado realizar una reestructuración en sus políticas ajustándose a las nuevas normas, decretos y resoluciones actuales, conforme a lo anterior, esta entidad prestadora del servicio de salud muestra interés en dar tratamiento a sus aguas residuales hospitalarias provenientes de los servicios de atención a la salud de la comunidad vallecaucana manteniendo la sostenibilidad en el aspecto ambiental y de salud.

Las aguas residuales generadas en los hospitales contienen diversos productos químicos y microorganismos patógenos capaces de extender enfermedades altamente complejas entre la población, aumentar la morbilidad y la mortalidad en las comunidades más cercanas a las entidades prestadoras de servicio de la salud [1] así como la devastación en los ecosistemas acuáticos y terrestres debido a que son los receptores de este tipo de aguas residuales. Además, la descarga de este tipo de Aguas Residuales Hospitalarias (ARH) contiene la presencia de varios compuestos orgánicos recalcitrantes y compuestos farmacéuticamente activos [3]. A causa de la naturaleza de los compuestos presentes en las aguas residuales de los hospitales, los procesos convencionales utilizados como sistema de tratamiento en las ciudades y municipios no pueden remover la contaminación que proporciona este tipo de efluentes, en base a lo anterior debemos considerar medidas innovadoras y efectivas que moderen el impacto ambiental, optimizando sistemas de tratamiento existentes proporcionando técnicas viables en base a costos y área.

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en compañía de la empresa Water Treatment Colombia S.A.S, una compañía Valle Caucana, pionera en oxidación de proyectos de producción más limpia, intensificación de sistema de oxidación avanzada para hospitales e industrias y tratamiento de agua para uso industrial. El estudio tiene como objetivo la implementación de un sistema de oxidación avanzada encargado de mejorar la calidad de los vertimientos de origen hospitalario, en la Clínica Versalles, ciudad de Cali; bajo los lineamientos de la resolución 0631.

Este trabajo investigativo se realizó bajo una metodología experimental, en la cual se realizaron obras de infraestructura, muestreo y técnicas de medición para determinar variables de respuesta en base a eficiencia y remoción de los sistemas de oxidación avanzada.

## Capítulo I: Problema

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las aguas residuales domésticas y hospitalarias provenientes de los centros hospitalarios consumen mucha energía y a su vez producen diferentes tipos de sustancias químicas, contaminantes emergentes y microorganismos patógenos capaces de desplegar enfermedades altamente complejas sobre la población más cercana a estos establecimientos, a esto se le suma las graves afectaciones sobre los ecosistemas acuático y terrestre, impactando en el medio ambiente [4]

En la Resolución Colombiana de vertimientos 0631 [5], estas aguas están clasificadas como aguas residuales domésticas, por lo tanto, la carga contaminante que contiene no se monitorea ni controla adecuadamente. En la mayoría de las ciudades de Colombia, en este caso, la ciudad de Cali, las aguas residuales de los hospitales no se sanean adecuadamente y son vertidas directamente a la red de alcantarillado sin el debido tratamiento, lo que aumenta el riesgo de contaminación de la población. Además, debido a la insuficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), más del 90 % de las aguas residuales de la ciudad de Cali se vierten directamente al río Cauca sin ningún tratamiento, lo que tiene un impacto significativo en la salud pública y los ecosistemas [6]

La caracterización de las aguas residuales hospitalarias en Colombia se contempla como una de las principales fuentes de contaminantes, cabe aclarar que este tema ha sido poco debatido e investigado, por tal motivo se desconoce las afectaciones sobre la salud de la población aledaña a estos centros médicos y a su vez de los ecosistemas acuáticos y terrestres.

En la ciudad de Cali es preocupante el tema de vertimientos ya que se carece de elementos de control y monitoreos de vertimientos hospitalarios generando una problemática preocupante en la temática de manejo de aguas residuales, debido a que la mayoría de centros hospitalarios no cuenta con sistemas de pretratamiento o tratamientos integrales. Según estudios realizados en la ciudad de Cali se sabe que más del 80% de las clínicas y hospitales vierten directamente sus aguas residuales al alcantarillado sin ningún tratamiento [7], agravando la problemática ambiental, es por tal razón que el DAGMA ha decidido mitigar dicha problemática aumentando el control y monitoreo sobre estas aguas residuales generando multas exuberantes a las entidades hospitalarias que incumplan en el Decreto 1076 [8] y Resolución 0631 [9] normatividad colombiana.

En base a lo anterior, la Clínica Versalles en los últimos años ha estado vertiendo sus aguas residuales directamente al alcantarillado, lo cual ha sido una problemática para población aledaña a sus instalaciones y al ecosistema acuático, al tener

presente esta problemática la clínica ha decidido implementar un sistema de tratamiento de oxidación avanzada (ozonización y dióxido de cloro).

Los sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales hospitalarias, son tratamientos poco eficientes en la remoción de aguas residuales hospitalarias pero dependientes del aporte de energía eléctrica a gran escala y altos costos de construcción y mantenimiento [10], mientras que un proceso de oxidación avanzada utiliza menos energía y su área de construcción se reduce a un área de 2 m<sup>2</sup>, reduciendo los costos de mantenimiento y compensando la necesidad de más superficie para su infraestructura o construcción, de esta manera este tipo de sistemas de oxidación avanzada (POA's) además de ocupar poco espacio también facilitan la remoción de la materia orgánica en un lazo de tiempo corto [11].

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

En los últimos años en la ciudad de Cali el vertimiento de estas aguas residuales provenientes de centros hospitalarios se han descargado directamente a las redes de alcantarillado [12], sin ningún tratamiento previo, que minimice la carga orgánica que conllevan este tipo de aguas residuales, generando la exposición de enfermedades altamente complejas a la sociedad cercana a este tipo de establecimientos y a su vez afectan a los ecosistemas acuático y terrestre. La Clínica Versalles no ha sido ajena a esta problemática ya que ha venido vertiendo sus aguas residuales hospitalarias (ARH) sin ningún tratamiento a la red de alcantarillado siendo participe de realizar un impacto al ecosistema acuático de esta región.

La ciudad de Cali siendo uno de los principales centros económicos e industriales de Colombia contempla un impacto solido frente al ecosistema acuático, terrestre y social debido a que se están vertiendo todo tipo de aguas residuales al rio Cauca, sin que se controlen o monitoreen, agravando la afectación a la población que se abastece de este rio.

El presente trabajo de grado es viable ya que se cuenta con todos los recursos económicos, humanos y fuentes de información, necesarios para llevarlo a cabo.

Los principales beneficiarios al momento de implementar este proceso de oxidación avanzada (ozonización y dióxido de cloro) han demostrado que este tipo de tratamientos terciarios resultan ser eficaces para la oxidación de un gran número de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos [12]; de esta manera la institución privada prestadora del servicio de salud, Clínica Versalles, la sociedad de la región y el medio ambiente, en base a la Ley 1333 del 2009 y la Resolución 0631 del 2015 las cuales regulan las sanciones ambientales y vertimientos de aguas residuales respectivamente han decidido ser uno de los establecimientos que se dediquen a

reducir sus impactos contra el medio ambiente siendo así una organización ambientalmente sostenible.

Este trabajo de grado promueve la investigación, dado que los resultados pueden ser concluyentes o a su vez estar sujetos a nuevas condiciones de ensayo, efectuando futuras investigaciones como sistemas de oxidación a altas presiones u otros tipos de sistemas de tratamiento más avanzados, los cuales usan metodologías conciliables, de manera que se posibiliten análisis conjuntos, comparaciones entre periodos temporales concretos y evaluaciones de las intervenciones que se estuvieran llevando a cabo.

Desde el ámbito personal, el presente trabajo de grado fortalece la investigación aumentando el acervo del conocimiento el cual podrá ser impartido a futuras generaciones, en el ámbito profesional se abre campo a la experiencia la cual permite tener auto conocimiento que facilite manejar las tecnologías comerciales para la generación de ozono, la cual se fundamentan en la descarga por efecto corona a una corriente seca de gas, y desde el ámbito disciplinario se pretende contribuir a los que se realicen a nivel regional o nacional, en particular en la ciudad de Cali sobre la implementación de un proceso de oxidación avanzada para remover contaminantes mediante un ataque electrofílico directo del ozono molecular y ataque indirecto por radical hidroxilo ( $\text{OH}^\circ$ ) generados a través de las reacciones de descomposición del ozono en el agua [13] y oxidante biocida como el dióxido de cloro, mejorando la calidad de vida de los caleños y contribuyendo a un ambiente sano.



### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Implementar un sistema de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas residuales hospitalarias generadas en las instalaciones de la clínica Versalles-Sede principal Valle del Cauca.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar las condiciones actuales de las aguas residuales hospitalarias generadas en las instalaciones de la Clínica Versalles–Sede principal valle del Cauca.
- Establecer las condiciones de operación para poner en marcha el sistema de oxidación avanzada en la clínica Versalles–Sede principal Valle del Cauca.
- Evaluar la eficiencia de remoción de la carga contaminante del sistema de oxidación avanzada para el tratamiento de aguas residuales hospitalarias en las instalaciones de la Clínica Versalles–Sede principal Valle del Cauca.

## Capítulo II: Marco teórico

### 1.4. ANTECEDENTES

El presente artículo aborda el tratamiento que se aplicó a las aguas residuales generadas en el proceso de remojo de curtiembres, basado en la oxidación con ozono y hierro ferroso, para catalizar la mineralización de materia orgánica (medida como DQO). Las pruebas se ejecutaron en 2 modos: modo discontinuo y modo de tiempo de reacción constante. Para la realización de las pruebas experimentales la muestra de agua residual fue proporcionada por la empresa de curtido de pieles situada en el municipio de Villapinzón, Colombia. Para efectuar este diseño experimental factorial de tipo 32, se tuvo en cuenta el pH inicial del agua residual industrial (4,7 y 10) y la dosis de  $Fe^{2+}$  en el agua; las variables de respuesta fueron los porcentajes de remoción de turbiedad y DQO. Los resultados obtenidos afirman que la máxima remoción de turbiedad se alcanza a pH alcalino y para el caso de DQO, la mayor remoción fue 92,13% y se logra a pH 10, con 10 mg/L de dosis de  $Fe^{2+}$ . El tiempo de reacción aplicado para cada ensayo fue de 2 horas de modo que la dosis de ozono fue 4 g/L y el consumo de energía fue de  $0,021 \frac{kWh}{g \text{ DQO removida}}$  [13].

El siguiente artículo emplea el proceso Fenton, utilizado para remover las aguas residuales del Camal municipal Chota, Perú. Estas aguas residuales contienen una alta carga orgánica, siendo un foco de contaminación sobre los cuerpos de agua y suelo. Los parámetros fisicoquímicos a evaluar fueron: dureza, pH, conductividad, sólidos totales, turbidez, temperatura,  $DBO_5$ , DQO, alcalinidad, potencial óxido reducción (ORP) y oxígeno disuelto (OD). Para este trabajo de investigación se utilizó procesos avanzados de oxidación sobre un sistema de jarras, con agitación de 30 rpm para tratar las muestras a diferentes concentraciones de  $H_2O_2$ ,  $FeSO_4$  y pH; con base en el diseño Box Behnken y el cálculo de sus valores mediante la metodología de superficies de respuesta (software Statgraphics 5.1 plus). El tiempo de reacción más adecuado se calculó a los 18 minutos y las concentraciones de  $H_2O_2$ ,  $FeSO_4$  y pH se estimaron en 1092,67 mg/L, 2110,55 mg/L, y 3,22 respectivamente. El proceso oxidación avanzada comprende un alto poder oxidante el cual mejoro el indicador de biodegradabilidad a un valor de 0,5 y una remoción de la DQO alrededor del 79,9 % [14]. El proceso Fenton como tecnología de oxidación avanzada resulta ser una alternativa eficaz para el tratamiento de aguas residuales de Camales y puede ser aplicado como pre tratamiento.

Desde el punto de vista científico, el uso del ozono gaseoso como tratamiento postcosecha para mejorar la calidad fisicoquímica y capacidad antioxidante en la naranjilla ha demostrado ser efectivo, ya que controla la perdida de color y producción de etileno, también mantiene mayor firmeza de almacenamiento, sin afectar parámetros de calidad como pH, acidez, sólidos solubles, ratio y tasa de

respiración. En cuanto a compuestos antioxidantes, se visualizó un efecto positivo para fenoles, ácido ascórbico y capacidad antioxidante (excepto carotenoides) generando un incremento inmediato una vez aplicado el tratamiento, los autores exponen que este experimento se realizó bajo dos frutos recién cosechados a 0,7,14 y 21 días, el primero fue bajo tratamiento con ozono gaseoso a 1,5 ppm y el segundo sin tratamiento (llamado controles). Para los frutos sin tratamiento los resultados pasaron de daño moderado a severo, concluyendo que el sistema a base de ozono gaseoso es un buen oxidante en cuanto a degradación de contaminantes orgánicos [15].

En base a estudios enfocados en ozonización tenemos el de la ingeniera química, Sara Juliana Jaramillo Arvilla, quien en el 2021 implemento un sistema de oxidación avanzada (ozonización) para la clínica Imbanaco, situada en la ciudad de Cali, con el fin de estudiar la naturaleza de la carga contaminante variante de las aguas residuales hospitalarias [16]. Dando como resultado una eficiencia del 98% para la disminución de la carga orgánica y para fenoles una eficiencia de 80%, demostrando que este tipo de sistemas remueven la materia orgánica (cerca de un 75%) usando bajas concentraciones de ozono (3 g O<sub>3</sub>/L) en un periodo de tiempo corto.

La aplicación de métodos de oxidación avanzada en la actualidad es una alternativa factible para tratamientos de aguas residuales doméstica, industriales y hospitalarias por su eficiente remoción en un periodo de tiempo corto, en base a ello el presente trabajo postulado por los ingenieros químicos, Marco Stiven Becerra Díaz y Sebastián Felipe Cadena Ibáñez, presentaron en el año 2016 el método de oxidación avanzada conocido como reactivo Fenton para la planta de tratamiento de AR en la empresa Aguas San Juan S.A.S ESP ubicada en la ciudad de Bogotá con el fin de evaluar la aplicación del método Fenton a nivel laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales [17], los resultados obtenidos fueron una oxidación de la materia orgánica del 92,133% y una remoción de color del 99,40 %, demostrando que aplicar este tipo de sistemas son eficientes y acelerados en currencia de remoción de materia orgánica.

Los procesos de oxidación avanzada (POA's) se han convertido en una alternativa eficiente debido a su fuerte poder oxidativo en aguas residuales tanto industriales y hospitalarias, como tratamiento para lograr remover la carga orgánica se presenta el trabajo investigativo de Tatiana Carolina Loja Gutama, la cual en el año 2015 diseño a escala piloto un sistema de eliminación de fenoles en Aguas Residuales Industriales (ARI) para una industria textil ubicada en la ciudad de Quito empleando dióxido de cloro; como resultado se determinó que durante el tratamiento de ARI con ClO<sub>2</sub> por un tiempo de contacto de 30 minutos se obtuvo una remoción de fenol a un pH alcalino de 9 y una concentración de dióxido de cloro al 10%. Bajo las condiciones anteriores se obtuvo una remoción de fenol del 90,49% sostiene [18].

La Clínica Versalles (CV), en vista del incumplimiento repetitivo a la Resolución 0631 [5] en cuanto a carga orgánica y considerando que es un compromiso con el medio ambiente cumplir las exigencias de las normas ambientales competentes, ha decidido comenzar a desarrollar un proyecto con el fin de tratar y remover la carga orgánica de las aguas residuales hospitalarias aplicando un sistema de oxidación avanzada en la Clínica Versalles, dónde se evidencien las actividades específicas que aporten los mayores porcentajes de carga orgánica. Por ejemplo, residuos de laboratorio, excreción de los pacientes, actividades de investigación, cirugía, manejo de desechos líquidos (soluciones salinas, pocetas de cirugía, lavado de accesorios de limpieza en especial de quirófanos) entre otros. Los hospitales son considerados como la mayor fuente de contaminantes emergentes [19] Siendo las aguas hospitalarias motivo de preocupación internacional, debido a que son descargados en los sistemas de alcantarillado urbano; a causa de ello, tanto las aguas residuales hospitalarias como las aguas residuales domésticas son tratadas de la misma manera, lo cual no es muy eficaz [20], dejando latente el peligro de una potencial propagación de enfermedades y a los riesgos ambientales derivados de la ausencia de tratamientos adecuados.

## **1.5. MARCO NORMATIVO**

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible formula en el año 2015 la Resolución 0631 [5], la cual tiene como objetivo, reducir y controlar las sustancias contaminantes que llegan a los ríos, embalses, lagunas, cuerpos de agua naturales o artificiales de agua dulce, y al sistema de alcantarillado público. De esta manera, asiste al mejoramiento de la calidad del agua y labora en la recuperación ambiental de las vías fluviales de la nación.

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible expone en el año 2015 el decreto 1076 [8], el cual tiene como objetivo “orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio; definiendo así las políticas y regulaciones a las cuales que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la Nación” de esta manera este decreto ayudara a asegurar un desarrollo sostenible en pro de mejora hacia la calidad de vida de la sociedad y el medio ambiente.

El congreso de la republica expone el 21 de julio del año 2009 la ley política ambiental 1333 [21] la cual es el eje fundamental de la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población.

## **1.6. MARCO CONCEPTUAL**

### **1.6.1. Tipo de aguas residuales**

El término "agua residual " o "las aguas residuales" se refiere al agua que ha sido contaminada con sustancias tóxicas como desechos, heces humanas y animales, así como otros subproductos de las actividades diarias para el sustento humano [22]. Las aguas residuales se encuentran sucias y contaminadas por el uso que han tenido, conteniendo elementos como detergentes, grasas, materia orgánica, desechos agrícolas e industriales, sustancias tóxicas, etc. Todos ellos subproductos de las actividades de la vida diaria del ser humano [22]. Seguidamente se exponen los tipos de aguas residuales existentes en Colombia:

### **1.6.2. Aguas residuales hospitalarias**

La contaminación de los ecosistemas acuáticos naturales por las aguas residuales hospitalarias han sido una de las mayores preocupaciones para el medio ambiente y la salud humana durante muchos años. Diversos investigadores informan que estas aguas residuales son problemáticas en el tratamiento, debido a las altas concentraciones potencialmente peligrosas en microorganismos y/o virus (enterobacterias, coliformes fecales, entre otros) [23], muchos de los cuales podrían haber mutado siendo resistentes a antibióticos, asimismo se pueden evidenciar la presencia de solventes y metales pesados. Estas aguas consisten en una mezcla compleja de sustancias cuya toxicidad y actividad mutacional génica dependerán de interacciones sinérgicas entre sus componentes y entre estos componentes y el medio ambiente.

### **1.6.3. Aguas residuales domésticas**

Son flujos de agua conformados por la combinación de las excretas, eliminadas por la población, incluyendo heces y orina que son provenientes de viviendas, instalaciones comerciales privadas o públicas, se denominan también aguas servidas a aquellas que resultan del uso doméstico o industrial, por haber sido utilizadas en procesos de transformación y limpieza, por lo que estas aguas resultantes no sirven para el usuario directo e incluso, en ocasiones, las aguas están formadas por todas aquellas aguas que son conducidas por el alcantarillado incluyendo al agua lluvia y las infiltraciones del terreno [24].

### **1.6.4. Aguas residuales industriales**

Este tipo de aguas residuales cuenta, con una naturaleza alta en carga de metales, debido a que en los procesos industriales se vierten grandes concentraciones de metales pesados altamente tóxicos; los cuales son emitidos directamente a la atmósfera y a ambientes acuáticos y terrestres. En el medio hidrosférico, cantidades cercanas a 109 Kg/año de metales pesados se han vertido, siendo las aguas residuales de origen domésticas, las plantas térmicas, las fundiciones y las acerías, principales fuentes de emisión [25].

## 1.7. Sistemas de tratamiento para agua residuales

Un sistema de tratamiento de aguas residuales se encarga de realizar una serie de procesos químicos y biológicos sobre el agua que ha sido utilizada por el hombre con el fin de restaurar su calidad para que pueda ser reutilizada [26]. Las etapas de un sistema de tratamiento son:

### 1.7.1. Tratamiento primario

En muchos casos, a un pretratamiento o tratamiento preliminar de aguas residuales le sigue un tratamiento primario. Esencialmente, estos incluyen la remoción de metales pesados, lo que resulta en una reducción de la carga contaminante en las aguas residuales. Dependiendo de la calidad de su producción final, es posible que desee un filtro, un sistema de flotación o ambos. Si descarga su agua en un sistema de alcantarillado, un primer tratamiento puede ser suficiente para cumplir con los requisitos del efluente final [27].

**Tratamiento fisicoquímico.** Este tratamiento se obtiene agregando agentes químicos, que aumentan su tamaño y densidad a través del proceso de procesamiento de la floculación-coagulación [7]

**Coagulación-floculación.** Se refiere a la desestabilización de las cargas orgánicas e inorgánicas para que estos se sedimenten y puedan ser aglomerados mediante el proceso de floculación.

### 1.7.2. Tratamiento secundario

También conocido como tratamiento bioquímico requerido por quienes descargan desechos al medio ambiente, como ríos u otros cuerpos de agua naturales. Este tipo de tratamiento emplea bacterias para eliminar los residuos biodegradables del agua residual [28]. En general, estos sistemas se clasifican en dos tipos:

**Tratamiento aerobio.** Basado en un proceso biológico que se gestiona en condiciones aeróbicas (con flujo de aire), trata eficazmente DQO, DBO y SSV al convertirlos en agua, dióxido de carbono y nueva biomasa [28].

**Tratamiento anaerobio.** Basado en un proceso biológico que está controlado por condiciones anaeróbicas y trata eficazmente DQO, DBO y SSV mientras produce calor y poca biomasa (sin oxígeno) [28].

### 1.7.3. Tratamiento terciario

Este tipo de tratamiento también es conocido como tratamiento avanzado por presentar un mejor rendimiento para la eliminación de nutrientes, DBO<sub>5</sub>, DQO, grasas y aceites, fenoles y metales. Este paso solo es necesario cuando se necesitan condiciones rigurosas para satisfacer, por ejemplo, la purificación, porque en este tratamiento alcanza una calidad de agua muy alta, este tratamiento es muy

utilizado cuando se requiere cumplir con condiciones estrictas (resoluciones, decretos y leyes con lo que respecta a vertimientos) en las regiones del país [29]. A continuación, se presenta dos tratamientos terciarios:

#### **1.7.3.1. Proceso de oxidación avanzada**

Estos sistemas son utilizados para la eliminación de aguas residuales no domésticas, industriales y hospitalarias hasta un límite permitido muy estrictamente definido o incluso hasta un estándar que permite su reutilización en los procesos de producción. En los marcos de las observaciones anteriores, la clínica Versailles ha decidido implementar un sistema terciario, como lo es la oxidación avanzada con el fin de llevar cabo la mineralización de la carga orgánica [30], contribuyendo a la sostenibilidad y mejoramiento continuo, disminuyendo su efecto nocivo a los cuerpos de agua y a su vez mitigando y reduciendo los impactos ambientales.

Este tipo de sistemas utiliza un método de tratamiento que se considera altamente competitivo porque remueve los contaminantes orgánicos, como los biorecalcificantes, e inactiva los microorganismos patógenos. Para ello se deben generar radicales hidroxilos para obtener agentes oxidantes como el ozono ( $O_3$ ) [31]. Este proceso es eficiente ya que elimina cualquier contaminante presente. Lo anterior manifiesta que no hay transición de fase. No se producen residuos y los reactivos se descomponen en productos [31]. La oxidación avanzada comprende algunos métodos utilizados como tratamientos para eliminación de impurezas. A continuación, se presentan los siguientes:

#### **1.7.3.2. Sistema de ozonización**

Este método es responsable de la desmineralización del agua que lleva a cabo la eliminación de compuestos orgánicos que participan en el ozono. Inicialmente, el aire se inyecta en un generador de ozono. La molécula de oxígeno recibe descargas eléctricas que intentan disociar la molécula para permitir la formación de ozono. Más tarde, el ozono entra en contacto con el agua residual a través de una cámara de contacto. En esta fase, los agitadores están listos para aumentar la velocidad del proceso de degradación de la materia orgánica. Una vez que el agua ha sido purificada, el ozono debe ser destruido, lo que hace que pase a través de un filtro para separar las impurezas. Finalmente, se inserta un reactor en el que termina purificando para que pueda recircularse [32]. El tratamiento con ozono generalmente se usa en las industrias farmacéuticas dado que elimina un gran porcentaje de antibióticos antiinflamatorios y estrogénicos. Además, es eficiente en el tratamiento de aguas residuales de naturaleza industrial y urbana [2].

#### **1.7.3.3. Sistema de dosificación mediante oxidante líquido (dióxido de cloro)**

Los tratamientos de oxidación avanzada en la actualidad se han convertido en una alternativa beneficiosa en relación costo/eficiencia por su alto poder oxidativo en

cuestion de remocion de materia organica y baja inversion, en base a lo anterior se expone el trabajo investigativo de la ingeniera Zootecnista, Damián Velásquez Fiorella Giovanna la cual postulo en el año 2022 su trabajo investigativo titulado “Concentración de dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>), dosis de dilución y tiempo de desinfección en la producción de germinado hidropónico de cebada” en la ciudad de Lambayeque-Perú. Los resultados obtenidos para este trabajo investigativo fueron el rendimiento (kg/m<sup>2</sup>) de MS, EE, FC y CEN; productividad de MS y GH (Kg/kg de semilla) y costo más económico se logró desinfectando la semilla de cebada con una concentración de ClO<sub>2</sub> al 5% con una dosis de dilución de 0.5 y 0.75 ml/L de agua durante 30 minutos, define [33]. Los sistemas de dosificación mediante oxidante líquido para este caso dióxido de cloro han sido alternativas eficientes en cuestión de remoción de materia orgánica gracias a que este un potente biocida oxidante.

#### 1.7.3.4. Propiedades físicas

**Tabla 1. Propiedades físicas del dióxido de cloro.**

Punto de ebullición	11 °C
Punto de fución	.-59 °C
Densidad relativa (agua = 1)	1,6 a 0 °C; estado liquido
Solubilidad en agua	0,8g/100mL a 20 °C
Presión de vapor	101 a 20 °C KPa
limites de explosividad	> 10% en volumen en el aire

Fuente: tomado de [33].



## Capítulo III: Metodología

En esta investigación se implementó un sistema de oxidación avanzada (ozonización y dióxido de cloro) así mismo se evaluó la factibilidad de ambos sistemas, utilizados para el tratamiento de aguas residuales hospitalarias, ubicados en las instalaciones de la Clínica Versalles - Sede principal.

### 1.8. Fase uno: caracterización de las condiciones actuales de las aguas residuales hospitalarias (ARH) generadas en las instalaciones de la Clínica Versalles-Sede principal

#### 1.8.1. Muestreo del agua residual hospitalaria

El muestreo del agua residual hospitalaria se realizó en las cajas sanitarias N°3 y N°5 mediante el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA=AWWA=WEF, 23<sup>RD</sup> edition 2017 [10]. El cual, establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear aguas residuales y naturales, a fin de determinar los análisis correspondientes. A continuación, se presenta de manera general lo que se realizó:

**Tabla 2. Materiales de muestreo**

Parámetro	Materiales	Descripción del material
Muestreo	7 vasos de vidrio de 500 mL	Recipientes para el transporte y conservación de las muestras
	1 Cucharon	Instrumento utilizado para recoger muestras
	1 Probeta plastica de 1000 mL	Aparato volumétrico que permite medir un determinado volumen
	1 recipiente de vidrio de 1 L	Recipientes para el transporte y conservación de las muestras dirigido al análisis de la muestra compuesta
	Hielera	Instrumento utilizado para preservar las muestras en refrigeracion durante su transporte
	Guantes de nitrilo	Herramienta utilizada para la proteccion de la piel debido a que las aguas residuales son corrosivas.

Fuente: propia.

## 1.8.2. Procedimiento

### Identificación de la muestra

Para llevar un control de las muestras, se rotularon los recipientes con la siguiente información:

- Identificación de la descarga.
- Número de la muestra.
- Hora y fecha del muestreo.
- Punto de muestreo.
- Temperatura de la muestra.
- Nombre y firma de la persona que realizó el muestreo.

Para determinar las muestras correctamente, se llenó una hoja de registro con los datos rotulados antes citados con la finalidad de identificar las muestras, adicional a esto se registraron otros datos cualitativos como color y olor del agua residual hospitalaria. Para el cálculo del caudal se utilizó la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

Q: representa caudal

V: representa volumen

t: representa tiempo

### Muestreo

Una vez identificadas las muestras rotuladas correctamente y los puntos aptos a muestrear (cajas sanitarias N°3 y N°5), se decidió realizar el muestreo un día lunes para la caja N°5 y martes para la caja N°3 debido a que estos días la clínica presenta alta actividad en cuestión de vertimientos. Se procedió al muestreo, para lo cual se tomaron 24 muestras simples en las cajas sanitarias N°3 y N°5 durante 6 horas para cada caja con un intervalo de 15 minutos y se mezclaron para formar una muestra compuesta.

Al final, para preservar la composición de las muestras durante el transcurso al laboratorio de Water Treatment Colombia, se conservaron en una nevera procurando que la temperatura se mantuviera a 4° C. Para el caso de los recipientes de vidrio, como lo establece la metodología del IDEAM.

### 1.8.3. Caracterización del Agua Residual Hospitalaria (So)

Como se menciona en el primer objetivo específico, la finalidad de caracterizar las aguas residuales hospitalarias de la Clínica Versalles (caja sanitaria N°3 y N°5) previo a la instalación de los sistemas de oxidación avanzada, fue para conocer la naturaleza de estas aguas y poder compararlas con la resolución 0631, a fin de alinear estos valores a la resolución mediante los sistemas de tratamiento mitigando el impacto ambiental que ocasionan este tipo de vertimientos de origen hospitalario a los receptores de aguas superficiales. Para el caso de esta investigación, la caracterización de los principales parámetros fisicoquímicos se basó en la resolución 0631 [5].

### 1.8.4. Procedimiento experimental

A continuación, se presentan los parámetros fisicoquímicos y los métodos de relevancia utilizados en cada análisis:

**Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos evaluados.**

<b>Parámetro</b>	<b>Metodo</b>
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	SM 5220 D
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	SM 5210 B, ASTM D888-12, C
Carbono Orgánico Total (COT)	5310-B
Grasas y aceites	SM 5220 D
pH	Medición in situ con medidor multiparamétrico HI 9829 - Hanna Instruments
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	SM 2540 D
Sólidos Sedimentables (SSED)	SM 2540 F
Fenoles totales	SM 5530 8, C

Fuente: propia.

### 1.9. Fase dos: Establecimiento de las condiciones de operación para poner en marcha los sistemas de oxidación avanzada

### 1.9.1. Actividad 1: revisión de planos sanitarios

Para tener una idea clara de la topografía del terreno se solicitó al departamento de calidad de la Clínica Versalles, los planos hidrosanitarios con el fin de conocer las cotas del terreno para llevar a cabo una trazabilidad y la ubicación de las cajas sanitarias N°3 y N°5.

Una vez se obtuvieron los planos hidrosanitarios se comenzó a identificar las cajas sanitarias N°3 y N°5 y a su vez designar la ubicación de los sistemas de oxidación avanza. Para determinar la ubicación de los sistemas de oxidación avanzada se estableció como base, el nivel de carga orgánica, presentado en las cajas monitoreadas en la caracterización de la fase uno. De esta manera se concluyó que el sistema de ozonización será ubicado en la caja sanitaria N°5 y el sistema de dosificación de oxidante líquido ( $\text{ClO}_2$ ) en la caja N°3. La caracterización preliminar ayudo a determinar el valor de los parámetros fisicoquímicos de cada caja, Figura 1 y a su vez alinearlos a los valores máximos permisibles de la resolución 0631, mediante los sistemas de oxidación avanzada.



Figura 1. Croquis de la ubicación de las cajas sanitarias N°3 y N°5 y POA (ozonización y dióxido de cloro). Fuente: propia.

### **1.9.2. Actividad 2: revisión de las condiciones eléctricas e hidráulicas para la instalación del sistema de oxidación avanzada**

Para esta actividad se detallan los requerimientos para la instalación de los POA's; en todos los casos se requieren adecuaciones físicas, eléctricas e hidráulicas para el funcionamiento adecuado de los sistemas de oxidación avanzada (ozonización y dosificación mediante dióxido de cloro).

Inicialmente, para establecer la ubicación de los sistemas de oxidación avanzada se procedió a realizar una prueba de trazadores, con el propósito de verificar la procedencia del vertimiento y el punto previo más cercano que conecte a las cajas sanitarias en la cuales se instalaron los sistemas de oxidación avanzada.

Para llevar a cabo las adecuaciones eléctricas se realizó una visita a las instalaciones de la clínica Versalles–sede principal en compañía de un técnico eléctrico, con el fin de identificar la ubicación de la toma eléctrica con protección falla a tierra GFCI para exterior (cubierta y tapa) a 110 V con capacidad para los dos sistemas.

Todas estas actividades se realizaron bajo la supervisión de técnicos e ingenieros de la empresa WTC SAS para garantizar un trabajo de calidad.

Finalmente, para las adecuaciones hidráulicas fue importante conocer mediante la caracterización realizada en la fase uno el caudal medio diario ( $Q_{md}$ ), caudal máximo horario ( $Q_{MH}$ ) y caudal mínimo ( $Q_{min}$ ) a fin de tener en cuenta la cantidad real de producto que circula por la conducción (esterilización, laboratorio, cocina, domestica etc.) la cual va a parar a las cajas sanitarias y finalmente, irán a parar a los cuerpos receptores de agua.

En base a lo anterior y siguiendo las indicaciones en cada actividad, los tratamientos de oxidación avanzada se instalaron lo más cercano posible a las cajas sanitarias, sin embargo, como estas se encontraban sobre el espacio público se decidió llevar los agentes oxidantes bajo tierra por tubería PVC hasta las cajas sanitarias, la conexión de succión es de manguera de PE. A su vez, los sistemas se dispusieron en un sitio cercano a una toma eléctrica y con protección a la intemperie (suciedad, agua y daños por terceros).

### **1.9.3. Actividad 3: instalación y puesta en marcha de los sistemas de oxidación avanzada**

Para realizar la instalación de los sistemas de oxidación avanzada en la Clínica Versalles-Sede principal se tuvo en cuenta la topografía del terreno y las condiciones ambientales a las cuales estos sistemas están expuestos, por tal motivo

se estuvo altamente calificado, leído y entendido conforme lo dispone el manual y las instrucciones de seguridad brindados por parte de WTC SAS Colombia. La finalidad de comprender el funcionamiento y mantenimiento de cada sistema de oxidación avanzada va enfocada en poder darle un largo tiempo de vida útil y a su vez prever el mal uso o mantenimiento inadecuado. A continuación, se detallan los procesos de instalación de los sistemas de oxidación avanzada.

### **1.9.3.1. Instalación del sistema de ozonización**

Para la instalación del sistema de ozonización se siguieron los protocolos establecidos en el manual de operación e instalación de los sistemas de oxidación avanzada [18], para ello se tuvo en cuenta los siguientes ítems:

- a) El generador de ozono debe ser instalado en circunstancias de baja humedad en un ambiente de temperaturas entre 0 y 43 °C. También en buenas condiciones de circulación de aire para la disipación de energía en forma de calor y acceso a aire limpio.
- b) Tener cuenta el nivel de contaminación presente en las cajas sanitarias expuestas en el monitoreo de caracterización e informes de vertimientos de la clínica Versailles concluyendo, así que caja sanitaria se instalará el sistema de oxidación avanzada.
- c) El generador de ozono debe ubicarse cerca a la conexión eléctrica, se debe evitar el uso de extensiones.
- d) Para mantener las condiciones apropiadas de disipación de calor, el generador de ozono debe instalarse lejos de fuentes de calor y barreras, a una distancia mayores a 0.5 m.
- e) El generador de ozono debe instalarse de forma que se evite la succión de agua, la cual puede producirse por el enfriamiento de la celda o por retorno.

Fue importante tener en cuenta el funcionamiento y mantenimiento del equipo debido a que existen medidas de seguridad como, no ubicar el generador de ozono cerca de sustancias inflamables, el ozono es un oxidante fuerte por lo tanto debe evitarse el contacto directo, no uso de extensiones y sobre todo la instalación debe realizarse por personal calificado de WTC SAS.

Una vez instalado el sistema de ozonización, para su operación se procedió a conectar el ozonizador a una toma eléctrica de **110 V** (preferiblemente a un estabilizador de voltaje), en segundo lugar, se revisó el indicador de voltaje (voltímetro) que efectivamente el equipo se encuentre alimentado a ese voltaje, enseguida se colocó en posición de encendido el interruptor de control de gas (verificación de burbujeo), en tercer lugar, se verifico que la perilla de potencia se encuentre en 0%, en cuarto lugar, se colocó en posición de encendido el interruptor

de generación de ozono y finalmente se fue aumentando poco a poco la concentración de ozono moviendo la perilla hasta 80%. [18], Todas estas medidas son importes tener en cuenta ya que el sistema produce ozono para el tratamiento de aguas residuales hospitalarias (ARH). Incluso los niveles más bajos de exposición al ozono pueden causar tos, dolor de pecho, dificultad para respirar, sibilancias e irritación de la garganta.

Finalmente, el tiempo de encendido en el cual operara el sistema de ozonización ubicado en la caja sanitaria N°5, se determinó en base a estudios realizados por parte del departamento de I+D+i, siendo este un tiempo de 6 horas continuas diarias.

Muy importante tener en cuenta, a medida que aumenta la concentración de salida de ozono moviendo la perilla se incrementa el consumo de corriente, la cual se evidencia en el amperímetro del panel de control. Cuando se alcance el 70% con la perilla, el consumo de corriente es aproximadamente 2.5 amperios.

#### **1.9.3.2. Instalación del sistema de dosificación con oxidante líquido (ClO<sub>2</sub>)**

Para la instalación del sistema de dosificación de oxidante líquido (ClO<sub>2</sub>) se tuvo en cuenta las condiciones ambientales del lugar y a su vez reforzar el aspecto de la salud dentro de la clínica Versailles. Por último, se siguieron los protocolos para la instalación de este sistema establecidos en el manual de operación e instalación de los sistemas de oxidación avanzada. Para terminar, se tuvieron en cuenta los siguientes ítems:

- a) Tener en cuenta el nivel de contaminación vertido en las cajas sanitarias expuestas en la caracterización de la fase uno.
- b) El dosificante de oxidante líquido se instalará dentro de la clínica Versailles, cerca de un punto de monitoreo debido a que este sistema necesita de una bomba dosificadora con frecuencia de bombeo, es decir la tasa de flujo para la alimentación, la cual impulsa el fluido hasta un desagüe y finalmente este va a dar a la caja sanitaria N°3.
- c) Al igual que el generador de ozono, el sistema de dosificación de oxidante líquido se instalará en circunstancias de baja humedad en un ambiente de temperaturas entre 0 y 43 °C. También en buenas condiciones de circulación de aire para la disipación de energía en forma de calor y acceso a aire limpio.
- d) El sistema de dosificante de oxidante líquido se ubicará en un cuarto que contenga conexión eléctrica, preferiblemente de 110V, evitando el uso de extensiones.

- e) Para mantener las condiciones apropiadas de disipación de calor, el sistema de dosificante de oxidante líquido se instalará lejos de fuentes de calor y barreras.

Es importante tener en cuenta la correcta operación de este sistema, debido a que se está utilizando un reactivo conocido dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ) como tratamiento de agua residual hospitalaria.

Una vez instalado el sistema de dosificación de oxidante líquido para su operación, se procedió a acoplar las mangueras de  $\frac{3}{4}$  de pulgada que conducen del tanque de recarga y transferencia de 40 L a la bomba dosificadora y posteriormente de la bomba dosificadora hacia la caja sanitaria. Segundo, conectar la bomba dosificadora a una toma eléctrica de 110 V. Tercero, se procedió a llenar el tanque de 40 L con solvente (agua llave). Cuarto, agregar el reactivo (dióxido de cloro). Quinto, se procedió a encender la bomba dosificadora. Finalmente, se procedió a graduar la perilla de la bomba al 20%, siendo este porcentaje el flujo de descarga que conecta a la caja sanitaria N°3 siendo este un proceso de oxidación en línea en el cual hay contacto líquido-líquido.

Por último, conviene especificar que la caja sanitaria N°3 presenta una alta actividad en cuestión de vertimientos, debido a ello, se decidió que la operatividad del sistema de dosificación funcione durante 12 horas continuas diarias.

En la Tabla 4 se reporta la ubicación geográfica en la cual quedaron instalados los sistemas de ozonización y dosificación mediante dióxido de cloro.

**Tabla 4. Ubicación geográfica de los sistemas de oxidación avanzada.**

Caja	Ubicación (aprox)	Tipo de oxidante
1	3°27'51.1"N 76°31'40.9"W	Dióxido de cloro
2	3°27'50.6"N 76°31'40.8"W	ozonización

Fuente: propia.

#### **1.10. Fase tres: evaluación de la eficiencia de remoción de la carga contaminante del sistema de oxidación avanzada**

Para dar cumplimiento a esta fase de la metodología, luego de establecer las condiciones de operación para la puesta en marcha de los sistemas de ozonización y dosificación con oxidante líquido ( $\text{ClO}_2$ ) se procedió a realizar una caracterización con el laboratorio MICROAMBIENTAL certificado ante el IDEAM. A continuación, se presenta los puntos que se siguieron para evaluar la eficiencia de remoción:



### 1.10.1. Actividad 1. Selección de los puntos de muestreo

Para esta actividad fue necesario conocer que la clínica Versalles tiene una jornada de funcionamiento de 24 horas diarias, prestando un servicio médico con y sin internación, consulta externa y especializada, ayudas diagnósticas y cirugía. Por lo tanto, mediante una prueba de trazadores realizada por la empresa Water Treatment Colombia se conoció la procedencia del vertimiento que recibe tanto la caja sanitaria N°3 y N°5 con salida al alcantarillado público.

Para determinar los puntos de monitoreo se tuvo en cuenta la ubicación de los sistemas de oxidación avanzada y el tiempo de retención hidráulico por lo cual el monitoreo por parte del laboratorio MICROAMBIENTAL en las cajas sanitaria N°3 y N°5 se realizó un metro de después de la ubicación de los sistemas, con la finalidad de darle un tiempo de contacto al ozono y dióxido de cloro. Para la caracterización por parte del laboratorio MICROAMBIENTAL, este se guio bajo el método que estipula el IDEAM mediante la siguiente metodología:

#### Muestreo

El muestreo se realizó en las cajas sanitarias N°3 y N°5 lunes y martes, durante 12 horas, se tomaron 49 muestras de alícuota variable cada 15 minutos en recipientes de vidrio, el aforo se desarrolló mediante los métodos, volumétrico y de área-velocidad (Figura 2) además durante la jornada se presentaron pequeños intervalos de lluvia en los que se detuvo el muestreo. Así mismo, se realizó medición del pH y de temperatura por medio del Medidor Portátil Multiparamétrico de Calidad del Agua HI 9829 -Hanna Instruments, la medición del caudal se realizó considerando los consumos registrados en las facturas de los servicios públicos y se verificó el día de la toma de muestra las cajas colectoras. Posteriormente, las muestras se almacenaron en neveras de poliestireno expandible con hielo, que permiten mantener la temperatura de las muestras por debajo 5° C hasta su análisis por parte de un laboratorio acreditado.



**Figura 2. Fotografía durante el muestreo (Clínica Versalles) Equipos y metodología utilizada en las mediciones *in situ*. Fuente: propia.**

Para las mediciones in situ se utilizaron un medidor multiparamétrico HI 9829 - Hanna Instruments que permite medir el pH con precisión  $\pm 0,01$  unidades con termocupla integrada para la medición de temperatura. Los caudales se determinaron utilizando el método volumétrico (Ecuación 1). las actividades se desarrollaron de acuerdo a los lineamientos de los instructivos de procedimiento para la toma de muestras de aguas residuales y corrientes superficiales, la preservación y transporte de las muestras se realizó siguiendo la metodología descrita en el *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, APHA=AWWA=WEF, 23<sup>RD</sup> edition 2017 [10]. Se utilizaron para el transporte neveras plásticas con hielo para así lograr una temperatura de preservación de las muestras a 5 °C.

### **Composición de las muestras**

Se tomaron alícuotas proporcionales al caudal medido hasta ajustar un volumen de 10 litros para las cajas sanitarias N°3 y N°5, (de los cuales se procedió a tomar diluciones para obtener una muestra compuesta representativa para la determinación de los parámetros del vertimiento) y obtener una muestra compuesta según el instructivo de toma de muestras compuestas.

**Variables de respuesta.** Se fijaron como parámetros de respuesta los parámetros: DBO<sub>5</sub>, DQO, SSED, grasas y aceites, SST y fenoles (anexo 4), siendo estos unos de los indicadores de calidad del agua estipulados en la Resolución 0631 [5].

#### **1.10.2. Actividad 5: determinación de la eficiencia de remoción del sistema de oxidación avanzada**

Por último, se determinó la eficiencia de los sistemas de dosificación con oxidante líquido y ozonización como medios de tratamiento de aguas residuales hospitalarias (ARH) provenientes de la Clínica Versailles, Cali, Valle del Cauca. Inicialmente se caracterizó el vertimiento en la caja N°3 y N°5 en cuanto a pH, alcalinidad, ORP, %OD, DQO, DBO<sub>5</sub> y COT, en segunda instancia, se establecieron las condiciones de operatividad de los POA's y las concentraciones de flujo de descarga.

Para el cálculo del caudal de descarga del sistema de ozonización se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q_{O_3} = \frac{\%O_3 * Conc_{O_3}}{\%O_3} \quad (Ecuación 2)$$

Donde:

Q<sub>O<sub>3</sub></sub>: caudal de descarga del ozono en g/h

%O<sub>3</sub>: porcentaje de ozono

Conco<sub>3</sub>: concentración de ozono

Igualmente, para el cálculo del flujo volumétrico de descarga del sistema de dosificación de oxidante líquido (ClO<sub>2</sub>) se utilizó la ecuación 1.

Finalmente, para la estimación del efecto de remoción para ambos sistemas de oxidación avanzada se consideraron los valores de la caracterización antes de instalar los POA's y los valores muestreados por el laboratorio MICROAMBIENTAL para cada tratamiento (ozono y ClO<sub>2</sub>). Paralelamente se elaboró una tabla con estos valores y se procedió a calcular la eficiencia de remoción de la carga orgánica, empleando la metodología de [11] mediante la siguiente ecuación:

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

Donde:

E: eficiencia de remoción de la carga orgánica (%)

S<sub>0</sub>: carga contaminante de entrada (mg/L)

S: carga contaminante de salida (mg/L)

## Capítulo IV: Resultado y análisis

### 1.11. Caracterización del agua residual hospitalaria antes del tratamiento

Con base en lo planteado en el capítulo anterior, se realizó la caracterización del vertimiento en las instalaciones de la Clínica Versalles (CV), es decir agua residual hospitalaria. A continuación, se presenta en la Tabla 5 la caracterización del ARH proveniente de las instalaciones de CV antes de ser sometida al tratamiento de oxidación avanzada (ozonización y dióxido de cloro), en la Figura 3 se puede evidenciar una fotografía del vertimiento tal cual fue tomado en el monitoreo de la caracterización.

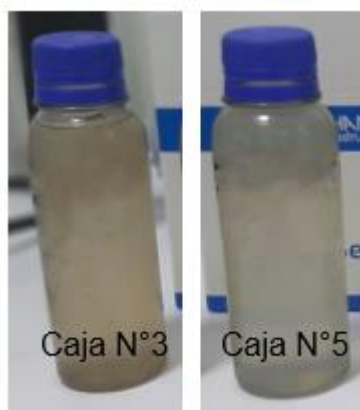
**Tabla 5. Caracterización del vertimiento antes del tratamiento (So).**

Parametro	Unidades	Caja <sub>[N°3]</sub>	Caja <sub>[N°5]</sub>	Resolución 0631
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	618	513,5	300
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	386,25	320,94	225,00
Carbono Orgánico Total (COT)	mg/L	543,2	479,7	-
Grasas y aceites	mg/L	12,1	12,3	15
pH	Unidades de pH	7,6	8,04	5 - 9
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	71,4	240,9	75
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	0,4	1,2	7,5
Fenoles totales	mg/L	0,021	0,018	0,2

Fuente: propia.

De acuerdo con los resultados de la caracterización del agua residual de entrada (Tabla 5), antes del tratamiento, se puede notar que a pesar de la marcación visual de las aguas residuales (Figura 3), como muy contaminadas, los resultados no fueron tan significativos, al ser provenientes de un centro hospitalario, sin embargo presentan una problemática mayor para la población aledaña y los receptores de agua, ya que estos valores podrían superar los valores límite permisibles estipulados en la resolución 0631, más adelante.

Para esta caracterización los parámetros fisicoquímicos DBO<sub>5</sub>, DQO y SST (caja N°5y N°3) resultaron fuera de rango, por lo que el sistema de oxidación avanzada entro a remover esta carga orgánica y de paso estos parámetros y paralelamente los que establece la resolución 0631, artículo 14.



**Figura 3. Aspecto del ARH recolectada de la caja sanitaria N°3 y N°5, Clínica Versalles, Cali. Fuente: propia.**

#### **1.12. Acondicionamiento de operación para la puesta en marcha de los sistemas de oxidación avanzada**

Para la puesta en marcha de los sistemas de oxidación avanzada, siguiendo la metodología del objetivo N°2 y una vez ubicado el punto de los vertimientos a tratar, como primera instancia se elaboró una obra civil que proteja contra el agua y humedad al sistema de ozono (Figura 4) y para el sistema de dosificación con oxidante líquido (ClO<sub>2</sub>), el cual se ubicó dentro de la Clínica Versalles y se destinó un cuarto para protección del sistema (Figura 4).



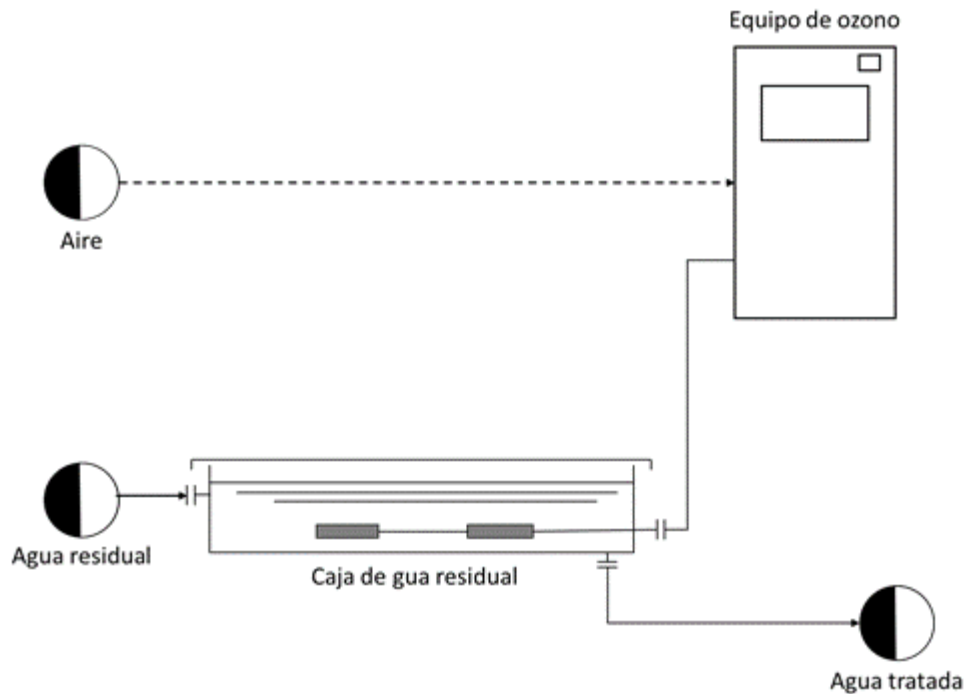
**Figura 4. Casetas de almacenamiento de los sistemas de oxidación avanzada. Fuente propia.**

Finalmente, se determinó mediante la caracterización inicial Tabla 5, el valor de pH de entrada (antes del tratamiento) para la caja sanitaria N°3 y N°5 siendo 7,6 y 8,04 respectivamente, el tiempo de operación del sistema de ozonización de 6 horas y el tiempo de funcionamiento del sistema de dosificación con oxidante líquido ( $\text{ClO}_2$ ) a 12 horas, concentración de dióxido de cloro al 5 % y el flujo de descarga en las cajas sanitarias N°3 y N°5 de cada oxidante, siendo 16 g/h para el ozono y 3,33 L/h de  $\text{ClO}_2$ . A continuación, se describen los materiales y equipos utilizados, así como una descripción detallada de cada proceso:

#### **1.12.1. Descripción y puesta en marcha de los sistemas de oxidación avanzada**

##### **Ozono**

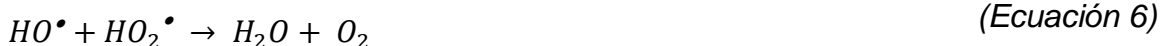
La Figura 5 muestra el esquema del proceso de ozonización utilizado en esta investigación. El ozono modelo HY-006-20A se genera a partir de aire del ambiente, transformando el oxígeno del aire en ozono mediante una descarga eléctrica. La corriente de ozono se conduce a través de una tubería de acero inoxidable hasta la tubería de descarga del agua residual, aquí ocurre la dispersión del ozono en finas burbujas producidas por difusores porosos de acero inoxidable sinterizado. El ozono se dosifica al agua a tratar en la caja sanitaria N°5 mediante burbujeo por medio de un difusor de acero inoxidable. Finalmente, el agua tratada se dirige hacia la red de alcantarillado público y luego a un cuerpo receptor de agua (rio).



**Figura 5. Proceso de ozonización para tratamiento de agua residual hospitalaria. Fuente: propia.**

Para establecer las condiciones de operación del sistema de ozonización como primera instancia se contempló la frecuencia diaria de la jornada laboral en la Clínica Versalles y la carga orgánica del vertimiento por lo tanto la operación se planteó como trabajo rutinario, constituyendo 6 horas diarias semanales de funcionamiento del sistema, un flujo de descarga de ozono al 80% o 16 g/h (la concentración del flujo del equipo es de 20 g/h al 100%, para obtener el caudal de descarga al 80% se aplicó la Ecuación 2) debido a que la naturaleza del vertimiento en la caja sanitaria N°5 en su mayoría es doméstica.

Una vez se establecen las condiciones de operación, se pone en marcha el funcionamiento del sistema de ozonización, en la operación, las pruebas experimentales se efectuaron a un pH del vertimiento ligeramente alcalino (7,26 a 8,25) a medida que el ozono entra en contacto lineal ( $O_3-ARH$ ) y este reacciona, el pH se mantiene en estos valores (7 a 7,5), garantizando la oxidación vía radical o indirecta (descomposición del ozono) mediante el siguiente mecanismo:



En el mecanismo de oxidación indirecta, los radicales que surgen indirectamente son oxidantes secundarios como el  $HO_2^\bullet$  (radical hidroperoxilo) y el radical hidroxilo ( $OH^\bullet$ ), estos radicales resultantes son los responsables del importante poder oxidativo que tiene el ozono, esta acción oxidativa es mucho mayor que la del ozono molecular (oxidación directa), propone [34]. Comparado con otros estudios reportados por [35] y [36] y colaboradores demostraron que se puede alcanzar eficiencias de remoción de DQO del 75% y 68% respectivamente usando concentraciones bajas de ozono.

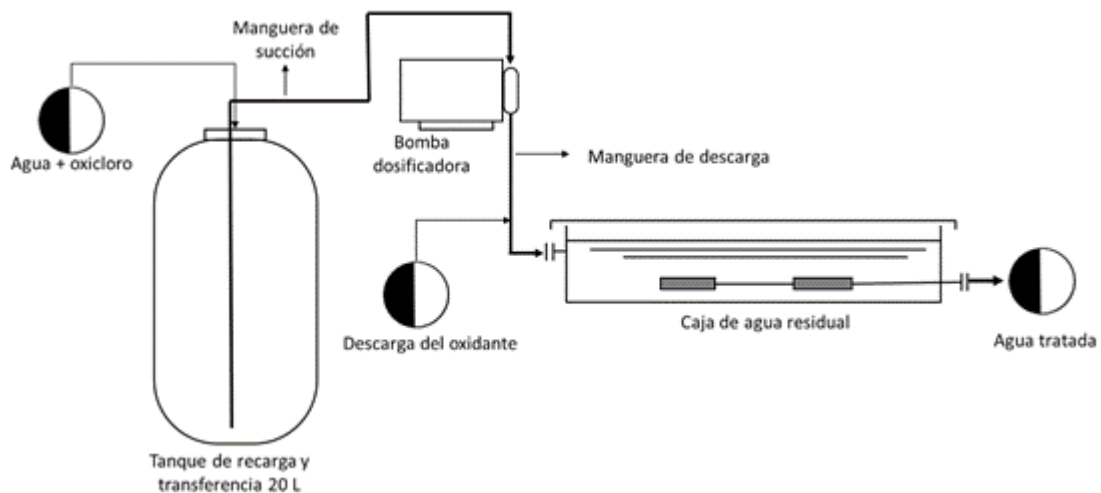
El Tiempo de operación del sistema de ozonización con base en la literatura demuestra que el tiempo optimo recomendado son 2 horas de contacto entre el  $O_3$  y el agua residual [35], para alcanzar la máxima remoción de contaminantes orgánicos presentes en este tipo de aguas residuales [37]. En ese orden de ideas, el tiempo de funcionamiento para el sistema de ozonización fue de 6 horas, encendiendo el sistema a las 9:00 a.m. y apagándolo a las 3:00 p.m. Esto se planteó teniendo en cuenta los picos de actividad dentro de la clínica, encontrados en la caracterización preliminar (So).

Finalmente, se concluyó que la ozonización es efectiva a un pH ligeramente alcalino (7 – 8) ya que a esta condición el ozono reacciona de forma indirecta y oxida el ARH por la generación del radical hidroxilo, propone [36]. y argumenta [38] demostrando que los valores por encima de un pH de 7 aumentan la eficiencia de oxidación del efluente, reduciendo parámetros como  $DBO_5$ , DQO y COT, fenoles, grasas y aceites y solidos sedimentables esto debido al aumento en la formación del radical hidroxilo ( $OH^\bullet$ ); con base en lo anterior se debe tener en cuenta que el valor del pH para la caja sanitaria N°5 se encuentra entre un valor de 7,26 a 8,25 haciendo efectiva la oxidación del vertimiento, por tanto el sistema de oxidación avanzada remueve la carga orgánica.



## Dióxido de cloro

El diagrama del sistema de dosificación con oxidante líquido ( $\text{ClO}_2$ ), mediante dióxido de cloro utilizado en este estudio se muestra en la Figura 6. La dosificación inicia en el tanque de recarga y transferencia de 40 L, construido en acero inoxidable 316 y bomba dosificadora de tipo diafragma con actuación electromagnética (solenoides) de marca wáter Treatment Colombia, modelo YW 938-2 en este tanque se vierte el dióxido de cloro (dosificación al 5%) y luego se llena hasta un volumen de 40 litros utilizando como solvente el agua. El líquido a dosificar (agente oxidante) ingresa al cabezal de bombeo y sale de la bomba hacia la caja sanitaria mediante una línea de manguera de teflón de 3/8 de pulgada. La tasa de flujo se regula de acuerdo con la Ecuación 1. Finalmente, este sistema permite tratar la materia orgánica disminuyendo la carga orgánica de contaminación mediante la transferencia de electrones.



**Figura 6. Proceso de dosificación con oxidante líquido ( $\text{ClO}_2$ ) como para tratamiento de agua residual hospitalaria. Fuente: propia.**

Para establecer las condiciones de operación para el sistema de dosificación mediante oxidante líquido ( $\text{ClO}_2$ ) de igual manera se inició contemplando la jornada laboral en la Clínica Versailles y los valores obtenidos de la caracterización preliminar, por consiguiente, se estableció que la operación sea trabajo rutinario debido a que el tiempo de funcionamiento para este sistema de dosificación mediante líquido ( $\text{ClO}_2$ ) fue de 12 horas diarias semanales de funcionamiento, con una descarga de oxidante de 3,33  $\text{ClO}_2$  L/h (la dosis de descarga se obtuvo aplicando la Ecuación 1). El dióxido de cloro es un producto seguro, no tóxico, no

irritante, no explosivo, de fácil manejo, es un biocida oxidante a pH bajo o alto (3 a 9), pero ha demostrado ser muy sensible a la luz ultravioleta; por lo tanto, debe almacenarse en recipientes herméticos protegidos de la luz, la sensibilidad de  $\text{ClO}_2$  a la luz ultravioleta ayuda a degradar el exceso de cloro libre producido después del tratamiento, menciona [18].

Una vez se establecen las condiciones de operación para el funcionamiento del sistema de dosificación mediante agente líquido ( $\text{ClO}_2$ ); se inició las pruebas experimentales, las cuales se efectuaron a un pH del efluente ligeramente alcalino (7,8 a 8,1), conforme el dióxido de cloro entra en contacto lineal líquido-líquido ( $\text{ClO}_2\text{-ARH}$ ) y este reacciona, el pH se mantiene en estos valores, garantizando la oxidación; debido a que la molécula es altamente energética, esta reacciona violentamente si se encuentra en altas concentraciones frente a agentes reductores [39]. El mecanismo exacto de reacción del  $\text{ClO}_2$  con el agua residual dependerá de las características específicas del agua, como su pH, temperatura y la presencia de otros químicos.

Finalmente, los resultados obtenidos luego de finalizar el funcionamiento del sistema de dosificación mediante oxidante líquido ( $\text{ClO}_2$ ) se muestran más adelante.

### **1.13. Evaluación de la eficiencia de remoción de la carga contaminante del sistema de oxidación avanzada**

#### **1.13.1. Caracterización del agua residual hospitalaria después del tratamiento**

En la Tabla 6 se indica la caracterización realizada después de haber instalado y puesto en marcha los sistemas de tratamiento en las cajas sanitarias N°3 y N°5, esta caracterización se realizó por los siguientes laboratorios, MICROAMBIENTAL INGENIERIA SAS, Water Technology Eng. SAS y HIDROLAB COLOMBIA LTDA, los cuales son acreditados ante el IDEAM (Anexo 4).

**Tabla 6. Caracterización del vertimiento después del tratamiento (S).**

<b>Parametro</b>	<b>Unidades</b>	<b>Caja<sub>[N°3]</sub></b>	<b>Caja<sub>[N°5]</sub></b>	<b>Resolución 0631</b>
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	212,3	128,2	300
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	97,0	60,2	225,00
Carbono Orgánico Total (COT)	mg/L	186,7	156,8	-
Grasas y aceites	mg/L	5,96	10,5	15
pH	Unidades de pH	7,23-7,64	7,91-8,23	5 - 9
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	152,5	133,3	75
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	1,0	0,4	7,5
Fenoles totales	mg/L	0,014	0,014	0,2

**Fuente: propia.**

Con base en los resultados de la caracterización del agua residual hospitalaria [40] a la salida de las cajas sanitarias N°3 y N°5 (Tabla 6) (después del tratamiento), se puede observar que la mayoría de los parámetros fisicoquímicos se alinearon a los de la resolución 0631/2015, artículo 14 (atención médica con y sin internación), dejando de ser una problemática para el medio ambiente y la comunidad. Solo los Sólidos Suspendidos Totales (SST) resultaron fuera de los límites máximos permisibles, debido a que la población envía residuos de papel higiénico, toallas de manos e incluso pañales desechables por los sanitarios de las clínicas, para mitigar este agravante se decidió instalar una criba en las cajas sanitarias N°3 y N°5.

**1.13.2. Eficiencia del sistema de dosificación con oxidante líquido (ClO<sub>2</sub>)**

**Tabla 7. Eficiencia del sistema de tratamiento con dióxido de cloro**

Párametro	Caracterización So	Caracterización S	Eficiencia de remoción %
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	618	212,3	65,65
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	386,25	97,0	74,89
Carbono Orgánico Total (COT)	224,5	195,3	13,01
Grasas y aceites	12,1	5,96	50,74
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	71,4	152,5	-113,59
Sólidos Sedimentables (SSED)	1,5	1,0	33,33
Fenoles totales	0,021	0,014	33,33

Fuente: propia.

En la Tabla 7 se indican todos los parámetros fisicoquímicos analizados, los cuales presentaron una eficiencia favorable, a excepción de los Sólidos Suspendidos Totales, para este parámetro en particular el resultado no es representativo, más adelante se explicará el motivo. Finalmente, mediante la caracterización final se ha demostrado el alto poder oxidativo que tiene el Dióxido de cloro, como tratamiento de aguas residuales de origen hospitalario.

### 1.13.3. Eficiencia del sistema de ozonización

**Tabla 8. Eficiencia del sistema de tratamiento con ozono**

Párametro	Caracterización So	Caracterización S	Eficiencia de remoción %
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	513,5	128,2	75,03
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	320,94	60,2	81,24
Carbono Orgánico Total (COT)	236,9	191,4	19,21
Grasas y aceites	12,3	10,5	14,63
Sólidos Suspendedos Totales (SST)	240,9	133,3	44,67
Sólidos Sedimentables (SSED)	1,2	0,4	66,67
Fenoles totales	0,018	0,014	22,22

Fuente: propia.

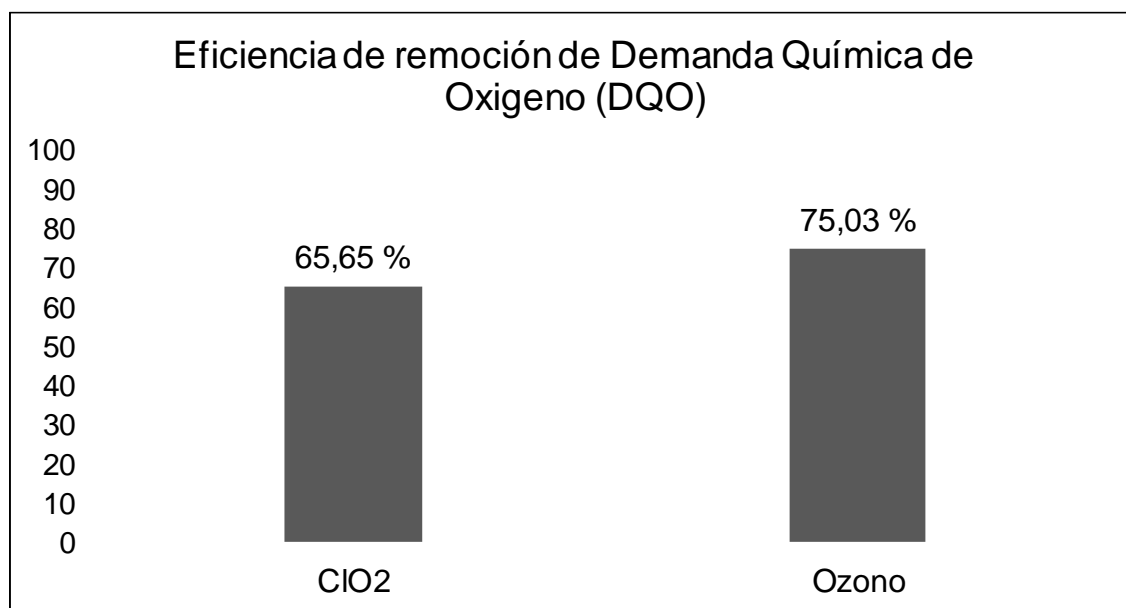
En la tabla 8 los parámetros fisicoquímicos como DQO, DBO<sub>5</sub>, COT, grasas y aceites, SST, SSED y fenoles se encuentran dentro de los límites máximos permisibles de la resolución 0631/2015, demostrando el poder oxidativo que tiene el ozono al contacto con el agua residual de origen hospitalario.

### 1.13.4. Eficiencia de remoción de los dos sistemas por parámetro monitoreado

Durante esta investigación se evaluó el rendimiento de los procesos de ozonización y dosificación de oxidante líquido comparando los porcentajes de reducción de parámetros como DQO, COT, DBO<sub>5</sub>, SST, SSDE, grasas y aceites y fenoles obtenidos después de ozonizar y dosificar el agente oxidante líquido (ClO<sub>2</sub>) en el efluente. Durante los dos procesos planteados se mantuvieron diferentes condiciones de operación. A continuación, se detalla el esfuerzo experimental realizado para el análisis de remoción de cada proceso:

## **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La materia orgánica (DQO) es un medidor analítico que mide la cantidad de oxígeno consumido durante la descomposición (oxidación) de la materia orgánica que se encuentra en las aguas residuales para convertirla en agua y dióxido de carbono. La DQO también se puede utilizar para medir el grado de contaminación en las aguas residuales [41].



**Figura 7. Eficiencia de remoción de DQO. Fuente: propia.**

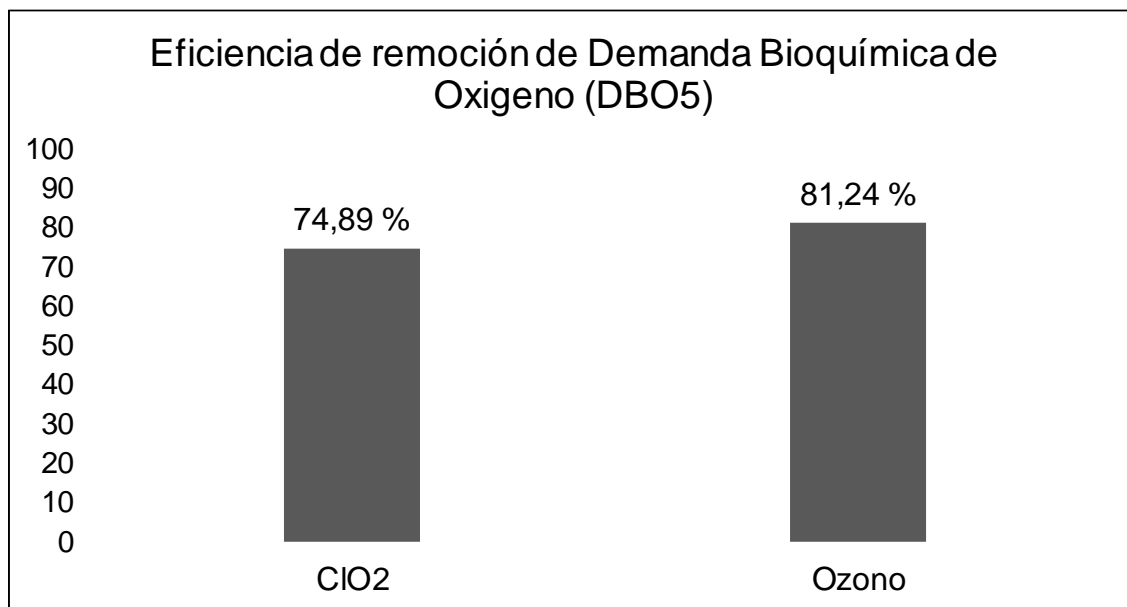
En la Figura 7 se evidencia la alta tasa oxidativa que presentan tanto el sistema de dosificación mediante dióxido de cloro y el sistema de ozonización, en cuestión de eficiencia el ozono alcanza un valor del 75,03 % de DQO mayor al del dióxido de cloro el cual presenta un valor de 65,65 % de DQO, esto se debe a que el ozono posee un alto potencial oxidativo a comparación del ClO<sub>2</sub> [42]. El empleo de estos métodos alternativos como sistemas de tratamiento para eliminar o remover contaminantes presentes en el agua residual hospitalaria resultan ser eficientes.

## **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), afirma [36], es “es la concentración másica de oxígeno disuelto consumido en condiciones definidas por la oxidación bioquímica de las materias orgánicas e inorgánicas en la muestra líquida en un periodo de 5 días. Se utiliza para medir el grado de contaminación y biodegradabilidad de una muestra”.

En cuanto a la eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub>, Figura 8, se puede observar que el sistema de ozonización tiene una eficiencia del 81,24 % de DBO<sub>5</sub> y para el sistema

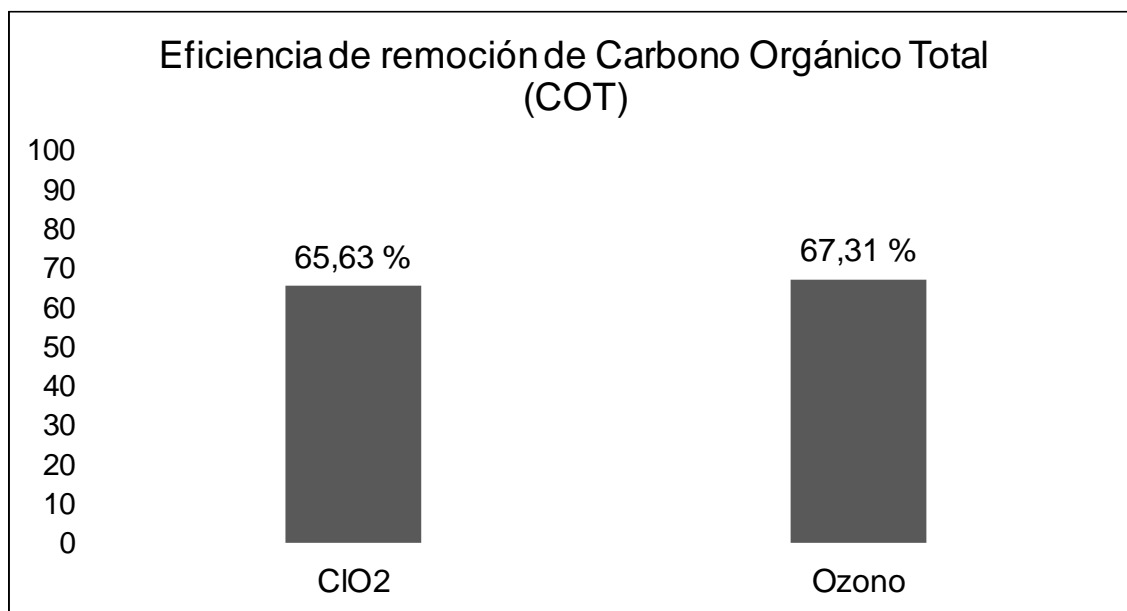
de dosificación mediante  $\text{ClO}_2$  un 74,89 % de  $\text{DBO}_5$ . Estos valores resultantes en cuestión de eficiencia de remoción para la  $\text{DBO}_5$  en cada sistema de tratamiento, indica que la biodegradabilidad de las Aguas Residuales Hospitalarias es más factible y considerablemente más eficaz refiere [43].



**Figura 8. Eficiencia de remoción de  $\text{DBO}_5$ . Fuente: propia.**

### **Carbono orgánico Total (COT)**

Comparando el comportamiento de los dos sistemas de oxidación avanzada,  $\text{ClO}_2$  y ozono (Figura 10) se encuentra que las mayores remociones de COT ocurrieron con el ozono, con un promedio de 19,21 % frente a 13,01 % para  $\text{ClO}_2$ , estos resultados permiten establecer que la composición del agua residual que vierte en la caja sanitaria N°5 podría contener una elevada concentración de materia orgánica (tabla 9), lo que podría explicar, la ligera diferencia de remoción entre ambos sistemas de oxidación avanzada.

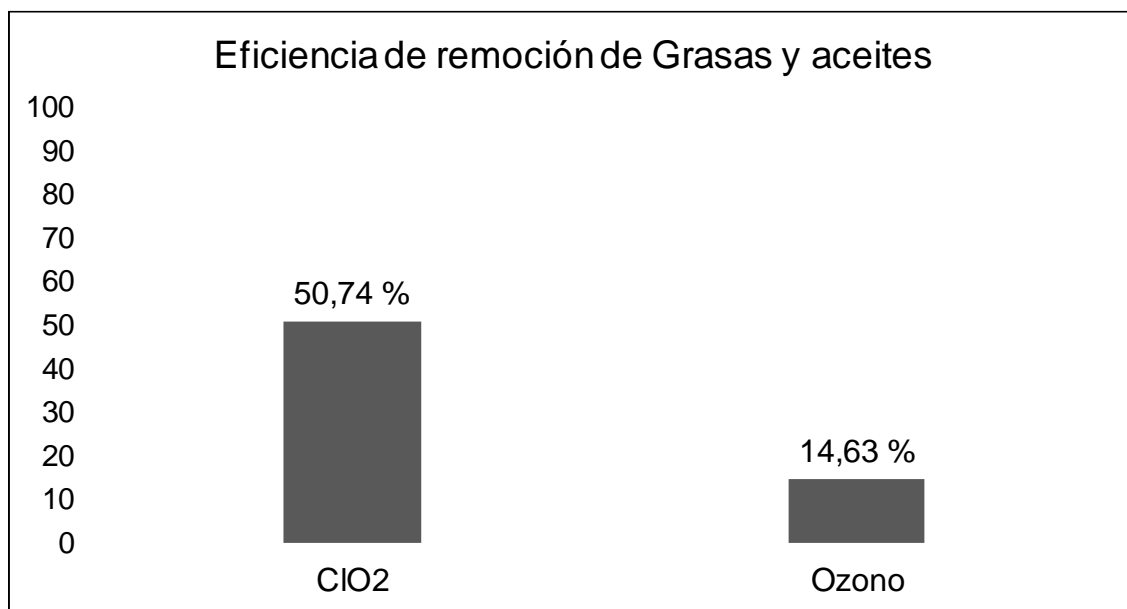


**Figura 9. Eficiencia de remoción de COT. Fuente: propia.**

### **Grasas y aceites.**

En la Figura 11, se aprecia que la remoción de grasas y aceites en el sistema de dosificación mediante oxidante ClO<sub>2</sub>, es superior al sistema de ozono, obteniendo valores de 50,74 % y 14,63% respectivamente, estos resultados se deben a que los vertimientos que se descargan en la caja sanitaria N°5 en su mayoría son limpiadores, en este caso detergentes, desengrasantes y ácido peracético son utilizados como sanitizantes de alimentos, conviene especificar que estos valores resultantes están por debajo de los límites máximos permisibles estipulados en la resolución 0631 [5]. Por último, para mitigar el uso desmedido de los detergentes en la clínica Versailles se realizó un cambio de proveedor, suministrando detergentes que son amigables con el medio ambiente.

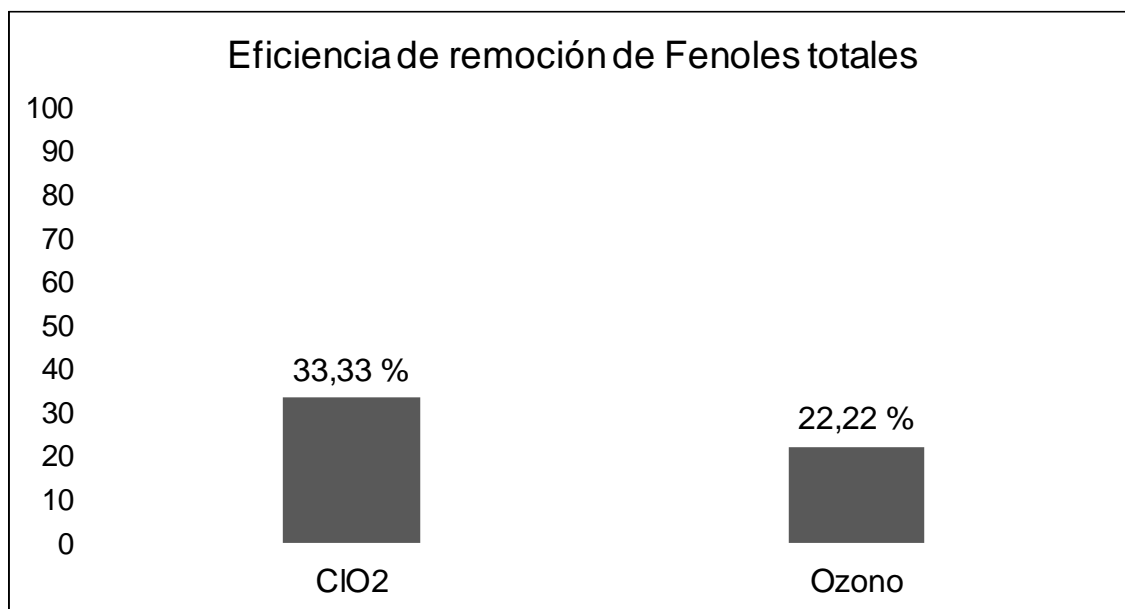




**Figura 10. Eficiencia de remoción de grasas y aceites. Fuente: propia.**

### **Fenoles totales (pHOH)**

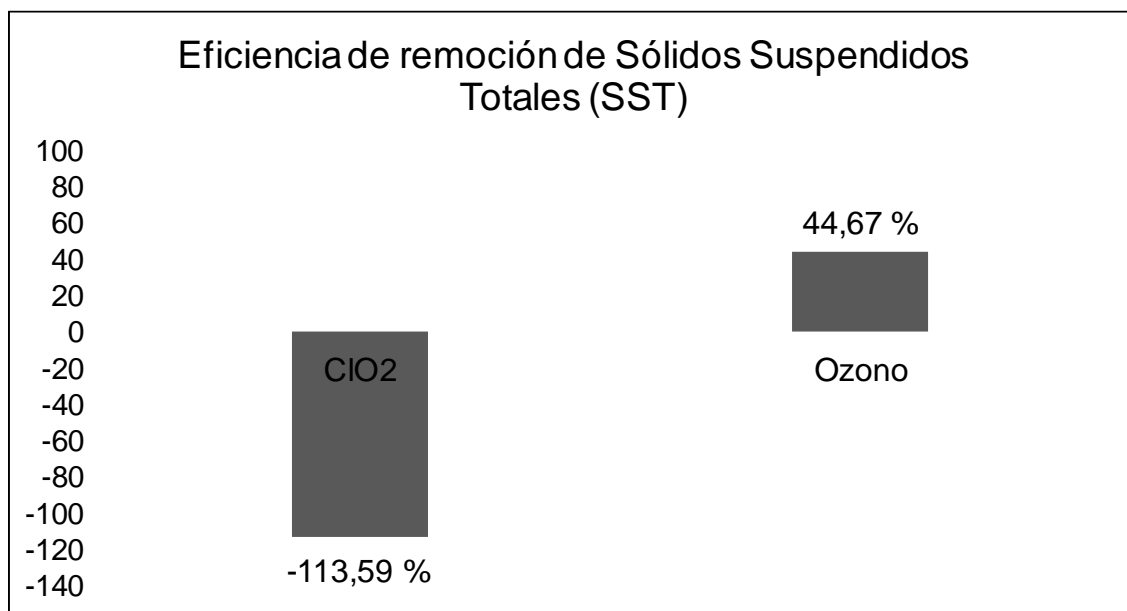
En cuanto a la remoción de fenoles, el sistema de dosificación mediante  $\text{ClO}_2$  presenta una eficiencia del 33,33 % en comparación con el sistema de ozonización el cual presenta una eficiencia de 22,22 %. Merece la pena subrayar que los parámetros analizados en la caracterización inicial (Tabla 6) estuvieron por debajo del límite máximo permisible, Resolución 0631/2015 y luego de caracterización final (Tabla 7) se logró remover los porcentajes citados en la Figura 12, garantizando la eficiencia de ambos sistemas.



**Figura 11. Eficiencia de remoción de fenoles. Fuente: propia.**

### **Solidos Suspendidos Totales (SST)**

En la Figura 12 se presenta un valor negativo para el sistema de dosificación líquida mediante ClO<sub>2</sub>, este valor no está relacionado directamente con el tratamiento, por lo tanto, no es un dato representativo, mientras que para el sistema de ozonización se presenta un valor positivo de 44,67 %. Esta problemática se da debido a que la caracterización final se realizó en una época donde la cantidad de pacientes en la Clínica Versalles se incrementó en un 80% evidenciando residuos de papel higiénico, toallas de manos e incluso pañales desechables salir por la caja sanitaria N°3. Para mitigar este parámetro para el año 2023 se realizará una construcción de obra civil de una criba ya que actualmente la clínica no cuenta con este sistema, del mismo modo la Clínica Versalles realizará capacitaciones de concientización enfocadas en no arrojar residuos por los sanitarios en pro de disminuir el impacto ambiental en los ecosistemas a raíz de esta problemática.

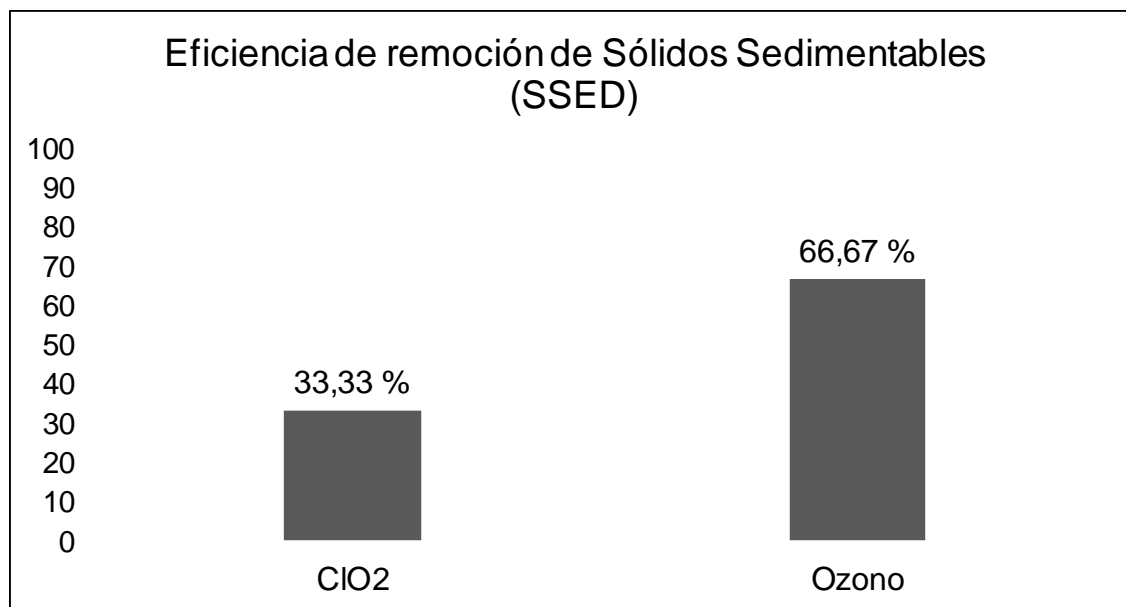


**Figura 12. Eficiencia de remoción de Solidos Suspendedos Totales.**  
Fuente: propia.

### **Solidos Sedimentables**

Como se evidencia en la Figura 13 la desestabilización de los sólidos Suspendedos en el sistema de ozonización es superior, presentando un valor del 66,67 % con respecto a el sistema de dosificación con oxidante liquido ClO<sub>2</sub> el cual presenta un valor del 33,33 %, estos resultados se deben a el alto poder oxidativo que presenta el radical hidroxilo (OH°) ya que promueve la descomposición del ozono a radicales libres los cuales son menos selectivos y más rápidos para oxidar (reacción por radicales libres) [35]. Sin embargo, los valores presentados en la caracterización inicial (tabla 6) y caracterización final (tabla 7) estuvieron por debajo de los límites máximos permisibles estipulados por la Resolución 0631.

Finalmente, cabe recalcar que para este parámetro no es conveniente hablar de remoción, ya que los sistemas de oxidación avanzada para este caso desestabilizan este parámetro el cual pasa de Solidos Disueltos Totales (TDS) a Solidos Sedimentables (SSED).



**Figura 13. Eficiencia de remoción de los sólidos sedimentables.**  
Fuente: propia.

#### 1.14. Costos del tratamiento

Los procesos de oxidación avanzada en la actualidad se han convertido en una alternativa más eficaz debido a el área que ocupa y la eficiencia de remoción [37], aunque estos procesos de orden terciario suelen ser más costosos en comparación con los procesos tradicionales de descontaminación de aguas residuales, terminan siendo más rentables ya que los procesos tradicionales generan subproductos cuyo tratamiento puede volverse más costoso que un sistema de oxidación avanzada (POA's). La Tabla 9 muestra la comparación entre los costos de los procesos comunes de tratamiento de agua residuales y los procesos de oxidación avanzada [7], merece la pena subrayar que el costo de los tratamientos comunes incluye la realización de obra civil, para el caso de los sistemas de oxidación avanzada el costo incluye obra civil, instalación y operación.

**Tabla 9. Tratamientos actuales de aguas residuales y costos de obra civil, instalación y puesta en marcha de los tratamientos.**

<b>Tratamiento</b>	<b>Costo COP</b>
Planta de tratamiento de agua residual mediana	140,000,000
Planta de tratamiento de agua residual grande	1,000,000,000
Ozonizacion	80,000,000
Dosificacion mediante oxidante liquido: dióxido de cloro	25,000,000

**Fuente: Valores ajustados al año 2023.**

El sistema de ozonización y el sistema de dosificación mediante agente líquido ( $\text{ClO}_2$ ) en comparación con otras técnicas más convencionales es mucho más rentable [44] en cuanto a mantenimiento de equipos asociados, la puesta en marcha, consumo de insumos y sobre todo a la baja producción de lodos. El tratamiento más costoso que actualmente se utiliza es una Planta de Tratamiento de Agua Residual (PTAR), el alto costo se debe al costo de inversión inicial (costos de diseño, materiales, maquinaria, equipos y mano de obra.), y los costos de funcionamiento (administración, operación, mantenimiento) [45].

Asociando costos de tratamiento para los sistemas de oxidación avanzada como: costos asociados a la energía, costos asociados a reactivos y costos asociados a mantenimiento se estima que el costo de tratamiento de agua residual hospitalaria por ozonización y dosificación de oxidante líquido ( $\text{ClO}_2$ ) es de 105 millones de pesos, incluyendo que son procesos que permiten remover (pulimiento) la carga orgánica presente en vertimientos de origen hospitalario atractivos económicamente, resaltando la remoción de parámetros como DQO,  $\text{DBO}_5$ , SST, SSED, COT, grasas y aceites, y fenoles.

## CONCLUSIONES

- Ante la problemática medioambiental que se está viviendo actualmente en la ciudad de Cali y el mundo entero, la implementación de nuevas tecnologías como medio de tratamiento terciario para este caso, el ozono y  $\text{ClO}_2$  se han transformado en un tema de suma importancia, fundamental para el desarrollo social, ya que precisamos del recurso hídrico para nuestra existencia.
- Con respecto al trabajo investigativo, los resultados de la caracterización de entrada (antes de la instalación de los POA's) fueron significativos, encontrándose la mayoría de ellos fuera del rango de los límites máximos permitidos por la resolución 0631, por lo tanto, fue necesario realizar la implementación de los POA's como tratamiento para la remoción de la carga contaminante de las aguas residuales hospitalarias procedentes de la Clínica Versailles.
- Luego del análisis de los resultados de la caracterización inicial, se acondicionó la ubicación de los sistemas de oxidación avanzada (ozono y  $\text{ClO}_2$ ), iniciando por la realización de una obra civil como medida de protección ante las condiciones ambientales, como segunda medida, la instalación de una acometida de un punto eléctrico, y por último se estableció la operatividad de los sistemas de oxidación como: pH a condiciones alcalinas (7-8), funcionamiento del sistema de ozono durante 6 horas y el sistema de dosificación mediante oxidante líquido ( $\text{ClO}_2$ ) 12 horas durante un periodo de 7 meses para ambos sistemas, los caudales de descarga fueron, para el ozono 16 g/h y  $\text{ClO}_2$  3,33 L/h y una concentración de  $\text{ClO}_2$  al 5%.
- Al final de la operatividad de los sistemas de oxidación avanzada se alcanzó remociones para el sistema de ozonización y dióxido de cloro de DQO (75%),  $\text{DBO}_5$  (81%), COT (67%), grasas y aceites (15%), SST (45%), SSED (68%), fenoles totales (22%) y DQO (66%),  $\text{DBO}_5$  (75%), COT (66%), grasas y aceites (51%), SST (-112%), SSED (33%), fenoles totales (33%) respectivamente, manteniendo un pH Alcalino, 16 g/h de flujo de descarga de ozono y un caudal de descarga de 3,33  $\text{ClO}_2$  L/h; alcanzando a estas condiciones una alta eficiencia de remoción.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda explorar el efecto de aumentar concentraciones  $O_3$  superiores a 16 ppm, a fin de analizar si se puede alcanzar remociones superiores de los parámetros: DQO,  $DBO_5$ , SSED, COT, grasas y aceites, y fenoles.
- Se recomienda rediseñar las cajas sanitarias para generar un estancamiento en el cual se aumente el tiempo de contacto entre los POA's y el agua residual hospitalaria.
- Se recomienda aumentar el tiempo de retención hidráulico (TRH) para el tratamiento de ozonización y dosificación mediante dióxido de cloro a fin de mostrar si existe algún efecto significativo de los parámetros: DQO,  $DBO_5$ , SSED, COT, grasas y aceites, y fenoles.
- Para posteriores investigaciones se recomienda realizar tratamientos con diferentes concentraciones de dióxido de cloro entre 6-10% y analizar si se puede alcanzar remociones de DQO, COT y fenoles.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. A. Guarnizo Liz y C. Vittorino , «Determinación del Impacto Ambiental Generado por el Vertimiento de las Aguas Residuales del Hospital Federico Lleras Acosta sobre los Ecosistemas Acuáticos Naturales y la Salud Pública en la Ciudad de Ibagué.,» Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA, Ibague, 2019.
- [2] J. A. Jaimes Urbina y J. A. Vera Solano, «Los contaminantes emergentes de las aguas residuales de la industria farmacéutica y su tratamiento por medio de la ozonización,» *Sena*, vol. 84, nº 2, pp. 249-263, 2020.
- [3] A. K. G. P. S. G. M. V. Abhradeep Majumder, «A review on hospital wastewater treatment: A special emphasis on occurrence and removal of pharmaceutically active compounds, resistant microorganisms, and SARS-CoV-2,» *environmental chemical engineering*, vol. 9, nº 2, 2021.
- [4] M. P. Palacios Vintimilla y J. C. Erazo Alvarez, «La responsabilidad social e impacto ambiental en hospitales,» *Koinonia*, vol. 6, nº 12, pp. 70-72, 2021.
- [5] Resolucion 0631, Resolucion 0631, Fenavi, 2015.
- [6] Y. Huaccallo Aguilar, Artist, *Integración de procesos biológicos y cupo asistidos con catalizadores magnéticos para la eliminación eficiente de compuestos farmacéuticos presentes en aguas residuales [Tesis doctoral]*. [Art]. Universidad Complutense de Madrid, 2021.
- [7] J. Cruz Olivares y C. Péres Alonso, «Caracterización y propuesta de tratamiento del agua residual doméstica de la localidad de Arcelia, Guerrero,» Universidad Autónoma del Estado de México, Mexico, 2019.
- [8] DECRETO 1076, DECRETO 1076, Fundacion publica, 2015.
- [9] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, Resolución 0631 del 2015, Minambiente, 2015, 17 de marzo.
- [10] Water tratment Colombia, Standard methods for the examination of water and wastewater, Cali: RefWorks, 2022.
- [11] P. Malacatus y E. Chamorro, «Análisis de eficiencia de remoción de contaminantes de los sistemas de tratamiento de aguas 65 residuales en extracción de aceite de palma.,» *FIGEMPA*, vol. 2, nº 7, pp. 62-67, 2017.



- [12] Dirección técnica ante recursos naturales y aseo, «Auditoría de cumplimiento al manejo de vertimientos y su impacto en los cuerpos de agua superficiales de la zona rural del distrito especial de Santiago de Cali,» Contraloría Cali, Cali, 2020.
- [13] K. T. Rodríguez Agudelo, R. N. M. Sc Agudelo Valencia y M. C. M. Sc. Caicedo Jiménez, «Tratamiento de aguas residuales producidas en el proceso de remojo en curtiembres empleando ozono y hierro como catalizador,» *ION*, vol. 34, nº 2, pp. 105-113, 2021.
- [14] C. Medina Valderrama, W. Uriarte Tirado, E. Cardenas Vásquez y S. Orrego Zapo, «Treatment wastewater of slaughterhouses through technology a oxidation: fenton process,» *Ingeniería UC*, vol. 27, nº 2, pp. 165-174, 2020.
- [15] M. J. Andrade Cuvi, M. Guijarro Fuertes, S. Jara Gomez, P. Narvaez López, C. Moreno Guerrero y A. Concellon, «Efecto del tratamiento con ozono gaseoso sobre la calidad fisicoquímica y capacidad antioxidante de naranjilla (*Solanum quitoense* Lam),» *Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, vol. 19, nº 2, 2018.
- [16] S. J. Jaramillo Arvilla, «Estudio cuantitativo de la carga contaminante variante de las aguas residuales hospitalarias de la Clínica Imbanaco de la ciudad de Cali,» Universidad Pamplona, Santander, 2021.
- [17] M. S. Becerra Díaz y S. F. Cadena Ibañez, «Evaluación de la aplicación del método fenton a nivel laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa aguas San Juan S.A.S EPS,» Fundación universitaria de América, Bogotá D.C, 2016.
- [18] T. C. Loja Gutana, «Diseño a escala de piloto de un sistema de eliminación de fenoles en agua residuales de una empresa textil empleando dióxido de cloro,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2015.
- [19] N. Singh Maurya, A. Kumari y B. Tiwari, Hospital wastewater treatment scenario around the globe, Elsevier, 2020, pp. 549-570.
- [20] G. Roldán Pérez, «Eliminación de compuestos farmacéuticos en aguas mediante procesos de oxidación avanzada y técnicas de filtración por membranas,» *Elsevier*, vol. 77, nº 1, pp. 53-59, 2011.
- [21] Congreso de la república de Colombia, «Ley 1333,» Gaceta oficial del congreso, 2009, 21 de julio.

- [22] Fibras y Normas de Colombia S.A.S., «Fibras y normas de colombia S.A.S. Ingeniería en agua.» 2022. [En línea]. Available: <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/aguas-residuales-definicion-e-importancia/>. [Último acceso: 28 Septiembre 2022].
- [23] I. J. Sandoval Rojas, D. Rodríguez Acosta, A. Perdomo Gualtero, R. A. Muñoz Calderón y D. I. Caviedes Rubio, «Treatments for Removal of Heavy Metals Commonly Found in Industrial Wastewater. A Review,» *Ingeniería y Región*, vol. 13, nº 1, pp. 73-90, 2015.
- [24] R. Rojas, «Curso Internacional "gestion integral de tratamiento de aguas residual",» *Academia*, vol. 1, nº 1, pp. 12-14, 2022.
- [25] E. Vallester, C. Farrugia, Y. Chung, V. Cerezo, C. Ballesteros y R. Ábrego, «Evaluación de un filtro biológico con material de soporte inorgánico rocas a una escala de laboratorio.,» *Iniciación científica.*, vol. 3, nº 2, pp. 87-89, 2018.
- [26] Rotoplas S.A. de C.V., «Rotoplas mas y mejor agua,» 2 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://rotoplas.com.mx/conoce-el-sistema-de-tratamiento-de-aguas-residuales-especializado-para-tus-necesidades/>. [Último acceso: 28 Septiembre 2022].
- [27] Grupo Acura, «Grupo Acura,» 14 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://grupoacura.com/blog/soluciones-y-tecnologia/sistemas-de-tratamiento-de-aguas/>. [Último acceso: 19 Octubre 2022].
- [28] Spena Group Safe H2O, «Spena Group Safe H2O,» 15 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://spenagroup.com/tipos-tratamiento-agua-aguas-residuales/#1561762217672-1567bfa2-456a>. [Último acceso: 19 octubre 2022].
- [29] The Nature Conservancy , «Reef Resilienci Network,» Reef Resilienci Network, 2022. [En línea]. Available: <https://reefresilience.org/es/management-strategies/wastewater-pollution/existing-treatment-systems/>. [Último acceso: 19 Octubre 2022].
- [30] E. C. Campo, K. Pérez Cortés, R. N. Agudelo Valencia, K. V. Valderrama López y C. Pedreros Calvo, «Reducción de la concentración de DQO y COT en aguas residuales de la industria farmacéutica empleando ozono catalizado por Fe<sup>2+</sup>. Estudio de caso a escala real.,» *Mutis*, vol. 11, nº 2, pp. 56-63, 2021.
- [31] J. A. Garrido Cardenas, B. Esteban García, A. Agüera, J. A. Sánchez Pérez y F. Manzano Agugliaro, «Wastewater treatment by advanced oxidation process

and their worldwide research trends,» *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 17, nº 1, pp. 5-19, 2020.

- [32] A. T. Ortega Ramírez y N. Sánchez Rodríguez, «Tratamientos avanzados para la potabilización de aguas residuales,» *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 31, nº 2, pp. 121-134, 2021.
- [33] D. V. F. Giovanna, «“Concentración de dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>), dosis de dilución y tiempo de desinfección en la producción de germinado hidropónico de cebada”,» Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque, 2022.
- [34] S. J. Garcia Jara y Y. R. Meza Ayala, «Aplicación de las microburbujas/Ozonización/Ultrasonido y plasma en el tratamiento de aguas residuales: revisión sistemática 2021.,» Universidad Cesar Vallejo, Lima, 2021.
- [35] I. M. Ramirez, «Ozonación de lixiviados estabilizados de rellenos sanitarios para transformar materia orgánica recalcitrante soluble,» *Universidad Nacional Autonoma de Mexico*, vol. 1, nº 1, pp. 105-192, 2004.
- [36] N. L. Mena Guerrero, «Tratamiento de lixiviados mediante ozonización catalítica heterogénea,» Universidad del Valle, Cali, 2014.
- [37] A. C. M. M. F. Angel Ospina, «Ozonización catalítica en el tratamiento de aguas residuales: Un análisis bibliométrico,» *Ingeniería y Competividad*, vol. 24, nº 1, pp. 7-27, 2022.
- [38] A. R. Mina Ghahrchi, «Electro-catalytic ozonation for improving the biodegradability of mature landfill leachate,» *Journal of Environmental Management*, vol. 24, nº 1, p. 109811, 2020.
- [39] C. G. C. Margarita García Afanador, «Evaluación del uso de dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>) como agente oxidante para la remoción de grasas en aguas provenientes de la industria de beneficio de pollos,» Universidad De La Salle, Bogotá, 2011.
- [40] WATER TREATMENT COLOMBIA SAS, «CARACTERIZACIÓN DE VERTIMIENTOS LIQUIDOS,» Cali, 2022.
- [41] J. V. S. C. J. M. Fernandez Cahuaya, «Uso de dos sistemas de tratamiento para mejorar la calidad de las aguas residuales de pelletizado de plásticos, Huarochirí 2020,» Universidad César Vallejo, Lima, 2020.

- [42] F. Alonso, D. Fernández Ríos y A. Capparelli, «Cinética de foto degradación de metomilo a través tecnologías de oxidación avanzadas,» *SCIELO*, vol. 11, nº 1, pp. 10-18, 2020.
- [43] M. D. A. Rodríguez y B. E. C. Martínez., «Tratamiento de aguas residuales procedentes de la industria láctea por métodos de oxidación avanzada heterogéneos de fenton, ozonización y foto-fenton a escalas de laboratorio.,» Universidad Politécnica Salesiana sede Quito, Quito, 2021.
- [44] Aguamarket, «Aguamarket,» 23 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=3008>. [Último acceso: 10 octubre 2022].
- [45] B. O. O. S. I. E. Gustavo Heredia, «Evaluación del costo anual equivalente de las plantas de tratamiento de aguas residuales de los municipios de Cliza y Tolata.,» *SCIELO*, vol. 19, nº 2, pp. 75-82, 2019.

## ANEXOS

**Anexo N1: toma de muestras para control y seguimiento:** para la medición de los parámetros fisicoquímicos se siguieron los estándares de calibración del medidor de carbono orgánico total y fotómetro multiparamétrico HI83399 para medición de DQO, cloruros, sulfatos y alcalinidad. Seguidamente se observa una descripción de la calibración de equipos de los equipos.

### **Calibración y método de medición de TOC**

Se siguió el siguiente procedimiento para la calibración del equipo y la medición de COT.

**Lavado:** los viales usados se lavaron en una solución de ácido nítrico al 10% para eliminar los agentes contaminantes de anteriores muestras. Es fundamental para el correcto funcionamiento del equipo mantener lleno el contenedor de agua Tipo 1 y tener a mano el contenedor de agua destilada en todo momento para evitar problemas técnicos como derrames inesperados.

**Soluciones de calibración:** Se prepararon diferentes soluciones para calibrar y determinar los intervalos de medición y precisión del equipo. A continuación, se menciona cada solución preparada.

- Solución de Ácido Fosfórico al 20%.
- Solución patrón estándar; consiste en diluir 2.125 gramos de ftalato ácido de potasio en 250 ml de agua para obtener una concentración de 1000 mg O<sub>2</sub>/L que posteriormente el equipo de medición diluye y realiza una curva de calibración de 2 a 60 mg O<sub>2</sub>/L.

**Anexo N2: Procedimiento de medición.** La determinación de la cantidad de Carbono Orgánico total consiste en la rotura de las moléculas orgánicas del analito en varias unidades de carbono simple que se queman posteriormente a CO<sub>2</sub>, el dióxido de carbono producto de la combustión se cuantifica mediante un analizador infrarrojo. Las muestras se filtraron con membranas de 0.45 µm para asegurar que sea efectiva la medida de TOC.

En una medición típica la muestra líquida preparada se dispone en los recipientes de almacenamiento dentro del equipo de análisis. Las muestras líquidas son aspiradas mediante una jeringa dosificadora y se inyectan directamente en un tubo de combustión donde tiene lugar la oxidación catalítica, en este reactor se utiliza una corriente de aire caliente hasta de 1800 °C. El carbono orgánico se convierte a CO<sub>2</sub> y el vapor de agua se elimina de la corriente gaseosa en un proceso de secado de tres pasos, finalmente la corriente gaseosa pasa por un detector NDIR (sensor de infrarrojo no dispersivo) en el que se cuantifica el dióxido de carbono. La ventaja

de este método en comparación a los métodos químicos como la UV/digestión con persulfato es que se asegura que todos los componentes estables, partículas o soluciones contaminantes son detectados.

### **Calibración y método de medición de DQO**

Mas adelante se detalla el protocolo para la calibración de la técnica y la medición de la demanda química de oxígeno.

**Lavado:** Las jeringas de 1 ml ± usadas se lavaron con una solución de ácido nítrico al 10% y se dejaron reposar por 15 minutos en la solución, con el fin de eliminar agentes contaminantes de muestras anteriores.

**Soluciones de calibración.** Se preparó un blanco primario agregando 2 ml de agua destilada en un vial de medición de DQO de 3,17 ml con el objeto de mantener una base de medición.

**Preparación de reactivos.** Para determinar DQO se debe preparar una solución de 2ml de muestra en un vial de medición como reactivo para la digestión.

**Anexo N3: Procedimiento de medición.** El procedimiento de medición de DQO implica digerir 2 mL de muestra en 3,17 mL de solución preparada en un baño isotérmico a 150 °C durante 120 minutos, con el fin de transformar la materia orgánica a iones  $Cr^{3+}$ . Estos iones son detectables en el fotómetro y se correlacionan con una medida de concentración por el método ya establecido a una longitud de onda de 620 nm. La precisión del método mencionado es del 95%.

### **Medición de cloruros**

Los cloruros se midieron utilizando el kit de medición de referencia 1.14897.0001 en un rango de concentración de 10 a 250 mg/L. para una celda de 10 mm haciendo en el Spectroquant Pharo 300 MERCK disponible en el Laboratorio de investigación de wáter treatment Colombia.

### **Medición de sulfatos**

Los sulfatos se midieron utilizando el fotómetro multiparamétrico HI-83399 en un rango de concentración de 0 a 150 mg/L como ( $SO_4^{2-}$ ).

### **Materiales y equipos utilizados en esta investigación.**

A continuación, se describe cada material, equipo y método utilizado en esta investigación.

**Agua residual hospitalaria.** Se tomo de las cajas sanitarias N°5 y N°3 en las instalaciones de la clínica Versalles-sede principal, Cali, Valle del Cauca.

Valde recolector de muestra. Se utilizo un recipiente recolector de muestra

**Sistema de ozonización.** Se utilizó un equipo de ozono contacto gas-liquido como sistema terciario para tratar las aguas residuales hospitalarias de la clínica Versalles. Está ubicado diagonal a la entrada de urgencias maternidad. Las siguientes son las características de equipo de ozono:

- Modelo: WTC20
- Salida de ozono: 20g/H
- Máxima concentración: 25ppm
- Potencia: 25W
- Dimensiones: 67 x 53 x 106 (cm)
- Conexión eléctrica: 110V / 60Hz
- Alimentación: aire del ambiente

**Sistema de dosificación de oxidante líquido.** Este sistema de tratamiento terciario utilizado para la oxidación de las aguas residuales hospitalarias en la caja sanitaria N°3, quedó ubicado frente al parqueadero ambulancia. A continuación, se presentan las características del equipo dosificante:

- Modelo: VCO 1502 FP 115VAC
- Material de carcasa: PPO (óxido de polifenilo)
- Temperatura de trabajo: 0 – 45 °C
- Temperatura de fluido de trabajo: 0 – 50 °C
- Nivel de polución: 2
- Grado de protección: IP65
- Velocidad de pulsaciones (min – máx): 18 – 180 spm (0.19 cm<sup>3</sup> por pulsación)
- Flujo (min – máx): 0.2052 – 2 L/h
- Presión máxima (Psi): 217
- Consumo eléctrico (W): 11

**Medidor de pH.** El pH de las muestras fue medido con una sonda multiparamétrica T HI 98194 Hanna Instruments. El equipo se calibró con soluciones buffer de pH: 4, 7 y 10. El pH se midió antes y después del tratamiento de ozonización y dosificación de oxidante líquido para observar las variaciones dependientes del tiempo.

**Medidos de TOC.** Para medir carbono orgánico total (TOC), se utilizó el equipo disponible en el laboratorio del grupo de investigación de la Universidad del Valle, ubicada en la ciudad de Cali, Valle del Cauca. La marca del equipo era SHIMADZU TOC VCPH Total Organic Carbon Analyzer. Las muestras se prepararon y analizaron utilizando el método de análisis estándar 5310-B [31].

**Digestor de DQO.** Se utilizó un reactor para digerir por 120 minutos a 150°C ± 2°C las muestras para la respectiva medición de la demanda química de oxígeno como se establece en el método estándar 5220 [31].

**Fotómetro multiparamétrico.** Se utilizó el fotómetro multiparamétrico HI83399 ubicado en el laboratorio de la empresa Water Treatment Colombia. Para medir DQO, sulfatos, cloruros y alcalinidad que involucran determinación de absorbancia a distintas longitudes de onda.

**Balanza analítica.** Se empleo una balanza de análisis Denver Instrument, modelo AS60/220/C2 (0,1 mg). A este equipo se le asignaron todas las reactividades necesarias para preparar las soluciones de los distintos procedimientos y métodos.

**Anexo N4:** informe de vertimientos de resultados fisicoquímicos para la caja sanitaria N°3 y N°5 bajo el Artículo 14: Actividades de atención a la salud humana con y sin internación, Resolución 0631 del 2015, emitido por el laboratorio MICROAMBIENTAL S.A.S, WATER TECHNOLOGY y HIDROLAB.



**INFORME DE RESULTADOS**

FECHA Y LUGAR DE EMISION DE INFORME:	2022-11-18 Santiago de Cali	OT 15835	CÓDIGO 467222
CLIENTE	WATER TREATMENT COLOMBIA SAS	ID. DE MUESTRA	No Aplica
CONTACTO	Ing. Sara Juliana Jaramillo	TIPO DE MUESTRA	Agua Residual no Domestica
DIRECCIÓN	Carrera 65A No. 5-35	FECHA DE MUESTREO	2022-10-28
E-MAIL	<a href="mailto:contacto@watercolombia.com">contacto@watercolombia.com</a>	FECHA DE INGRESO	2022-10-28
LUGAR DE MUESTREO	Av 5A Nte No. 23N-46/57- Clínica Versalles Principal	RESPONSABLE DEL MUESTREO	Ing. Guillermo Chacon
PUNTO DE MUESTREO	Vertimiento No. 3-J1	TIPO DE MUESTREO	Compuesto
PLAN DE MUESTREO	PM011522	JORNADA DE MUESTREO	6 Horas

DATOS DE CAMPO									
HORA	06:00 a 13:00	pH <sub>mínimo</sub>	7,23	Unidades de pH	T <sub>máxima</sub>	39,5 °C	Caudal Promedio	0,344	L/s
		pH <sub>máximo</sub>	7,64	Unidades de pH	Conductividad	N.A. µS/cm	Oxígeno Disuelto	N.A.	mg/L
RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO									
ANÁLISIS	METODO	RESULTADO	FECHA ANÁLISIS	UNIDADES					
*Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	SM 5210 B, ASTM D888-12, C	97,0	2022-10-29/2022-11-03	mg O <sub>2</sub> /L					
*Demanda Química de Oxígeno DQO	SM 5220 D	212,3	2022-10-29	mg O <sub>2</sub> /L					
*Grasas y Aceites	SM 5520 D	5,96	2022-11-10	mg/L					
*Sólidos Sedimentables 60"	SM 2540 F	1,0	2022-11-04	mL/L					
*Sólidos Suspendidos Totales	SM 2540 D	152,5	2022-11-04	mg/L					
<i>convenciones</i>									
*Parámetro Subcontratado	NR: No Reporta			ND =Menor al Límite de Detección					
*Parámetro Acreditado	N/A: No Aplica			Parámetro analizado sin acreditación					
Si desea información adicional, sírvase citar el No.		467222		correspondiente a su muestra.					
<i>Los resultados emitidos son validos únicamente para las muestras analizadas y no para otras de la misma procedencia.</i>									
<i>La muestra se mantendrá en custodia el tiempo establecido para cada parámetro de acuerdo a la preservación, según el SM Edición 23nd. Pasado este tiempo, la muestra de este informe, será desechada o devuelta cliente si es requerida.</i>									
<i>Este documento no tiene validez sin el membrete y firmas respectivas. Se prohíbe su reproducción total o parcial sin aprobación de Microambiental Ingeniería SAS.</i>									
Elaboró	Revisó y Aprobó								
<i>Angie Montaña</i>	<i>Jhonatan BC</i>								
ANY ERNESTINA MONTAÑO ANGULO TQ 02873 Analista Químico	Geo. JHONATAN BORJA CULTID, PQ-06311 Director Técnico								
<b>FIN DEL INFORME</b>									
Página 1 de 1									



**INFORME DE RESULTADOS**

<b>FECHA Y LUGAR DE EMISION DE INFORME:</b>	2022-12-05 Santiago de Cali	<b>OT</b>	15835	<b>CÓDIGO</b>	468122
<b>CLIENTE</b>	WATER TREATMENT COLOMBIA	<b>ID. DE MUESTRA</b>		No Aplica	
<b>CONTACTO</b>	Natali Mena	<b>TIPO DE MUESTRA</b>		Agua Residual no Domestica	
<b>DIRECCIÓN</b>	Carrera 65A No. 5-35	<b>FECHA DE MUESTREO</b>		2022-10-28	
<b>E-MAIL</b>	<a href="mailto:gerencia.comercial@wtccolombia.com">gerencia.comercial@wtccolombia.com</a>	<b>FECHA DE INGRESO</b>		2022-10-28	
<b>LUGAR DE MUESTREO</b>	Clinica Versalles Principal Av 5a Nle 23N-46/57	<b>RESPONSABLE DEL MUESTREO</b>		Ing Guillermo Chacon	
<b>PUNTO DE MUESTREO</b>	Vertimiento 3 J2	<b>TIPO DE MUESTREO</b>		Compuesta	
<b>PLAN DE MUESTREO</b>	PM011522	<b>JORNADA DE MUESTREO</b>		6 Horas	

DATOS DE CAMPO										
<b>HORA</b>	13:00 - 19:00	<b>pH<sub>mínimo</sub></b>	7,20	Unidades de pH	<b>T<sub>máxima</sub></b>	24,6	°C	<b>Caudal Promedio</b>	0,962	L/s
		<b>pH<sub>máximo</sub></b>	7,70	Unidades de pH	<b>Conductividad</b>	N.A.	µS/cm	<b>Oxígeno Disuelto</b>	N.A.	mg/L

RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO					
ANÁLISIS	METODO	RESULTADO	FECHA ANÁLISIS	UNIDADES	
*Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	SM 5210 B, ASTM D888-12, C	255	2022-10-29/2022-11-03	mg O <sub>2</sub> /L	
*Demanda Química de Oxígeno DQO	SM 5220 D	567,2	2022-10-29	mg O <sub>2</sub> /L	
*Grasas y Aceites	SM 6520 D	6,49	2022-11-25	mg/L	
*Sólidos Sedimentables 10"	SM 2540 F	0,3	2022-11-03	mL/L	
*Sólidos Suspendidos Totales	SM 2540 D	163,3	2022-11-03	mg/L	

*Parámetro Subcontratado		NR: No Reporta	ND =Menor al Límite de Detección
*Parámetro Acreditado		N/A: No Aplica	Parámetro analizado sin acreditación
Si desea información adicional, sírvase citar el No.		468122	correspondiente a su muestra.

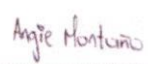

*Los resultados emitidos son validos únicamente para las muestras analizadas y no para otras de la misma procedencia.*  
*La muestra se mantendrá en custodia el tiempo establecido para cada parámetro de acuerdo a la preservación, según el SM Edición 23nd. Pasado este tiempo, la muestra de este informe, será desechada o devuelta cliente si es requerida.*  
*Este documento no tiene validez, sin el membrete y firmas respectivas. Se prohíbe su reproducción total o parcial sin aprobación de Microambiental Ingeniería SAS.*

<b>Elaboró</b>	<b>Revisó y Aprobó</b>
	
ANYI ERNESTINA MONTAÑO ANGULO TQ 02873 Analista Químico	Geo. JHONATAN BORJA CULTID, PQ-06311 Director Técnico
<b>FIN DEL INFORME</b>	
Página 1 de 1	



## INFORME DE RESULTADOS

FECHA Y LUGAR DE EMISION DE INFORME:	2022-12-12 Santiago de Cali	OT 15835	CÓDIGO 469022
CLIENTE	WATER TREATMENT COLOMBIA	ID. DE MUESTRA	No Aplica
CONTACTO	Natali Mena	TIPO DE MUESTRA	Agua Residual no Domestica
DIRECCIÓN	Carrera 65A No. 5-35	FECHA DE MUESTREO	2022-10-28
E-MAIL	serviciocomercial@wtcolumbia.com	FECHA DE INGRESO	2022-10-28
LUGAR DE MUESTREO	Clinica Versailles Principal- Av 5A Nte No23N-46/57	RESPONSABLE DEL MUESTREO	Ing. Guillermo Chacon
PUNTO DE MUESTREO	Vertimiento 3 Combinada	TIPO DE MUESTREO	Compuesto
PLAN DE MUESTREO	PM011522	JORNADA DE MUESTREO	12 Horas

DATOS DE CAMPO												
HORA	06:00 a 19:20	pH <sub>mínimo</sub>	N.A.	Unidades de pH		T <sub>máxima</sub>	N.A.	°C		Caudal Promedio	N.A.	L/s
		pH <sub>máximo</sub>	N.A.	Unidades de pH		Conductividad	N.A.	µS/cm		Oxígeno Disuelto	N.A.	mg/L
RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO												
ANÁLISIS	METODO			RESULTADO	FECHA ANÁLISIS	UNIDADES						
*Acidez	SM 2310 B			<6,8	2022-10-29	mg CaCO <sub>3</sub> /L						
*Alcalinidad Total	SM 2320 B			266,5	2022-11-04	mg CaCO <sub>3</sub> /L						
*Cadmio	SM 3120 B			<0,001	2022-11-21	mg Cd/L						
*Cianuro Total	SM 4500-CN- B, C, F			<0,10	2022-11-04	mg CN/L						
*Color 436 nm	ISO 7887 : 2011 Método B			3,2	2022-10-29	m <sup>-1</sup>						
*Color 525 nm	ISO 7887 : 2011 Método B			1,5	2022-10-29	m <sup>-1</sup>						
*Color 620 nm	ISO 7887 : 2011 Método B			0,8	2022-10-29	m <sup>-1</sup>						
*Cromo total	EPA 3015 A SM 3120 B			<0,005	2022-11-22	mg Cr/L						
*Dureza Cálctica	SM 3500-Ca B			40,0	2022-11-09	mg CaCO <sub>3</sub> /L						
*Dureza total	SM 2340 C			44,0	2022-11-09	mg CaCO <sub>3</sub> /L						
*Fenoles Totales	SM 5530 B, C			0,014	2022-11-22	mg Ph-OH/L						
*Fosforo Reactivo Total (Ortofosfato)	USEPA PhosVer 3 (Ácido Ascórbico) Método 8048			5,89	2022-10-29	mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L						
*Fosforo total	SM 4500-P B, USEPA PhosVer 3 (Ácido Ascórbico) Método 8048			7,02	2022-11-18	mg P/L						
*Mercurio	SM 3112 B			<0,001	2022-11-18	mg Hg/L						
*Nitratos	Ref 918-65 Macherey Nagel			<0,904	2022-10-29	mg N-NO <sub>3</sub> /L						
*Nitritos	SM 4500-NO <sub>2</sub> B			<0,0152	2022-10-29	mg N-NO <sub>2</sub> /L						
*Nitrógeno amoniacal	SM 4500-NH <sub>3</sub> C			18,9	2022-11-22	mg N-NH <sub>3</sub> /L						
*Nitrógeno Kjeldahl	SM 4500-N(org) C; NH <sub>3</sub> B, C			29,4	2022-11-22	mg N/L						
Nitrógeno Total	SUMA (NK+NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> )			29,4	2022-11-22	mg N/L						
*Plata	EPA 3015 A SM 3120 B			<0,002	2022-11-22	mg Ag/L						
*Plomo	EPA 3015 A SM 3120 B			<0,010	2022-11-22	mg Pb/L						
*Surfactantes Aniónicos (SAAM)	SM 5540 C			2,54	2022-10-29	mg LAS/L						
<i>Conveniencias</i>												
*Parámetro Subcontratado	NR: No Reporta			ND =Menor al Límite de Detección		Parámetro analizado sin acreditación						
*Parámetro Acreditado	N/A: No Aplica											
Si desea información adicional, sírvase citar el No.				469022		correspondiente a su muestra.						
<p>Los resultados emitidos son válidos únicamente para las muestras analizadas y no para otras de la misma procedencia.</p> <p>La muestra se mantendrá en custodia el tiempo establecido para cada parámetro de acuerdo a la preservación, según el SM Edición 23nd. Pasado este tiempo, la muestra de este informe, será desechada o devuelta cliente si es requerida.</p>												
Este documento no tiene validez sin el membrete y firmas respectivas. Se prohíbe su reproducción total o parcial sin aprobación de Microambiental Ingeniería SAS.												
Elaboró				Revisó y Aprobó								
												
ANYI ERNESTINA MONTAÑO ANGULO TQ 02873 Analista Químico				Geo. JHONATAN BORJA CULTID, PQ-06311 Director Técnico								
<b>FIN DEL INFORME</b>												
Página 1 de 1												

INFORME DE ENSAYO No 21332

Ciente	MICROAMBIENTAL INGENIERIA S.A.S
Solicitado por	Martha Portilla
Dirección	Avenida 3N # 49N - 36/ Barrio La Merced / Cali - Valle del Cauca
Teléfono	6662981
Nit	900.640.166-4
Plan de Muestreo	14987
Tipo de Muestra	Agua Residual no Doméstica (ARnD)
Dirección sitio de muestreo	NR
Responsable del muestreo	Ciente
Nombre del Punto de Muestreo	469022 - Vertimiento 3 Combinada
Fecha de Muestreo	28/10/2022
Fecha de Recepción	29/10/2022

Ensayo	Método	Unidades	Lista según normativa	Resultado	Incidencias
--------	--------	----------	-----------------------	-----------	-------------

\*Acidez Total - Puntual Volumétrico S.M 2310 B mg CaCO3/L - < 6,8 ± 0,1487

Convenciones:

- \*Parámetro acreditado por el IDEAM según Resolución 0495 del 06 de Junio del 2021
- \*\*Parámetro programa PICCAP Water
- \*\*Ensayo subcontratado acreditado
- \*\*Parámetro Programa PICCAP Subcontratado

Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y no para otras de la misma procedencia.  
 La muestra se mantendrá en custodia por 7 días calendario a partir de la entrega del resultado.  
 Si desea información adicional envíese citar el código de la muestra o Número de Informe.  
 Este documento no debe reproducirse ni total ni parcialmente sin previa autorización de Water Technology Eng SAS.  
 El Informe de Ensayo tiene validez al presentar sello y firma.

Revisado y Autorizado por

Fin del Informe de Ensayo

Fecha de emisión 06/11/2022

*Clara Falla C*

CLARA FALLA CAMPOS  
 Director Técnico  
 Cúcuta NT PO-2587

Elaboró: *John Pérez*  
 John Pérez



\* 2 0 2 2 1 1 0 0 2 3 0 4 1 2 1 6 1 1 \*

**Informe de Ensayo (SN)****Numero de Ingreso** 40190-03**Cliente:** MICROAMBIENTAL INGENIERIA SAS**Dirección:** Av 3 Norte N° 49N - 36**Proyecto:** Control Muestras de Aguas de Varios Tipos**Identificación Cliente:** Microambiental Ingenieria S.A.S**Lugar de Muestreo:** Vertimiento 3 Combinada**Dirección:** Av 3N N° 49N - 36**Ciudad / Región:** BOGOTÁ, Bogotá D.C**Instrumento Ambiental:****Punto de Muestreo:** 469022**Matríz:** Aguas residuales**Término de Muestreo:** 28/10/2022 19:20:00**Muestreado por:** Cliente**Tipo de Muestreo:** Compuesta 12 h**Recepción Laboratorio:** 02/11/2022 16:30:00

Parámetro	Unidades	Resultados	Fecha y Hora Análisis	Ref.Método
Cianuro Total	mg/L CN	<0,10	04/11/2022 16:47:0	4500-CN B,C F
Plata	mg/L Ag	<0,002	22/11/2022 14:50:0	EPA 3015 A SM 3120 B (2)
Cadmio	mg/L Cd	<0,001	21/11/2022 12:09:0	SM 3120 B (2)
Cromo	mg/L Cr	<0,005	22/11/2022 12:27:0	EPA 3015 A SM 3120 B (2)
Mercurio	mg/L Hg	<0,001	18/11/2022 12:46:0	SM 3112 B (2)
Plomo	mg/L Pb	<0,010	22/11/2022 14:54:0	EPA 3015 A SM 3120 B (2)

**Notas:**

(2) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition 2017.



**Varcelis Vargas**  
Directora Operativa



**Marlon Castillo**  
Jefe de área Físicoquímica

(SN)



\* 4 0 1 9 0 2 3 1 1 V V 1 2 1 6 0 8 \*

**Fecha Emisión Informe:** 23 de noviembre de 2022**Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.****Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.**

Laboratorio de Ensayo acreditado por el IDEAM resolución No. 1406 Nov 2021 (Aguas residuales, superficiales, subterráneas, suelos y biosólidos).

Autopista Medellín Km 2.5, vía parcelas de Cota Km 1.3 Conjunto de Bodegas AEPI, Bodega N° 3A - Teléfono +57 (1) 5 19 03 85.

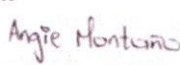
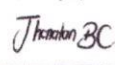
40190-03

1 / 1



## INFORME DE RESULTADOS

FECHA Y LUGAR DE EMISION DE INFORME:	2022-11-18 Santiago de Cali	OT 15835	CÓDIGO	467422
CLIENTE	WATER TREATMENT COLOMBIA SAS	ID. DE MUESTRA	No Aplica	
CONTACTO	Ing. Sara Juliana Jaramillo	TIPO DE MUESTRA	Agua Residual no Domestica	
DIRECCIÓN	Carrera 65A No. 5-35	FECHA DE MUESTREO	2022-10-28	
E-MAIL	contacto@wtdcolombias.com	FECHA DE INGRESO	2022-10-28	
LUGAR DE MUESTREO	Av 5A Nte No. 23N-46/57- Clinica Versalles Principal	RESPONSABLE DEL MUESTREO	Ing. Guillermo Chacon	
PUNTO DE MUESTREO	Vertimiento No. 5-J1	TIPO DE MUESTREO	Compuesto	
PLAN DE MUESTREO	PM011522	JORNADA DE MUESTREO	6 Horas	

DATOS DE CAMPO						
HORA	06:00 a 13:00	pH <sub>mínimo</sub>	7,93	Unidades de pH	T <sub>máxima</sub>	22,7 °C
		pH <sub>máximo</sub>	8,25	Unidades de pH	Conductividad	N.A. µS/cm
						Caudal Promedio
						0,218 L/s
						Oxígeno Disuelto
						N.A. mg/L
RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO						
ANÁLISIS	METODO	RESULTADO	FECHA ANÁLISIS	CERTIDUMB	UNIDADES	
*Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	SM 5210 B, ASTM D888-12, C	60,2	2022-10-29/2022-11-03		mg O <sub>2</sub> /L	
*Demanda Química de Oxígeno DQO	SM 5220 D	128,2	2022-10-29		mg O <sub>2</sub> /L	
*Grasas y Aceites	SM 5520 D	10,5	2022-11-10		mg/L	
*Sólidos Sedimentables 60'	SM 2540 F	0,4	2022-11-04		mL/L	
*Sólidos Suspendedos Totales	SM 2540 D	133,3	2022-11-04		mg/L	
*Parámetro Subcontratado	NR: No Reporta				ND =Menor al Límite de Detección	
*Parámetro Acreditado	N/A: No Aplica				Parámetro analizado sin acreditación	
Si desea información adicional, sírvase citar el No.		467422	correspondiente a su muestra.			
Los resultados emitidos son validos únicamente para las muestras analizadas y no para otras de la misma procedencia.						
La muestra se mantendrá en custodia el tiempo establecido para cada parámetro de acuerdo a la preservación, según el SM Edición 23nd. Pasado este tiempo, la muestra de este informe, será desechada o devuelta cliente si es requerida.						
Este documento no tiene validez sin el membrete y firmas respectivas. Se prohíbe su reproducción total o parcial sin aprobación de Microambiental Ingeniería SAS.						
Elaboró	Revisó y Aprobó					
						
ANYI ERNESTINA MONTAÑA ANGULO TQ 02873 Analista Químico	Geo. JHONATAN BORJA CULTID, PQ-06311 Director Técnico					
	FIN DEL INFORME					
	Página 1 de 1					



**INFORME DE RESULTADOS**

FECHA Y LUGAR DE EMISION DE INFORME:	2022-12-05 Santiago de Cali	OT 15835	CÓDIGO 468322
CLIENTE	WATER TREATMENT COLOMBIA	ID. DE MUESTRA	No Aplica
CONTACTO	Natali Mena	TIPO DE MUESTRA	Agua Residual no Domestica
DIRECCIÓN	Carrera 65A No. 5-35	FECHA DE MUESTREO	2022-10-28
E-MAIL	<a href="mailto:persnaciacomercial@wtcolombia.com">persnaciacomercial@wtcolombia.com</a>	FECHA DE INGRESO	2022-10-28
LUGAR DE MUESTREO	Clinica Versalles Principal Av 5a Nte 23N-46/57	RESPONSABLE DEL MUESTREO	Ing Guillermo Chacon
PUNTO DE MUESTREO	Vertimiento 5 J2	TIPO DE MUESTREO	Compuesta
PLAN DE MUESTREO	PM011522	JORNADA DE MUESTREO	6 Horas

DATOS DE CAMPO										
HORA	13:00 - 19:00	pH <sub>mínimo</sub>	7,91	Unidades de pH	T <sub>máxima</sub>	23,0	°C	Caudal Promedio	0,191	L/s
		pH <sub>máximo</sub>	8,23	Unidades de pH	Conductividad	N.A.	µS/cm	Oxígeno Disuelto	N.A.	mg/L


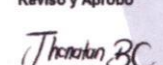
**RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO**

ANÁLISIS	METODO	RESULTADO	FECHA ANÁLISIS	UNIDADES
*Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO <sub>5</sub>	SM 5210 B, ASTM D888-12, C	122	2022-10-29/2022-11-03	mg O <sub>2</sub> /L
*Demanda Química de Oxígeno DQO	SM 5220 D	279,9	2022-10-29	mg O <sub>2</sub> /L
*Grasas y Aceites	SM 5520 D	<5,00	2022-11-25	mg/L
*Sólidos Sedimentables 10'	SM 2540 F	2,0	2022-11-03	mL/L
*Sólidos Suspendidos Totales	SM 2540 D	87,5	2022-11-03	mg/L

Conveniencias			
*Parámetro Subcontratado	NR: No Reporta	ND =Menor al Limite de Detección	
*Parámetro Acreditado	N/A: No Aplica	Parámetro analizado sin acreditación	
Si desea información adicional, sírvase citar el No.	468322	correspondiente a su muestra.	

*Los resultados emitidos son validos únicamente para las muestras analizadas y no para otras de la misma procedencia.  
La muestra se mantendrá en custodia el tiempo establecido para cada parámetro de acuerdo a la preservación, según el SM Edición 23nd. Pasado este tiempo, la muestra de este informe, será desechada o devuelta cliente si es requerida.*

*Este documento no tiene validez, sin el membrete y firmas respectivas. Se prohíbe su reproducción total o parcial sin aprobación de Microambiental Ingeniería SAS.*

Elaboró	Revisó y Aprobó
	
ANYI ERNESTINA MONTAÑO ANGULO TQ 02873 Analista Químico	Qco. JHONATAN BORJA CULTID, PQ-06311 Director Técnico
<b>FIN DEL INFORME</b>	
Página 1 de 1	



## INFORME DE RESULTADOS

FECHA Y LUGAR DE EMISION DE INFORME:	2022-12-12 Santiago de Cali	OT 15835	CÓDIGO 469222
CLIENTE	WATER TREATMENT COLOMBIA	ID. DE MUESTRA	No Aplica
CONTACTO	Natali Mena	TIPO DE MUESTRA	Agua Residual no Domestica
DIRECCIÓN	Carrera 65A No. 5-35	FECHA DE MUESTREO	2022-10-28
E-MAIL	<a href="mailto:gerencia@microambiental.com">gerencia@microambiental.com</a>	FECHA DE INGRESO	2022-10-28
LUGAR DE MUESTREO	Clinica Versalles Principal- Av 5A Nte No23N-46/57	RESPONSABLE DEL MUESTREO	Ing. Guillermo Chacon
PUNTO DE MUESTREO	Vertimiento 5 Combinada	TIPO DE MUESTREO	Compuesto
PLAN DE MUESTREO	PM011522	JORNADA DE MUESTREO	12 Horas

DATOS DE CAMPO												
HORA	06:00 a 19:20	pH <sub>mínimo</sub>	N.A.	Unidades de pH	N.A.	T <sub>máxima</sub>	N.A.	°C		Caudal Promedio	N.A.	L/s
		pH <sub>máximo</sub>	N.A.	Unidades de pH	N.A.	Conductividad	N.A.	µS/cm		Oxígeno Disuelto	N.A.	mg/L
RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO												
ANÁLISIS	METODO			RESULTADO	FECHA ANÁLISIS	UNIDADES						
*Acidez	SM 2310 B			<8,8	2022-10-29	mg CaCO <sub>3</sub> /L						
*Alcalinidad Total	SM 2320 B			434,6	2022-11-04	mg CaCO <sub>3</sub> /L						
*Cadmio	SM 3120 B			<0,001	2022-11-21	mg Cd/L						
*Cianuro Total	SM 4500-CN- B, C, F			<0,10	2022-11-04	mg CN/L						
*Color 436 nm	ISO 7887 : 2011 Método B			4,0	2022-10-29	m <sup>-1</sup>						
*Color 525 nm	ISO 7887 : 2011 Método B			1,9	2022-10-29	m <sup>-1</sup>						
*Color 620 nm	ISO 7887 : 2011 Método B			1,2	2022-10-29	m <sup>-1</sup>						
*Cromo total	EPA 3015 A SM 3120 B			<0,005	2022-11-22	mg Cr/L						
*Dureza Cálcica	SM 3500-Ca B			48,0	2022-11-09	mg CaCO <sub>3</sub> /L						
*Dureza total	SM 2340 C			60,0	2022-11-09	mg CaCO <sub>3</sub> /L						
*Fenoles Totales	SM 5530 B, C			0,014	2022-11-22	mg Ph-OH/L						
*Fosforo Reactivo Total (Ortofosfato)	USEPA PhosVer 3 (Ácido Ascórbico) Método 8048			6,93	2022-10-29	mg P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> /L						
*Fosforo total	SM 4500-P B, USEPA PhosVer 3 (Ácido Ascórbico) Método 8048			10,3	2022-11-18	mg P/L						
*Mercurio	SM 3112 B			<0,001	2022-11-18	mg Hg/L						
*Nitratos	Ref 918-65 Macherey Nagel			<0,904	2022-10-29	mg N-NO <sub>3</sub> /L						
*Nitritos	SM 4500-NO <sub>2</sub> B			<0,0152	2022-10-29	mg N-NO <sub>2</sub> /L						
*Nitrógeno amoniacal	SM 4500-NH <sub>3</sub> C			30,4	2022-11-22	mg N-NH <sub>3</sub> /L						
*Nitrógeno Kjeldahl	SM 4500-N(org) C; NH <sub>3</sub> B, C			48,2	2022-11-22	mg N/L						
Nitrógeno Total	SUMA (NK+NO <sub>3</sub> +NO <sub>2</sub> )			48,2	2022-11-22	mg N/L						
*Plata	EPA 3015 A SM 3120 B			<0,002	2022-11-22	mg Ag/L						
*Plomo	EPA 3015 A SM 3120 B			<0,010	2022-11-22	mg Pb/L						
*Surfactantes Aniónicos (SAAM)	SM 5540 C			2,37	2022-10-29	mg LAS/L						
<i>Conversiones</i>												
*Parámetro Subcontratado	NR: No Reporta			ND =Menor al Limite de Detección								
*Parámetro Acreditado	N/A: No Aplica			Parámetro analizado sin acreditación								
Si desea información adicional, sírvase citar el No.				469222	correspondiente a su muestra.							
<p>Los resultados emitidos son validos únicamente para las muestras analizadas y no para otras de la misma procedencia.</p> <p>La muestra se mantendrá en custodia el tiempo establecido para cada parámetro de acuerdo a la preservación, según el SM Edición 23rd. Pasado este tiempo, la muestra de este informe, será desechada o devuelta cliente si es requerida.</p> <p>Este documento no tiene validez sin el membrete y firmas respectivas. Se prohíbe su reproducción total o parcial sin aprobación de Microambiental Ingeniería SAS.</p>												
Elaboró	Anje Montaña			Revisó y Aprobó								
				Jhonatan BC								
ANYI ERNESTINA MONTAÑO ANGULO TQ 02673	Analista Químico			Qco. JHONATAN BORJA CULTID, PQ-06311 Director Técnico								
FIN DEL INFORME												
Página 1 de 1												



**INFORME DE ENSAYO No 21334**

<b>Cliente</b>	<b>MICROAMBIENTAL INGENIERIA S.A.S</b>
<b>Solicitado por</b>	Martha Portilla
<b>Dirección</b>	Avenida 3N # 49N - 36/ Barrio La Merced / Cali - Valle del Cauca
<b>Teléfono</b>	6662981
<b>Nit</b>	900.640.166-4
<b>Plan de Muestreo</b>	14987
<b>Tipo de Muestra</b>	Agua Residual no Doméstica (ARnD)
<b>Dirección sitio de muestreo</b>	NR
<b>Responsable del muestreo</b>	Cliente
<b>Nombre del Punto de Muestreo</b>	469222 - Vertimiento 5 Combinada
<b>Fecha de Muestreo</b>	28/10/2022
<b>Fecha de Recepción</b>	29/10/2022

Ensayo	Método	Unidades	Límite según normativa	Resultado	Incertidumbre	Fecha de Análisis
--------	--------	----------	------------------------	-----------	---------------	-------------------

*Acidez Total - Puntual	Volumétrico S.M 2310 B	mg CaCO3/L	-	< 6,8	± 0,1487	29/10/2022
-------------------------	------------------------	------------	---	-------	----------	------------

- Convenciones:**
- \*Parámetro acreditado por el IDEAM según Resolución 0495 del 08 de junio del 2021
  - \*\*Parámetro programa PICCAP Water
  - \*\*Ensayo subcontratado acreditado
  - \*\*Parámetro Programa PICCAP Subcontratado

Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y no para otras de la misma procedencia.  
 La muestra se mantendrá en custodia por 7 días calendario a partir de la entrega del resultado.  
 Si desea información adicional sírvase citar el código de la muestra o Número de Informe.  
 Este documento no debe reproducirse ni total, ni parcialmente, sin previa autorización de Water Technology Eng SAS.  
 El Informe de Ensayo tiene validez si presenta sello y firma.

Revisado y Autorizado por: \_\_\_\_\_ Fecha de emisión: 08/11/2022  
 Fin del sistema de Ensayo

*Clara Falla C*  
**CLARA FALLA CAMPOS**  
 Directora Técnica  
 Químico MT PQ-0187

Elaboró: *John Muñoz*  
**John Muñoz**



## Informe de Ensayo (SN)

Numero de Ingreso 40190-05

Cliente: MICROAMBIENTAL INGENIERIA SAS

Dirección: Av 3 Norte N° 49N - 36

Proyecto: Control Muestras de Aguas de Varios Tipos

Identificación Cliente: Microambiental Ingenieria S.A.S

Lugar de Muestreo: Vertimiento 5 Combinada

Dirección: Av 3N N° 49N - 36

Ciudad / Región: BOGOTÁ, Bogotá D.C

Instrumento Ambiental:

Punto de Muestreo: 469222

Matríz: Aguas residuales

Término de Muestreo: 28/10/2022 19:20:00

Muestreado por: Cliente

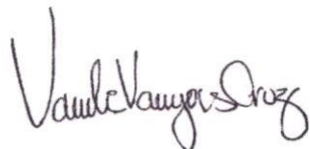
Tipo de Muestreo: Compuesta 12 h

Recepción Laboratorio: 02/11/2022 16:30:00

Parámetro	Unidades	Resultados	Fecha y Hora Análisis	Ref.Método
Cianuro Total	mg/L CN	<0,10	04/11/2022 16:47:0	4500-CN B,C F
Plata	mg/L Ag	<0,002	22/11/2022 14:50:0	EPA 3015 A SM 3120 B (2)
Cadmio	mg/L Cd	<0,001	21/11/2022 12:09:0	SM 3120 B (2)
Cromo	mg/L Cr	<0,005	22/11/2022 12:27:0	EPA 3015 A SM 3120 B (2)
Mercurio	mg/L Hg	<0,001	18/11/2022 12:50:0	SM 3112 B (2)
Plomo	mg/L Pb	<0,010	22/11/2022 14:54:0	EPA 3015 A SM 3120 B (2)

## Notas:

(2) Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th Edition 2017.



Varcelis Vargas  
Directora Operativa



Marlon Castillo  
Jefe de área Físicoquímica

(SN)



Fecha Emisión Informe: 23 de noviembre de 2022

Resultados válidos únicamente para la muestra analizada.

Prohibida toda reproducción parcial o total de este informe sin autorización del laboratorio.

Laboratorio de Ensayo acreditado por el IDEAM resolución No. 1406 Nov 2021 (Aguas residuales, superficiales, subterráneas, suelos y biosólidos).

Autopista Medellín Km 2.5, vía parcelas de Cota Km 1.3 Conjunto de Bodegas AEPI, Bodega N° 3A - Teléfono +57 (1) 5 19 03 85.

40190-05

1 / 1