

**Estudio cuantitativo de la carga contaminante variante de las aguas  
residuales hospitalarias de la Clínica Imbanaco de la ciudad de Cali**

**Sara Juliana Jaramillo Arvilla**

**Directores:**

**Julián Diel Urresta Aragón Ph.D., M.Sc, Químico**

**Natali Lorena Mena Guerrero M.Sc, Ingeniera Química**

**Co-directora:**

**Carla Stephanny Cárdenas Bustos M.Sc, Ingeniera Química**

**Facultad de Ingenierías y Arquitectura  
Programa de Ingeniería Química**

**Estudio cuantitativo de la carga contaminante variante de las aguas residuales hospitalarias de la Clínica Imbanaco de la ciudad de Cali**

**Sara Juliana Jaramillo Arvilla**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al  
título de:  
Ingeniera Química**

**Directores:**

**Julián Diel Urresta Aragón Ph.D., M.Sc, Químico**

**Natali Lorena Mena Guerrero M.Sc, Ingeniera Química**

**Co-directora:**

**Carla Stephanny Cárdenas Bustos M.Sc, Ingeniera Química**

**Línea de Investigación: catálisis aplicada y procesos**

**Grupo de Investigación:**

**LICAP**

## **Dedicatoria**

*Dedicada a mis padres Farid Luna Y Gildardo Jaramillo  
A mi madre Nasly Arvilla.*

## **Agradecimientos**

*Agradezco a Dios por guiarme a lo largo de mi vida, por ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad*

*Agradezco a mi familia por ser mi apoyo incondicional*

*Agradezco a mis tutores Natali Mena, Julián Arresta y Carla Cárdenas  
Por su acompañamiento y orientación en el desarrollo de mi tesis*

*Agradezco a la Universidad de Pamplona  
por la preparación de profesional brindada*

*Agradezco a la Universidad del valle y Water Treatment Colombia S.A.S  
por permitirme desarrollar mi trabajo de grado*

*Agradezco a Edwin Sánchez por sus observaciones  
A lo largo del desarrollo de mi trabajo de grado*

*Agradezco a Dario por apoyarme en todo momento, por tantas ayudas y tantos aportes no solo para el desarrollo de mi tesis, sino también para mi vida.*

## Tabla de contenido

Resumen .....	8
Abstract.....	9
Lista de Figuras .....	10
Lista de tablas.....	12
1. Introducción.....	13
2. Planteamiento y justificación .....	15
3. Objetivos .....	17
3.1. Objetivo General.....	17
3.2. Objetivos Específicos.....	17
4. Marco teórico.....	18
4.1. Aguas Residuales Hospitalarias .....	18
4.2. Normatividad .....	18
4.2.1. Parámetros evaluados en la norma.....	20
4.3. Tratamiento de las aguas residuales .....	23
4.3.1. Tratamiento primario .....	23
4.3.2. Tratamientos secundarios.....	24
4.3.3. Tratamiento terciario (procesos de oxidación avanzada) .....	25
5. Metodología .....	31
5.1. Toma de Muestras.....	31
5.1.1. Toma de muestras para control y seguimiento.....	31
5.1.2. Estimación de la naturaleza de la carga contaminante .....	38
5.2. Proceso de Oxidación Avanzada .....	39
5.2.1 Sistema de Ozonización.....	39
6. Resultados y análisis.....	46
6.1 Naturaleza de carga contaminante .....	46

6.1.1. Análisis de los productos limpieza.....	46
6.1.2. Identificación de la naturaleza de los compuestos orgánicos e inorgánicos .....	51
6.2. Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en cada uno de los puntos de muestreo de la clínica Imbanaco de la ciudad de Cali .....	52
6.2.1. Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno.....	53
6.2.2. Comportamiento de la demanda química de oxígeno.....	54
6.2.3. Comportamiento de los sólidos sedimentables.....	54
6.2.4. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales .....	55
6.2.5. Comportamientos de grasas y aceites .....	56
6.2.6. Comportamiento de Fenoles .....	57
6.3. Comportamiento del Sistema de ozonización para tratamiento de agua hospitalaria: Laboratorio clínico y cirugía.....	58
6.3.1. Eficiencia del proceso instalado .....	58
6.3.2. Análisis del tiempo de mineralización de la carga orgánica (DQO) .....	59
6.3.3. Análisis del tiempo de disminución del fenol .....	60
7. Conclusiones.....	61
8. Trabajos a futuro .....	62
9. Bibliografía .....	63
10. Anexos .....	66
Anexo A. Monitoreo Sede Principal .....	69
.....	72
Anexo B. Monitoreo Torre A .....	78
Anexo C. Monitoreo Torre B.....	81
Anexo D. Monitoreo Unidad de Rehabilitación y Medicina Física .....	83
.....	84

## Impactos

IMPACTO	PRODUCTO	BENEFICIARIO(S)
<b>Responsabilidad social</b>	Informe	Comunidad, Centro Médico Imbanaco
<b>Científico</b>	Artículo Científico Ponencia	Comunidad Científica, Centro Médico Imbanaco
<b>Técnico</b>	Informes de acuerdo con el cronograma de trabajo establecido con la coordinación ambiental del Centro Médico Imbanaco	Comunidad, Centro Médico Imbanaco
<b>Ambiental</b>	Información que detalla los procesos encaminados al cumplimiento de las normas ambientales legales vigentes para Colombia.	Centro Médico Imbanaco
<b>Social</b>	Informe de responsabilidad social entregado por la coordinación ambiental del Centro Médico Imbanaco	Sociedad y Centro Médico Imbanaco

# ESTUDIO CUANTITATIVO DE LA CARGA CONTAMINANTE VARIANTE DE LAS AGUAS RESIDUALES HOSPITALARIAS DE LA CLÍNICA IMBANACO DE LA CIUDAD DE CALI

## Resumen

La contaminación del agua por contaminantes emergentes debido a actividades humanas se ha convertido en una de las dificultades más críticas en los últimos años. Dentro de esta problemática de aguas residuales, se encuentran las de tipo hospitalario, catalogadas fuente importante de riesgo ambiental por la presencia de metabolitos y micro contaminantes emergentes. Estas aguas servidas comprenden los servicios de lavandería, cocina, limpieza, diagnóstico, así como las actividades de atención, los laboratorios, investigación, y diagnóstico. Es un reto para las entidades prestadoras de servicios de salud atender a esta problemática y dar cumplimiento a las normas ambientales vigentes. Se encuentran diferentes procesos entre ellos los procesos de oxidación avanzada, en este caso por ozonización. Sin embargo, es importante conocer la naturaleza contaminante de cada efluente es por eso que el propósito de esta investigación fue identificar la carga orgánica que aportan los desechos líquidos de las sedes del Centro Médico Imbanaco ubicado en la ciudad de Cali, Valle del Cauca, el diseño experimental evaluado permite concluir que los insumos de limpieza y esterilización utilizados en el Centro Médico Imbanaco son altamente recalcitrantes y superan los límites máximos permisibles establecidos por la resolución 0631 del 2015.

**Palabras clave:** Aguas residuales hospitalarias, parámetros fisicoquímicos, proceso de oxidación, micro contaminantes



# QUANTITATIVE STUDY OF THE VARIANT POLLUTANT LOAD OF HOSPITAL WASTEWATER FROM THE IMBANACO CLINIC IN THE CITY OF CALI.

## Abstract

Water contamination by emerging contaminants due to human activities has become one of the most critical difficulties in recent years. Within this problem of wastewater, we find hospital wastewater, catalogued as an important source of environmental risk due to the presence of metabolites and emerging micro contaminants. This wastewater includes laundry, kitchen, cleaning and diagnostic services, as well as care, laboratory, research and diagnostic activities. It is a challenge for health service providers to address this problem and comply with current environmental regulations. There are different processes, including advanced oxidation processes, in this case by ozonation. However, it is important to know the pollutant nature of each effluent that is why the purpose of this research was to identify the organic load contributed by the liquid waste from the headquarters of the Imbanaco Medical Center located in the city of Cali, Valle del Cauca, the experimental design evaluated allows concluding that the cleaning and sterilization supplies used in the Imbanaco Medical Center are highly recalcitrant and exceed the maximum permissible limits established by resolution 0631 of 2015.

**Keywords:** Hospital wastewater, physicochemical parameters, oxidation process, micro pollutants.

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Proceso de ozonización (Adaptada de Almeida et al., 2004).....	27
<b>Figura 2.</b> Producción de ozono (Adaptada de Santiago & Calderón Ancona, 2005). ....	28
<b>Figura 3.</b> Cámara de contacto con deflectores (Camenforte & Pérez, 2014) .....	29
<b>Figura 4.</b> Esquema industrial del proceso Fenton (Muñoz et al., 2016). ....	30
<b>Figura 5.</b> Punto 1 de monitoreo de la sede principal.....	32
<b>Figura 6.</b> Punto 2 de monitoreo de la sede principal.....	32
<b>Figura 7.</b> Punto 3 de monitoreo de la sede principal.....	33
<b>Figura 8.</b> Punto 1 de monitoreo de la Torre A.....	34
<b>Figura 9.</b> Punto 2 de monitoreo de la Torre A.....	34
<b>Figura 10.</b> Punto 3 de monitoreo de la Torre A.....	34
<b>Figura 11.</b> Punto 4 de monitoreo de la Torre A.....	35
<b>Figura 12.</b> Punto 5 de monitoreo de la Torre A.....	35
<b>Figura 13.</b> Punto general de monitoreo de la Torre B.....	36
<b>Figura 14.</b> Punto general de monitoreo de la unidad de rehabilitación y medicina física. ....	37
<b>Figura 15.</b> Esquema de producción de ozono. ....	40
<b>Figura 16.</b> Proceso de ozonización para tratamiento de agua residual hospitalaria.....	41
<b>Figura 17.</b> Elementos del tubo de ozono. ....	43
<b>Figura 18.</b> Fotografía del sistema de generación de ozono WTC S.A.S. ....	43
<b>Figura 19.</b> Fotografía del proceso de ozonización instalado en el Centro Médico Imbanaco. ...	45
<b>Figura 20.</b> Histórico 2015-2021 del parámetro “Demanda Bioquímica de Oxígeno” ( $DBO_5$ ) de las distintas zonas de muestreo. ....	53
<b>Figura 21.</b> Histórico 2015-2021 del parámetro “Demanda Química de Oxígeno” (DQO) de las distintas zonas de muestreo.....	54
<b>Figura 22.</b> Histórico 2015-2021 del parámetro “Sólidos Sedimentables” (SSED) de las distintas zonas de muestreo. ....	55
<b>Figura 23.</b> Histórico 2015-2021 del parámetro “Sólidos suspendidos totales” (SST) de las distintas zonas de muestreo.....	56
<b>Figura 24.</b> Histórico 2015-2021 del parámetro “Grasas y Aceites” (GyA) de las distintas zonas de muestreo.....	57
<b>Figura 25.</b> Histórico 2015-2021 del parámetro “Fenoles” (PhOH) de las distintas zonas de muestreo.....	58
<b>Figura 26.</b> Concentración de la demanda química de oxígeno en función del tiempo en el	

sistema de oxidación: ozonización .....	59
<b>Figura 27.</b> Concentración de Fenol en función del tiempo en el sistema de oxidación:	
ozonización.....	60

## Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Parámetros de la resolución 0631(MADS, 2015). -----	19
<b>Tabla 2.</b> POA más utilizados (Bes Monge et al., 2016) -----	26
<b>Tabla 3.</b> Puntos de monitoreo de la Sede principal del Centro Médico Imbanaco.-----	32
<b>Tabla 4.</b> Puntos de monitoreo de la Torre A del Centro Médico Imbanaco.-----	33
<b>Tabla 5.</b> Coordenadas geodésicas del punto de monitoreo de la Torre B. -----	36
<b>Tabla 6.</b> Coordenadas geodésicas del punto de monitoreo de la Unidad de rehabilitación y medicina física. -----	37
<b>Tabla 7.</b> Sitio, frecuencia y variables fisicoquímicas a medir. -----	38
<b>Tabla 8.</b> Condiciones del sistema Cromatografía de Gases acoplado a masas (GCMS). -----	39
<b>Tabla 9.</b> Especificaciones del compresor de aire. -----	42
<b>Tabla 10.</b> Especificaciones del sistema generador de ozono. -----	43
<b>Tabla 11.</b> Especificaciones del sistema de refrigeración.-----	44
<b>Tabla 12.</b> Resultados de la Espectroscopía de Masas. -----	51

## 1. Introducción

Por quinta vez consecutiva, el Centro Médico Imbanaco (CMI) de la Ciudad de Cali, obtuvo el “Galardón Nacional Hospital Seguro, ACHC 2018” y hoy se convierte **en la única institución de Colombia en recibir los cinco galardones otorgados por la Asociación Colombiana de Hospitales y Clínicas, ACHC**. El Premio reconoce y destaca, ante el sector Salud de Colombia y de Iberoamérica, el conjunto de fortalezas logradas por la institución en la mejora continua de la seguridad en beneficio de sus pacientes, colaboradores y la sociedad en general. Beneficiar a la sociedad implica alinear, maximizar y reforzar las iniciativas existentes en materia de sostenibilidad, enfocar estratégicamente los esfuerzos realizados, gestionar y mitigar los impactos de nuestro servicio, adaptarnos a un mejor entorno de cambios continuos para favorecer así la transformación positiva de nuestro desarrollo sostenible. Por esta razón, es de interés para el CMI y las demás instituciones de salud dar tratamiento a las aguas residuales que generan los servicios de atención a la salud humana con el fin de mantener la sostenibilidad ambiental.

Las aguas residuales hospitalarias contienen una variedad de sustancias recalcitrantes y persistentes tales como productos farmacéuticos, radionucleidos, disolventes y desinfectantes para uso médico en un amplio intervalo de concentraciones debido a actividades de laboratorio, servicios e investigación (Verlicchi et al., 2010). Los desechos hospitalarios son peligrosos para el equilibrio ecológico y la salud pública, y un tratamiento ineficiente puede conducir a brotes de enfermedades, contaminación del agua y contaminación radiactiva (Kumar et al., 2007). Debido a la naturaleza recalcitrante de los compuestos presentes en las aguas residuales hospitalarias, los procesos convencionales usados en las plantas de tratamiento de las ciudades y municipios no son capaces de remover la contaminación que aporta este tipo de efluentes y debemos considerar medidas innovadoras y eficientes que mitiguen el impacto junto con técnicas apropiadas que combinadas proporcionen técnicamente opciones económicamente viables.

Este trabajo investigativo se desarrolló en compañía de Water Treatment Colombia SAS, una empresa Vallecaucana *spin off* de la Universidad del Valle pionera en proyectos de producción más limpia fundamentados en técnicas de oxidación avanzada para aguas residuales hospitalarias, esta investigación tiene como objetivo estudiar la naturaleza de la carga contaminante variante de las aguas residuales hospitalarias de la clínica Imbanaco de la Ciudad de Cali realizada bajo una metodología experimental que se llevo a cabo bajo jornadas de

muestreo y análisis de los parámetros fisicoquímicos, usando sistemas de oxidación avanzada para mineralizar la carga contaminante de los efluentes hospitalarios del Centro Médico Imbanaco.

Espero que estos resultados sean el comienzo de nuevos logros encaminados a fortalecer la gestión integral para el cuidado del medio ambiente y contribuir al conocimiento de los nuevos profesionales en ingeniería química capaces de enfrentar los retos del nuevo milenio en materia ambiental.

## 2. Planteamiento y justificación

La contaminación del agua por microcontaminantes (MC) producto de actividades humanas se ha convertido en uno de los problemas más críticos en los últimos años (Torán et al., 2017). Los MC Se consideran emergentes debido a que no se encuentran aún regulados, o están siendo sometidos a un proceso de regulación (Barceló & López de Alda, 2008). Estos compuestos se pueden clasificar en seis grupos (Virkyte et al., 2010): retardantes de llama bromados, parafinas cloradas, pesticidas polares, compuestos perfluorados, fármacos y productos de higiene personal y drogas. Siendo las aguas hospitalarias motivo de preocupación nacional e internacional debido a que se vierten en los sistemas de alcantarillado urbano, aportando cargas contaminantes elevadas; a causa de ello, tanto las aguas residuales hospitalarias como las aguas residuales tipo domésticas son tratadas de la misma manera, lo cual no es muy eficiente (*"New Standard for Hospital Wastewater Treatment"*, 2015), dejando abierta la posibilidad de una potencial propagación de enfermedades e implícitamente los riesgos ambientales derivados de la ausencia de tratamientos adecuado (Penagos et al., 2012)

Según Balcioğlu y Ötker (2003), los efluentes procedentes de centros de salud, clínicas y hospitales presentan principalmente antibióticos de baja biodegradabilidad, el 90% de estos compuestos luego de su administración no se metabolizan y se excretan por medio de la orina o heces. Diferentes estudios evidencian que los tratamientos convencionales a los cuales son sometidos estos contaminantes no logran disminuirlos cuantitativamente, y a causa de ello se pueden encontrar en las fuentes de agua potable representando de esta manera un riesgo potencial para la salud humana (Javier Benitez et al., 2009). Adicionalmente, el tratamiento ineficiente para la degradación de estos contaminantes ha permitido de forma preocupante un creciente número de bacterias resistentes a los antibióticos (Hrenovic et al., 2017). Según (Virkyte, 2010), los principales efectos causados sobre los organismos pueden ser diversos, tales como toxicidad crónica, disrupción endocrina y bioacumulación (Ouarda et al., 2018). Los tratamientos convencionales de aguas residuales resultan poco efectivos, (Janet Gil encontró en su estudio que muchos de estos compuestos persisten en el agua incluso después de tratamientos terciarios. Un ejemplo que resalta es la caracterización química y biológica de efluentes de un hospital de Barranquilla, Colombia, en los que se observó la presencia metales pesados (mercurio, platino, gadolinio), anestésicos (alquilfenol, propofol), citostáticos, desinfectantes, analgésicos y antiinflamatorios, entre otros. Se ha evidenciado el impacto que tienen los micro contaminantes en los cuerpos receptores, por ejemplo, en el río Llobrega

importante río de Cataluña, España, que nace en el municipio de Castellar de Nuch y desemboca en el mar Mediterráneo, la presencia de alquifenoles etoxilados ha llegado a provocar incluso la feminización en peces, pues estos contaminantes actúan como disruptores endocrinos, (Lima et al., 2010). Por otro lado aún se estudia los efectos sobre la salud humana, (Arroyo, 2013) enfatiza en que algunos de los contaminantes emergentes como los fármacos, no son estudiados bien como el uso de estos en condiciones terapéuticas, ya que la mayoría de medicamentos están destinados a ser consumidos por personas con condiciones de salud específicas y no por el público en general, al encontrarse MC en el agua potable, personas con sistemas inmunes comprometidos, predisposiciones genéticas y otras condiciones de salud, son las más vulnerables.

Pese al impacto de estos productos farmacéuticos, aun no existe una normativa ambiental ni estándares de vertimiento, por ello se debe evaluar la eficiencia de tratamientos alternativos que minimicen la presencia de MC, a un bajo costo económico y amigable con el medio ambiente.

En los últimos años, estudios sobre los procesos avanzados de oxidación (PAO's), han demostrado que resultan ser eficientes para la oxidación de un gran número de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos. Estos procesos se caracterizan por producir in situ, especies altamente activas, como radicales hidroxilo, los cuales no son selectivos para la oxidación de especies químicas (Yolanda Patiño, Eva Díaz, 2014), sin embargo su alto requerimiento energético produce altos costos de operación (González et al., 2015).

Este trabajo se desarrolló en el centro médico Imbanaco, institución prestadora de servicios en salud de mediana y alta complejidad. El área de influencia de la clínica no se limita solo al departamento del Valle del Cauca sino también a nivel nacional.

La clínica Imbanaco desde el 2015 hace un seguimiento anual a cada caja residual donde mide los parámetros fisicoquímicos constituidos en el artículo 14 resolución 0631, pero en este tiempo aun no contaban con el sistema de oxidación avanzada el cual fue instalado en noviembre del 2020, este sistema está diseñado para las aguas que son vertidas explícitamente en el laboratorio clínico. Por lo tanto, la finalidad de este trabajo es analizar los parámetros fisicoquímicos de cada caja residual y aumentar el porcentaje de mineralización en el proceso de oxidación ya instalado.



### **3. Objetivos**

#### **3.1. Objetivo General**

Estudiar la naturaleza de la carga contaminante variante de las aguas residuales hospitalarias de la clínica Imbanaco de la Ciudad de Cali.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Analizar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en cada uno de los puntos de muestreo de la clínica Imbanaco de la ciudad de Cali.
- Mejorar el porcentaje de mineralización en el proceso de oxidación avanzada.

## **4. Marco teórico**

### **4.1. Aguas Residuales Hospitalarias**

Los hospitales y centros médicos en general son una fuente importante de efluentes con desechos peligrosos e infecciosos para el medio ambiente, generalmente los flujos de los desechos se clasifican en 3 clases, a saber: desechos municipales que se componen de materiales no peligrosos como desechos de la cocina y reciclables en los que se encuentran: papel, cartón y plásticos; desechos médicos, estos se incluyen en desechos peligrosos e infecciosos tales como desechos anatomopatológicos, desechos de cirugía y materiales como agujas, vasos rotos desechos líquidos incluidos desechos farmacéuticos, químicos y biológicos de laboratorios; y desechos radioactivos.

Su peligrosidad radica en el contenido de microorganismos patógenos, materia orgánica y sustancias de interés sanitario (Ministerio del Medio Ambiente, 2002). los hospitales requieren importantes volúmenes de agua por día, generando otro volumen similar de agua residual con microorganismos patógenos, medicamentos metabolizados o no, compuestos tóxicos, entre otros, que se vierten tratadas o no al agua, afectando su calidad y poniendo en riesgo la salud.

### **4.2. Normatividad**

El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible presenta en el 2015 la Resolución 0631 (MADS, 2015), que su objetivo es 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, para de esta manera, ayudar al mejoramiento de la calidad del agua y trabajar en la recuperación ambiental de las vías fluviales del país (Manuel & Navarrete, 2016). En la Tabla 1 se muestran los parámetros evaluados por la norma vigente, donde se especifican las unidades de cada parámetro y los límites máximos permisibles para cada uno de ellos.

**Tabla 1.** Parámetros de la resolución 0631(MADS, 2015).

PARAMETRO	UNIDADES	ACTIVIDADES DE ATENCION A LA SALUD HUMANA- ATENCION MEDICA CON Y SIN INTERNACION
<b>Generales</b>		
pH	unidades de pH	6,00-9,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/O <sub>2</sub>	200,00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/O <sub>2</sub>	150,00
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	50,00
Sólidos Sedimentables (SSED)	mg/L	5,00
Grasas y Aceites	mg/L	10,00
Fenoles	mg/L	0,20
Formaldehido	mg/L	
Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)	mg/L	Análisis y Reporte
<b>Compuestos de Fosforo</b>		
ortofosfatos (PO <sup>3-4</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte
Fósforo Total (P)	mg/L	Análisis y Reporte
<b>compuestos de Nitrógeno</b>		
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Amoniacal (N-NH <sub>3</sub> )	mg/L	Análisis y Reporte
Nitrógeno Total (N)	mg/L	Análisis y Reporte
<b>Iones</b>		
Cianuro Total (CN <sup>-</sup> )	mg/L	0,50
<b>Metales y Metaloides</b>		
Cadmio (Cd)	mg/L	0,05
Cromo (Cr)	mg/L	0,50
Mercurio (Hg)	mg/L	0,01
Plata (Ag)	mg/L	Análisis y Reporte
Plomo (Pb)	mg/L	0,10
<b>Otros parámetros para análisis y reporte</b>		
Acidez Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte
Dureza cálcica	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	Análisis y Reporte
Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda: 436 nm 525 nm y 620 nm)	m <sup>-1</sup>	Análisis y Reporte

#### 4.2.1. Parámetros evaluados en la norma

A continuación, se describen cada uno de los parámetros evaluados por la Resolución 631 del 2015 para actividades de atención a la salud humana- atención medica con o sin internación(Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2015).

##### **Generales**

- **pH.** Es una medida de acidez o alcalinidad de una dilución acuosa que se define como el logaritmo de la actividad o concentración molar de iones hidrógeno en el agua, expresada como el algoritmo negativo de la concentración molar de ion hidrógeno(ROJAS, 2009).
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO).** Es la cantidad equivalente de oxígeno requerido para mineralizar la materia orgánica presente en una muestra. Se utiliza un oxidante fuerte como permanganato de potasio (Oikawa et al., 1984).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** Cantidad de oxígeno requerido por las bacterias para llevar a cabo el proceso de degradación de materia orgánica que sirve como alimento a las bacterias y que su oxidación genera energía en condiciones aeróbicas (Oikawa et al., 1984).
- **Sólidos Suspendidos Totales (SST).** Material particulado que permanecen en suspensión en el agua como colides debido al movimiento del agua (ROJAS, 2009).
- **Sólidos Sedimentables (SSED).** Volumen de las partículas sólidas que se depositan por la fuerza de la gravedad en un recipiente donde el líquido permanece inmóvil durante 60 min (Rojas, 2009).
- **Grasas y aceites.** Sustancias de origen vegetal o animal, esteres formados por moléculas de ácidos grasos y una molécula de glicerol, pueden ser sólidos (grasas) o líquidos (aceites) (Rojas, 2009).

- **Fenoles.** Los fenoles o compuestos fenólicos son compuestos orgánicos cuyas estructuras moleculares contienen al menos un grupo fenol, un anillo aromático unido al menos a un grupo funcional hidroxilo, compuestos comunes en efluentes de la industria del petróleo, el carbón, plantas químicas, fábricas de explosivos, de resinas y otras.
- **Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM).** Las sustancias activas al azul de metileno (SAAM) es un colorante catiónico, transfieren el azul de metileno desde una solución acuosa a un líquido inmisible en equilibrio. Esto ocurre durante la formación de un par iónico entre el anión (SAAM) y el catión azul de metileno. La intensidad del color resultante es una medida de las sustancias activas al azul de metileno (Rojas, 2009).

### **Compuestos de fósforo**

- **Ortofosfatos (PO<sub>4</sub>).** Fosfatos avanzados definidos como sal inorgánica del ácido fosfórico.
- **Fósforo Total (P).** El fósforo total es la suma de todas las formas de fósforo existentes: ortofosfato o fosfatos, fosfatos condensados y fósforo orgánico.

### **Compuestos de nitrógeno**

Se denomina sustancias o compuestos nitrogenados a las biomoléculas que contienen nitrógeno, ya sea macromoléculas o productos de desecho como lo son Nitratos (NO<sub>3</sub>), Nitritos (NO<sub>2</sub>), y Nitrógeno Amoniacal (NH<sub>3</sub>).

### **Iones**

Cianuro Total (CN<sup>-</sup>). Se refiere a todos los grupos (CN<sup>-</sup>) en compuestos químicos que pueden ser determinados como ion cianuro. Los cianuros son compuestos potencialmente tóxicos y ante un cambio de pH del medio puede liberar ácido cianhídrico, compuesto de máxima toxicidad para el ser humano.

## **Metales y metaloides**

Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Mercurio (Hg), Plata (Ag), Plomo (Pb). Como constituyentes importantes de muchas aguas, cualquier catión que tenga un peso atómico superior a 23 g/mol (que corresponde al peso atómico del sodio) se considera un metal pesado; así, las aguas residuales contienen gran número de metales pesados diferentes. Entre ellos se puede destacar níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio, entre otros. Todos ellos se encuentran catalogados como sustancias contaminantes y debido a su naturaleza tóxica deben tenerse obligatoriamente en consideración porque causan impacto negativo sobre los tratamientos biológicos convencionales, así como sobre los ecosistemas receptores.

## **Otros parámetros para análisis y reporte**

- **Acidez Total (mg/L).** se refiere a la presencia de sustancias disociables en agua y que como producto de disociación generan el ion hidronio ( $H_3O^+$ ), como son los ácidos fuertes, ácidos débiles y de fuerza media; también la presencia de ciertos cationes metálicos como el Fe (III) y el Al (III) contribuyen a la acidez del medio. (Rojas, 2009)
- **Alcalinidad Total.** capacidad del agua para neutralizar ácidos o aceptar protones. Esta representa la suma de las bases que pueden ser tituladas en una muestra de agua. (Rojas, 2009)
- **Dureza Total (mg/L).** Indica la cantidad total de iones alcalinotérreos (grupo 2) presentes en el agua y constituye un parámetro de calidad de las aguas de interés doméstico o industrial. involucra a todos los iones metálicos polivalentes que puedan encontrarse presentes en la muestra. (Rojas, 2009).
- **Dureza Cálcica ( $Ca_2^+$  y  $Mg_2^+$ ).** cuantifica solo la dureza por efecto del ion Calcio. (Rojas, 2009).
- **Color Real (Medidas de absorbancia a las siguientes longitudes de onda.** 436 nm, 525 nm y 620 nm). El color en el agua resulta de la presencia en solución de diferentes

sustancias como iones metálicos naturales, humus y materia orgánica disuelta. La expresión color real se considera como el color del agua de la cual se ha eliminado la turbiedad.

### **4.3. Tratamiento de las aguas residuales**

Los tratamientos para descontaminar las aguas residuales tienen como objeto mitigar y disminuir el nivel de contaminación, para obtener un efluente que no genere impactos ambientales negativos, cumpliendo con la normatividad ambiental vigente. Los tratamientos tradicionales son los mecánicos o también llamados fisicoquímicos, que son el conjunto de tratamientos primarios, secundarios y terciarios (Mitcheson et al., 2010).

#### **4.3.1. Tratamiento primario**

El objetivo del tratamiento primario es eliminar una fracción significativa de los sólidos en suspensión y material flotante de las aguas residuales por sedimentación (Centa, 2008). Los sólidos en suspensión eliminados son de naturaleza orgánica y, por lo tanto, contribuyen a la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) del lodo. El material flotante puede incluir aceite, grasa, trapos, entre otros (Belzona Inc., 2008).

Por otra parte, el tratamiento primario mejorado químicamente se refiere a un proceso que utiliza productos químicos para la coagulación, floculación y precipitación de partículas (Shin et al., 2022).

**Coagulación.** En este proceso se da la desestabilización de las partículas coloidales cargadas electrostáticamente. La coagulación es un proceso que permite incrementar la tendencia de las partículas de agregarse una tras otra para formar partículas mayores y así precipitar rápidamente, esto puede verse ayudado con el uso de coagulantes tales como el alumbre (sulfato de aluminio) y el cloruro de hierro. Algunos polímeros orgánicos y materiales de arcilla se usan también para estimular este proceso. Una vez coaguladas, las partículas más grandes son más fáciles de retirar que las más pequeñas. Las partículas más grandes se convierten en un material llamado flóculo. Este material esponjoso tiene un área de superficie más grande y ayuda más en el proceso de clarificación al atrapar partículas más pequeñas en su superficie (Belzona, 2010).

**Floculación.** Es un complemento de la coagulación, formación de flóculos como resultado de la colisión y adherencia entre partículas coaguladas consiste en la agitación de la masa coagulada

que sirve en el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesario para sedimentar con facilidad (Belzona, 2010).

**Sedimentación.** Separación mecánica de sólidos o gotas de líquidos a través de un fluido (en reposo o en movimiento) por acción de fuerzas gravitacionales, en los tratamientos de aguas residuales es uno de los procesos unitarios más utilizados, debido a que el peso específico de las partículas suspendidas es mayor que el del agua, la sedimentación en esencia es un fenómeno netamente físico y esta operación se emplea para la eliminación de arenas con el objetivo principal de obtener de un efluente clarificado, pero es evidente que se hace necesario producir un fango cuya concentración de sólidos permita su fácil tratamiento y manejo (Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriot, 2013).

#### 4.3.2. Tratamientos secundarios

El tratamiento secundario es la fase de tratamiento final antes de la desinfección, suele consistir en el tratamiento biológico de las aguas residuales efluentes primarias. Los objetivos del tratamiento secundario son disminuir la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ) y los sólidos en suspensión del efluente a niveles aceptables.

El tratamiento secundario de aguas residuales está diseñado para descomponer y evacuar el material de las aguas residuales antes de regresarlo a lagos, riachuelos, ríos y océanos (Mitcheson et al., 2010).

**Tratamientos aerobios.** Los tratamientos con aireación son utilizados para descomponer materia orgánica por acción de los microorganismos y el oxígeno presente en el aire convirtiéndose en dióxido de carbono y otras especies oxidadas (Muyo, 2016).

**Tratamientos anaerobios.** La biodegradación anaerobia consiste en la transformación, por medio de microorganismos, en ausencia de oxígeno, de la materia orgánica de las aguas residuales en compuestos gaseosos reducidos como el metano, el amoníaco y el ácido sulfúrico, además de dióxido de carbono. En este tratamiento se utilizan reactores cerrados en un proceso hermético (Conagua et al., 2015).

**Tratamientos mixtos.** Son la mezcla de tratamientos aerobios y anaerobios, bien de forma



seguida, alternante o ambos a la vez (Conagua et al., 2015).

**Tratamientos facultativos.** Estos tratamientos biológicos utilizan organismos denominados facultativos y no les afecta la presencia de oxígeno en el proceso (Conagua et al., 2015).

#### 4.3.3. Tratamiento terciario (procesos de oxidación avanzada)

Cuando el efluente del tratamiento secundario no cumple con la normativa o los requisitos para la descarga, es necesario un tratamiento adicional para reducir los niveles de contaminantes específicos. Esto generalmente se denomina tratamiento avanzado o tratamiento terciario. Los procesos de tratamiento avanzados se utilizan para la eliminación de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, la eliminación de sólidos suspendidos totales residuales, la eliminación de metales pesados o inorgánicos específicos y la eliminación de contaminantes emergentes de interés, entre otros (Mitcheson et al., 2010).

Los procesos de oxidación avanzada (POA's) son aquellos tratamientos terciarios que están basados en la generación de especies fuertemente oxidantes que tienen como objetivo principal la eliminación de compuestos solubles no biodegradables presentes en las aguas residuales, estos consisten en una oxidación química en condiciones suaves de presión y temperatura, hasta la mineralización completa de contaminantes. Si el proceso se prolonga suficiente o quedándose en estados de oxidación intermedios que permitan un acoplamiento con otros métodos de depuración como pueden ser los procesos biológicos (Bes Monge et al., 2016).

Los POA's se apoyan en procesos fisicoquímicos capaces de originar cambios importantes en la estructura química de los contaminantes, que implican la generación y uso de especies poderosas transitorias, principalmente el radical hidroxilo ( $\text{OH}\cdot$ ), la generación de radicales se realiza a partir de oxígeno, agua oxigenada y catalizadores soportados, por lo que los subproductos de reacción son únicamente agua y dióxido de carbono (Bes Monge et al., 2016).

Los POA's se pueden clasificar de diversas formas, como se muestra en la Tabla 2, como procesos no fotoquímicos y procesos fotoquímicos en función de la participación de la luz en el proceso.

**Tabla 2.** POA más utilizados (Bes Monge et al., 2016)

Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
Ozonización	Ultravioleta de vacío
Ozonización con O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Procesos Fenton (Fe <sup>2+</sup> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) y relacionados	UV/O <sub>3</sub>
oxidación electroquímica	UV/O <sub>3</sub> /H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>
Radiólisis y tratamiento con haces de electrones	Fotocatálisis solar
Plasma no térmico	Homogénea: Foto-Fenton y relacionada
Oxidación en agua subcrítica y supercrítica	Heterogénea: Fotocatálisis con TiO <sub>2</sub>
Irradiaciones gamma	
Aceleradores de electrones	

Los POA's usan reactivos costosos como el peróxido de hidrógeno o el ozono, o consumen grandes cantidades de energía (UV, entre otros) (Bes Monge et al., 2016) ha confirmado que cuando se combinan con otros procesos tales como adsorción o procesos biológicos adquieren su potencial en cuanto a eficiencia económica por el ahorro en productos químicos y/o energía.

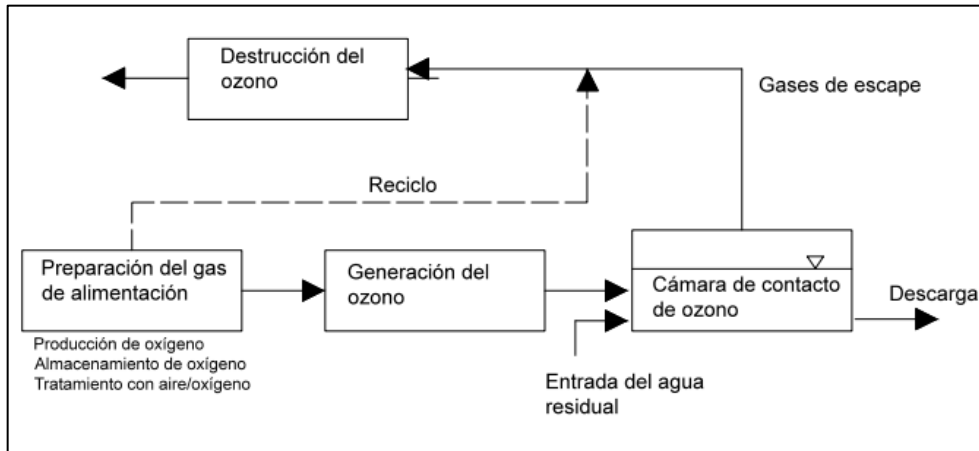
### **Ozonización**

El proceso de ozonización es un proceso no fotoquímico donde se genera especies muy reactivas principalmente el radical hidroxilo en cantidades suficientes para interaccionar con los compuestos orgánicos del medio. El ozono se puede utilizar para la mineralización (eliminación de COT) de moléculas orgánicas, aunque en muchos casos implica el uso de altas dosis de ozono y el sobreprecio del proceso (Penagos et al., 2012).

En la ozonización, la eficacia depende de la contaminación química y biológica del agua a ser tratada, del tiempo de contacto y de la concentración del ozono.

En la Figura 1, podemos observar los componentes del proceso de ozonización el cual cuenta con la preparación del gas de alimentación, generación del ozono, contacto del ozono que suele realizarse bien por difusores de burbuja o mediante inyectores del tipo Venturi y la destrucción del ozono que se realiza por destrucción térmica o por destrucción catalítica con catalizadores

de paladio, óxido de níquel o manganeso.



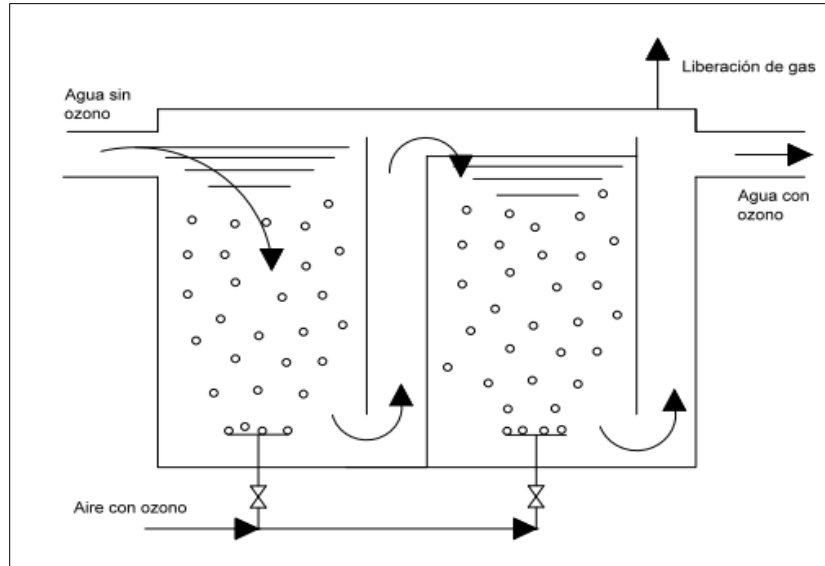
**Figura 1.** Proceso de ozonización (Adaptada de Almeida et al., 2004).

El ozono se produce en un generador de ozono. El gas de alimentación puede ser aire u oxígeno puro. Aproximadamente de 1 a 10 por ciento del oxígeno que fluye por los electrodos se transforma en ozono (Santiago & Calderón Ancona, 2005)

Existen diferentes métodos para la producción de ozono que se pueden dividir en tres categorías, según se utilice: la descarga de corona, la descarga electroquímica y los métodos UV. Entre ellas, la descarga de corona o también conocido como “descargas eléctricas silenciosas”, es el método de generación más utilizado (Almeida et al., 2004).

El ozono en su uso industrial ya sea partiendo del aire o de oxígeno puro, se obtiene por descarga eléctrica alterna de alta tensión. Por otro lado, para evitar la formación de un arco eléctrico (descarga eléctrica silenciosa), los dos electrodos están separados por un medio dieléctrico, generalmente vidrio. La descarga de corona entre los dos electrodos causa que un electrón fluya a través del hueco de descarga, como se muestra en la Figura 2. Esos electrones suministran la energía para disociar las moléculas de oxígeno, produciéndose así la formación de ozono como lo ilustran las Ecuaciones 1 y 2.

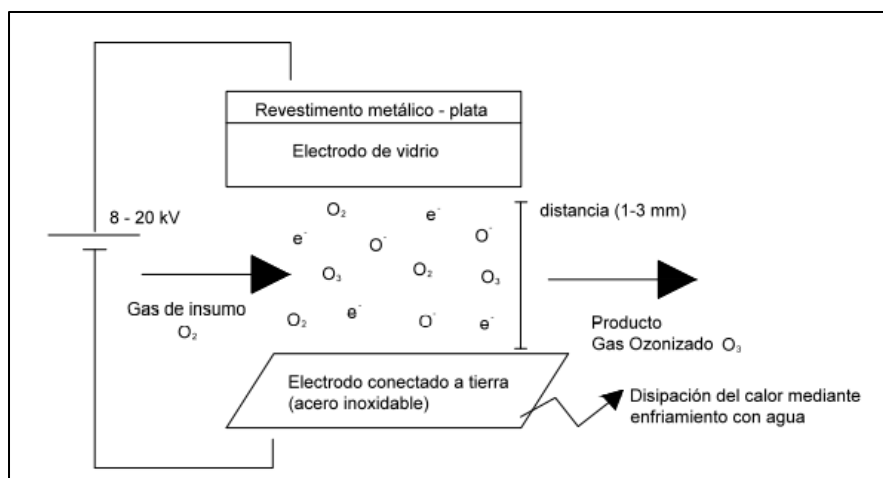




**Figura 2.** Producción de ozono (Adaptada de Santiago & Calderón Ancona, 2005).

Estos dispositivos de descarga de corona generan gran cantidad de calor (alrededor de 80 a 95 por ciento de la energía se convierte en calor) que podría provocar la descomposición del ozono producido. Así pues, el sistema de refrigeración de los ozonizadores es muy importante para mantener una temperatura constante del gas dentro de la cámara de descarga. Este sistema se realiza normalmente mediante la circulación de un refrigerante que podría ser: agua o aire (Santiago & Calderón Ancona, 2005). Es necesario que el ozono entre en contacto con el agua a tratar y que se disperse de la manera más fina posible. Normalmente, esto se realiza a través de difusores de burbujas finas en cámaras de contacto. Los tipos de cámaras de contacto de burbujas difusas más utilizados son: inyección de presión positiva, de presión negativa, de agitación mecánica y las torres de lecho fijo. Los difusores de cámara con deflectores parecen ser los más comunes.

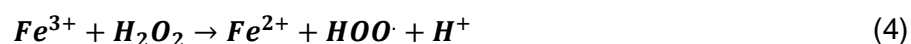
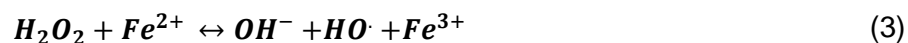
En la Figura 3 se muestra una cámara de contacto con deflectores. Una cámara típica generalmente tiene varios compartimentos en serie con difusores de burbuja en el fondo. En el primer compartimiento, el agua fluye hacia abajo en sentido contrario al de las burbujas, que ascienden, y en el segundo compartimiento el agua fluye hacia arriba. Las cámaras se cubren para prevenir el escape de ozono y aumentar la presión parcial del ozono en la cámara. Las cámaras adicionales garantizan el tiempo de contacto entre el ozono y el agua (Camenforte & Pérez, 2014).



**Figura 3.** Cámara de contacto con deflectores (Camenforte & Pérez, 2014)

### **Fenton**

La adición de sales de hierro como catalizador en presencia de  $H_2O_2$  es un método clásico de producción de radicales  $HO\cdot$ . Este POA se conoce como proceso de Fenton, en reconocimiento por la importante contribución realizada por el investigador británico Henry John H. Fenton a finales del siglo XIX (Munoz et al., 2016). En este proceso, los radicales  $HO\cdot$  se forman a partir de la interacción entre  $H_2O_2$  y hierro ferroso ( $Fe^{2+}$ ) en medio ácido (pH 2,5-4), en un mecanismo descrito de acuerdo con la Ecuación 3. Como el hierro es un catalizador, no se consume durante el proceso, por lo contrario, el  $Fe^{2+}$  se regenera a partir del hierro férrico ( $Fe^{3+}$ ), como se describe en la Ecuación 4. Normalmente el hierro es añadido como una sal ferrosa, sobre todo sulfato de hierro (II).

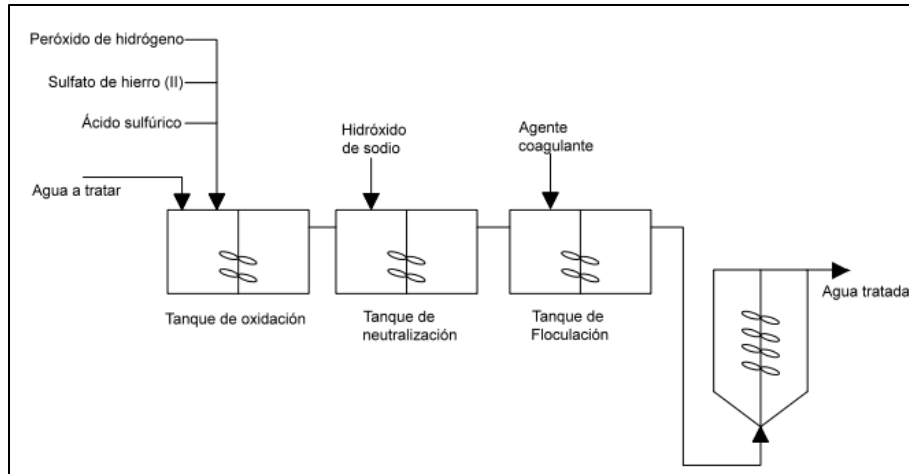


Generalmente, existe un reactor principal donde ocurre el proceso de Fenton en modo discontinuo, normalmente en tanque no presurizado, en condiciones atmosféricas, que dispone de una serie de bombas externas para poder adicionar el agente para el ajuste del pH (ya sea ácido o base), y dosificar el sulfato de hierro (II) y el peróxido de hidrógeno (35-50%) en disolución. Después de llenar el tanque de oxidación con el agua residual, la adición de los reactivos se lleva a cabo como se puede observar en la Figura 4, a través de este procedimiento.

1. Añadir el ácido o la base para ajustar el pH hasta 2,5-4 (2,8 idealmente).
2. Añadir los reactivos poco a poco para que no ocurran cambios bruscos de pH o la

temperatura

3. Añadir el sulfato de hierro (II) y después el  $H_2O_2$ .
4. Se pasa a un tanque de neutralización para adicionar una base.
5. Precipitar el hidróxido de hierro en la forma de lodo.
6. Coagular el lodo en un tanque de floculación



**Figura 4.** Esquema industrial del proceso Fenton (Muñoz et al., 2016).

### **Fotocatálisis**

La fotocatalisis emplea radiación UV y/o visible como fuerza motriz de tratamiento de aguas. Este proceso causa la aceleración de una reacción fotoquímica mediante la presencia de un catalizador (sensibilizador), que da lugar a la eliminación de materia orgánica y metales pesados disueltos en el agua residual. Dentro de la fotocatalisis se tienen dos tipos de técnicas: procesos heterogéneos, mediados por un semiconductor como catalizador, y los procesos homogéneos en donde el sistema es usado en una sola fase (ósea, catalizador disuelto). La fotocatalisis se aplica cuando el contaminante por sí mismo no es capaz de capturar fotones, y por lo tanto se requiere el uso de un sensibilizador (el catalizador) que absorbe la energía radiante y acelera la oxidación. La aplicación de radiación solar para la realización de procesos fotoquímicos sólo es posible con ciertos catalizadores y dependiendo de la configuración del foto-reactor, como por ejemplo cationes de hierro disuelto o dióxido de titanio en fase sólida, para catálisis heterogénea o homogénea, respectivamente. Mediante esta tecnología se generan oxidantes como el radical hidroxilo que, en medio acuoso, reaccionan con los contaminantes orgánicos degradándolos a dióxido de carbono, agua y otras sales. Además, se puede promover la desinfección del agua (Bes Monge et al., 2016).

## 5. Metodología

Con el fin de analizar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos acorde a la resolución 0631 del 2015, se establece la siguiente metodología fundamentada en el standard methods aprobado por la comunidad científica para las mediciones en aguas residuales.

### 5.1. Toma de Muestras

#### 5.1.1. Toma de muestras para control y seguimiento

Para la toma de muestras se utilizó un recolector de muestra, un balde, un recipiente para el almacenamiento de la muestra, y una nevera de icopor para refrigerar las muestras. El recipiente donde se almacena la muestra depende del protocolo de medición establecidos en el standard methods. Las muestras se clasificaron en puntuales y compuestas, una muestra puntual es aquella que es recolectada en un punto específico de un sitio durante un periodo corto de tiempo (generalmente minutos o segundos) y una muestra compuesta es aquella que se conforma por la mezcla de muestras puntuales, recolectadas en diferentes puntos de manera simultánea o tan sincronizado como sea posible. La muestra finalmente se preserva con ácido sulfúrico o ácido clorhídrico y el volumen de muestra fue de 500 mL.

#### ***Sede principal***

La sede principal está ubicada en la carrera 38 Bis No. 5B2 - 04, Cali, Valle del Cauca. Allí se prestan servicios como radioterapia, medicina nuclear, urgencias, imágenes diagnósticas, consulta externa, cardiología, angiografía, endoscopia, resonancia, UCI, cirugía, quimioterapia, cuidado integral de la mujer, laboratorio de patología, laboratorio clínico, central de esterilización, casino, hospitalización, telemetría y además cuenta áreas administrativas. La sede principal cuenta con 3 salidas de efluentes (cajas de agua residual), estas salidas fueron monitoreadas el día 24 de septiembre por el laboratorio HIDROAMBIENTAL certificado ante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), donde en primera instancia se realizaron muestras puntuales cada 20 minutos durante 12 horas, con el fin de medir directamente pH, temperatura y caudal y lograr conformar una muestra compuesta al final de la jornada de muestreo, con el fin de analizar los parámetros fisicoquímicos descritos en la resolución 0631 del 2015. En la Tabla 3 se muestran los puntos de monitoreo de la sede principal con su dirección, coordenadas y especificaciones de cada punto. Además, se presenta las fotos de estos puntos monitoreados en las Figuras 5-7.

**Tabla 3.** Puntos de monitoreo de la Sede principal del Centro Médico Imbanaco.

Cajas	Dirección	Coordenadas		Especificaciones
		Latitud	Longitud	
Punto 1	Andén de la carrera 38 Bis	Norte 03°25'35,6''	Oeste 76°32'42,6''	Recibe los efluentes de la cafetería y laboratorios. La cámara tiene las siguientes dimensiones: 80 cm de largo, por 80 cm ancho y 160 cm de profundidad, a la cual llega una tubería de 13 in.
		Punto 2	Norte 03°25'35,6''	Oeste 76°32'42,6''
Punto 3	Andén de la Calle 5	Norte 03°25'35,6''	Oeste 76°32'42,6''	Es una cámara circular con diámetro interior de 1.20 m, a la cual llega una tubería de 11,8 in de diámetro.



**Figura 5.** Punto 1 de monitoreo de la sede principal.



**Figura 6.** Punto 2 de monitoreo de la sede principal.





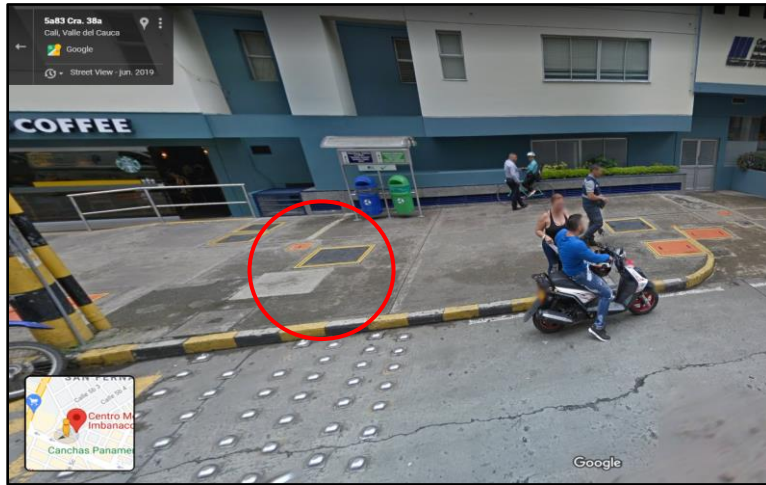
**Figura 7.** Punto 3 de monitoreo de la sede principal.

### **Torre A y B**

La Torre A y B del Centro médico Imbanaco de Cali S.A están localizadas en la carrera 38 A # 5 A – 100. Para la Torre A, la jornada de aforo y muestreo se llevó a cabo durante 6 horas de monitoreo, en cinco puntos que reciben los efluentes domésticos y de los procesos. La Torre A presta los servicios de: Imágenes diagnósticas, Radiocirugía (GammaKnife), Oftalmología, Rehabilitación cardiaca, cafetería y consultorios médicos. En la Tabla 4, se muestran los puntos de monitoreo de la Torre A con su dirección, coordenadas y especificaciones de cada punto. Además, se presenta las fotos de estos puntos monitoreados en las Figuras 8-12.

**Tabla 4.** Puntos de monitoreo de la Torre A del Centro Médico Imbanaco.

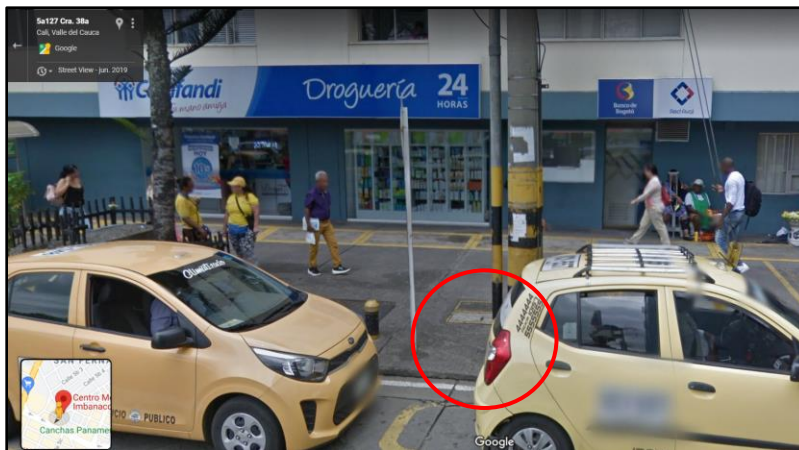
Cajas	Dirección	Coordenadas		Especificaciones
		Latitud	Longitud	
<b>Punto 1</b>		Norte 03°25'26,4''	Oeste 76°32'40,0''	Dimensiones de la cámara 80 cm *80 cm con altura de 80 cm, que recibe una tubería de 5,98 in.
<b>Punto 2</b>	Andén de la Torre A sobre la carrera 38A.	Norte 03°25'26,4''	Oeste 76°32'38,6''	Recibe principalmente el efluente de la Trampa Grasas de la Cafetería de la Torre A y otros efluentes de esta torre. Recibe tres tuberías de 5,98 in. Dimensiones de la cámara 90 cm*90 cm con altura de 110 cm.
<b>Punto 3</b>		Norte 03°25'26,0''	Oeste 76°32'37,0''	Recibe por bombeo aguas de drenaje de sótano. Llega una tubería de 6,3 in. Dimensiones de la cámara 80 cm*80 cm con altura de 60 cm.
<b>Punto 4</b>		Norte 03°25'23,8''	Oeste 76°32'37,6''	Tubería de 5,98 in de diámetro. Dimensiones de la cámara 80 cm*80 cm con altura de 60 cm.
<b>Punto 5</b>	Andén de la carrera 39	Norte 03°25'23,9''	Oeste 76°32'38,0''	Dimensiones de la cámara 90 cm*70 cm con una profundidad de 55 cm a la que llegan dos tuberías de 5,98 in de diámetro.



**Figura 8.** Punto 1 de monitoreo de la Torre A.



**Figura 9.** Punto 2 de monitoreo de la Torre A.



**Figura 10.** Punto 3 de monitoreo de la Torre A.



**Figura 11.** Punto 4 de monitoreo de la Torre A.



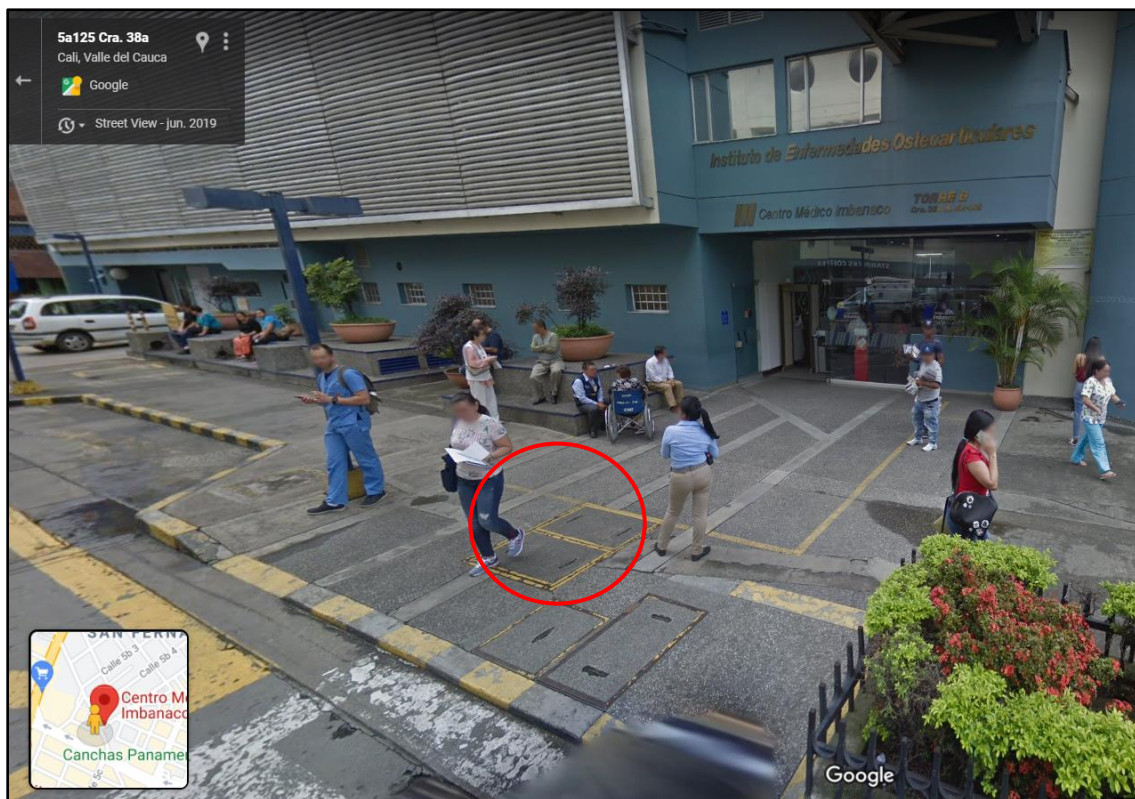
**Figura 12.** Punto 5 de monitoreo de la Torre A.

Y para la Torre B la jornada de aforo y muestreo se llevó a cabo durante 6 horas de monitoreo en el único punto que recibe los efluentes domésticos y de los procesos. La torre B presta servicios de Laboratorio clínico, vacunación, Unidad de Medicina Reproductiva y consultorios médicos.

El punto del efluente general corresponde a la cámara ubicada en el andén de la Torre B, sobre la carrera 38 A que recibe todos los vertimientos de esta torre incluyendo laboratorio clínico. Las dimensiones de la cámara son de 88 cm \* 88 cm de lado y una profundidad de 90 cm, que recibe una tubería de 5,98 in. En la Tabla 5 se muestran las coordenadas del punto de monitoreo de la Torre B y en la Figura 13 se presenta la foto del punto.

**Tabla 5.** Coordenadas geodésicas del punto de monitoreo de la Torre B.

Coordenadas geodésicas	
Latitud	Longitud
Norte 03°25'26,6'' N	Oeste 76°32'39,2'' W



**Figura 13.** Punto general de monitoreo de la Torre B.

### **Unidad de rehabilitación y medicina física**

La unidad de rehabilitación y medicina física está ubicada en la calle 5B No. 38A-24, esta presta servicios de fisioterapia, rehabilitación física, reforzamiento muscular, acondicionamiento físico y drenaje linfático manual.

La sede no procesa análisis, los vertimientos generados provienen de aseo de las instalaciones, sanitarios y agua de lavamanos. Con el fin de obtener resultados representativos del funcionamiento de la Unidad de rehabilitación y medicina física la jornada de aforo y muestreo se hizo durante 6 horas cada 20 minutos componiendo una muestra para analizar.

El aforo y muestreo se llevó a cabo en el punto que corresponde a la cámara domiciliar ubicada en la entrada principal. A esta cámara llegan dos tuberías de 5,98 in provenientes de baños y servicios de aseo. En la Tabla 6 se muestran las coordenadas del punto de monitoreo de la Unidad de rehabilitación y medicina física y en la Figura 14 se presenta la foto del punto.

**Tabla 6.** Coordenadas geodésicas del punto de monitoreo de la Unidad de rehabilitación y medicina física.

Coordenadas geodésicas	
Latitud	Longitud
Norte 03°25'28,0'' N	Oeste 76°32'56,2'' W



**Figura 14.** Punto general de monitoreo de la unidad de rehabilitación y medicina física.

### 5.1.2. Estimación de la naturaleza de la carga contaminante

Para el monitoreo de parámetros físicos y químicos del agua residual hospitalaria se tomaron muestras en los puntos de entrada y salida durante 8 meses, esta información se encuentra recopilada y estructurada en los anexos (Anexos A, B, C y D). En la Tabla 7 se detallan los parámetros que fueron evaluados, el quipo o la técnica empleada para el análisis, la frecuencia con la que se realizaron las mediciones y los puntos muestreados.

**Tabla 7.** Sitio, frecuencia y variables fisicoquímicas a medir.

Parámetros	Unidad	Equipo	Frecuencia de medición	Punto de muestreo
Caudal	L/s	Aforo	1/día	Entrada y Salida
pH	Unidades de pH		4/día	Entrada, Salida, Intermedio
Temperatura	°C		4/día	Entrada, Salida, Intermedio
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	Sonda	4/día	Entrada, Salida, Intermedio
Conductividad Eléctrica (CE)	mS/cm	Multiparamétrica de Calidad del Agua HI-98194 Hanna	4/día	Entrada, Salida, Intermedio
Potencial de Óxido-Reducción (ORP)	mV	Instruments	4/día	Entrada, Salida, Intermedio
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L		3/semana; 2/día	Entrada, Salida, Intermedio
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	mg/L		3/semana; 2/día	Entrada, Salida, Intermedio
Alcalinidad	mg/L	Checker HI775 – Hanna Instruments	3/semana; 2/día	Entrada, Salida
Fosfatos (P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> )	mg/L	Checker HI717 – Hanna Instruments	3/semana; 2/día	Entrada, Salida
Parámetros de Laboratorio	Unidad	Standard Methods (2017)	Frecuencia de medición	Punto de muestreo
Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK)	mg/L	4500 N <sub>org</sub> - B, C	1/semana	Entrada, Salida
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	5220-D	1/semana	Entrada, Salida
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	5210-D	1/semana	Entrada, Salida
Carbono Orgánico Disuelto (COD)	mg/L	5310-B	1/semana	Entrada, Salida
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	2540-D	1/semana	Entrada, Salida

Para determinar la naturaleza de las moléculas presentes en los medicamentos se utilizó un sistema de Cromatografía de Gases acoplado a Espectrometría de Masas con las condiciones mencionadas en la Tabla 8 y acorde a la NIST Research Library se estimaron los porcentajes de existencia.

**Tabla 8.** Condiciones del sistema Cromatografía de Gases acoplado a masas (GCMS).

<b>Programación de la temperatura del horno</b>	Temperatura inicial de 40°C en un tiempo inicial de 2 min y finaliza con una temperatura de 280°C transcurridos 20 min.
<b>Tasa de flujo de gas</b>	13.3°C/min
<b>Modo de inyección</b>	Split (1.2 µ L)
<b>Columna</b>	SH-Rxi-5Sil Ms (30 m de largo, 0.25 mm de recubrimiento)
<b>Modo de ionización</b>	SEI
<b>Detector</b>	15 eV y 70 eV
<b>Tiempo de análisis (min)</b>	3.0 - 75.0
<b>Temperatura de la línea de transferencia</b>	230°C
<b>Presión en la columna</b>	46kPa
<b>Flujo en la columna</b>	1mL/min

## 5.2. Proceso de Oxidación Avanzada

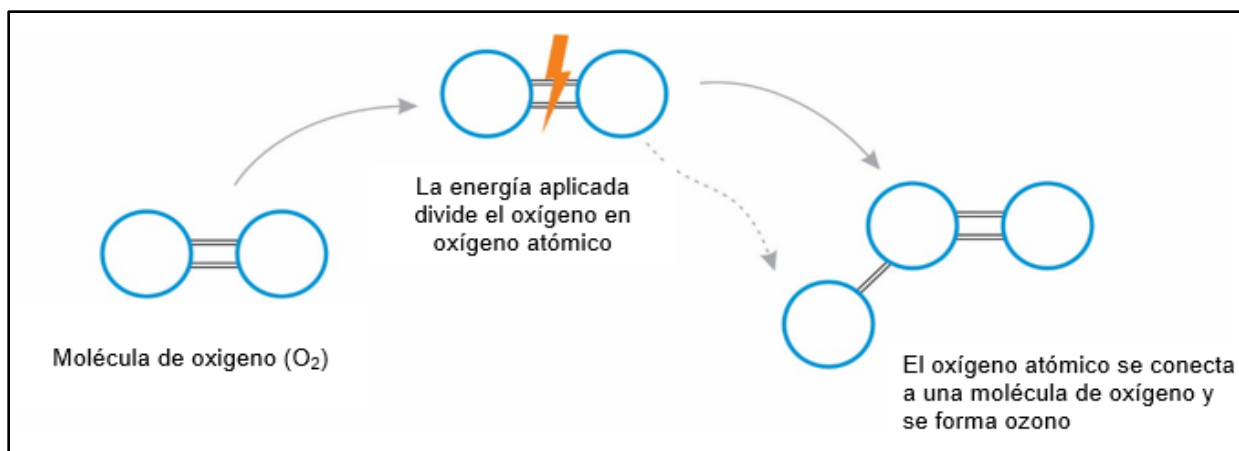
### 5.2.1 Sistema de Ozonización

#### **Ozono**

El proceso de oxidación con ozono es un tratamiento de aguas residuales altamente eficaz que utiliza inyección variable del compuesto químico ozono para eliminar contaminantes orgánicos e inorgánicos.

El ozono es más eficiente que el cloro y presenta la ventaja adicional de no producir residuos químicos, ya que la degradación del ozono es completa porque este reacciona y se convierte en O<sub>2</sub>.

En condiciones ambientales normales, el oxígeno es una molécula que consta de dos átomos. Estos dos átomos están unidos por un doble enlace (O=O). Si se suministra energía a esta molécula, uno de estos enlaces se rompe. Un átomo de oxígeno adicional ahora puede enlazarse. Esto produce una molécula que consta de tres átomos de oxígeno: ozono, como se observa en la Figura 15.



**Figura 15.** Esquema de producción de ozono.

El ozono se genera por la reacción de una molécula de oxígeno con un átomo de oxígeno utilizando el principio de descarga eléctrica. En este proceso, un gas que contiene oxígeno (generalmente aire u oxígeno puro) pasa a través de un campo eléctrico entre dos electrodos. Debe asegurarse de antemano que el gas esté seco y no contenga partículas de polvo. El oxígeno se convierte en ozono en el campo eléctrico. El flujo de gas con ozono resultante se transporta directamente a donde se necesita (por ejemplo, al equipo de mezcla para disolverlo en el agua residual).

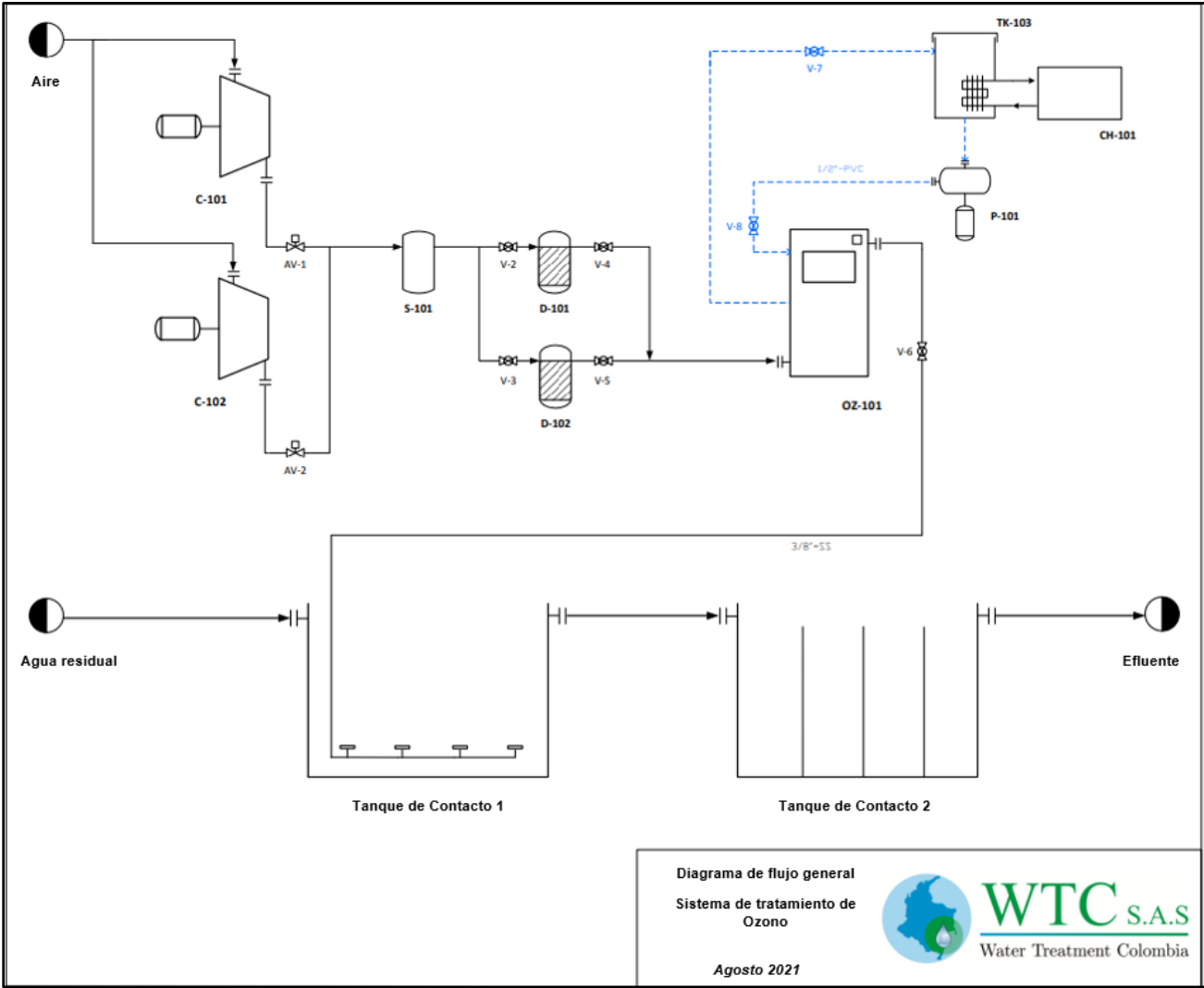
La molécula de ozono se descompone nuevamente después de poco tiempo. Esto produce oxígeno y calor. Esta corta vida útil evita que el ozono se produzca en altas concentraciones y se almacene. El ozono debe producirse in situ. En su forma concentrada, el ozono es un gas incoloro, que es alrededor de 1,5 veces más pesado que el aire. Por lo tanto, si el ozono se escapa, puede acumularse al nivel del suelo. Este olor todavía se puede notar a una concentración de 1: 500.000. El umbral de olor del ozono es de aproximadamente 0,04 mg / m<sup>3</sup>.

El ozono es técnicamente el agente oxidante más fuerte comparado con el dióxido de cloro, peróxido de hidrógeno, radical peridroxilo, ácido hipocloroso y el cloro. Esta propiedad es la razón fundamental para el uso del ozono en el tratamiento y desinfección de agua potable, agua de proceso y aguas residuales. Las sustancias indeseables se oxidan en sustancias fácilmente eliminables o biodegradables. La principal ventaja del ozono es que se vuelve a descomponer en oxígeno después de su uso, que en cualquier caso ya está presente en el agua.



**Sistema de tratamiento**

La Figura 16 muestra el esquema y los componentes del proceso, que se explica de la siguiente manera: El aire extraído del ambiente se comprime hasta 30 psig, luego pasa a través de un sistema de secado para eliminar el agua; El aire seco y comprimido ingresa al sistema de generación de oxígeno, aquí una serie de filtros adsorbe el nitrógeno del aire y produce un flujo de gas enriquecido con oxígeno. El ozono se produce como se describió anteriormente dentro de un tubo que contiene la celda de descarga de corona, luego se inyecta en el agua mediante difusores de burbujas en el tanque de contacto. El agua de enfriamiento (18 a 20 ° C) de un enfriador se usa para disipar el calor generado en la celda.



**Figura 16.** Proceso de ozonización para tratamiento de agua residual hospitalaria.

## **Compresor**

El sistema del compresor se utiliza para alimentar con aire presurizado y sin aceite al sistema de generación de ozono. La Tabla 9 muestra las especificaciones del compresor de aire.

**Tabla 9.** Especificaciones del compresor de aire.

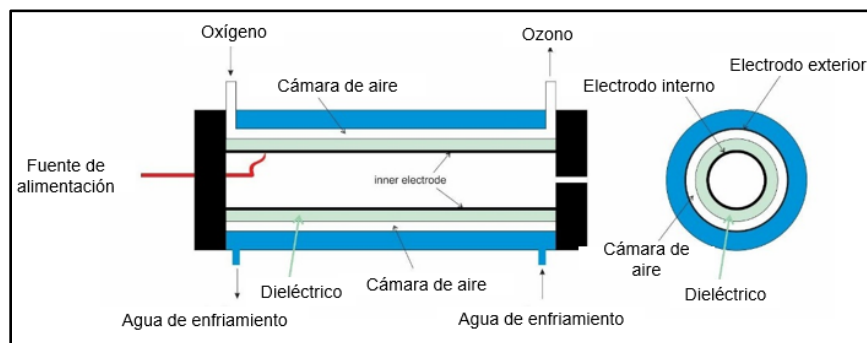
<b>Modelo</b>	Mzb 1500G
<b>Poder</b>	1500 W
<b>Dimensiones</b>	550 x 600 x 200 (milímetro)
<b>Suministro eléctrico</b>	110 V / 60 Hz
<b>Actual</b>	13 amperios máx.

## **Sistema generador de ozono**

La Figura 17 muestra los elementos del tubo de ozono. El elemento consta de un tubo exterior conectado a tierra de acero inoxidable, un electrodo de alto voltaje y un dieléctrico. El gas pasa través de la ranura entre el electrodo de alto voltaje, el dieléctrico y el electrodo exterior donde se forma ozono por una descarga eléctrica.

La descarga eléctrica es habilitada por una señal de alto voltaje alterno de frecuencia de rango medio instalada entre el electrodo de alto voltaje y el tubo exterior, y hace que una proporción del oxígeno se convierta en ozono. El calor generado durante la descarga se libera a través de la pared de la tubería al agua de refrigeración que fluye entre la tubería exterior de metal y la tubería exterior. Este enfriamiento directo proporciona una excelente transmisión de calor al agua de enfriamiento y, por lo tanto, un excelente grado de eficiencia de los elementos generadores de ozono.

La Tabla 10 muestra la especificación del sistema generador de ozono. Como se mencionó, los elementos de generación de oxígeno y ozono están ubicados dentro de un gabinete de acero inoxidable, con dos puertos de entrada (aire comprimido y agua de enfriamiento) y dos puertos de salida (salida de ozono y agua de enfriamiento). La figura 18 muestra una fotografía del gabinete.



**Figura 17.** Elementos del tubo de ozono.

**Tabla 10.** Especificaciones del sistema generador de ozono.

<b>Modelo</b>	WTC40
<b>Salida de ozono</b>	40 g / h
<b>Max. Conc. De ozono</b>	80 ppm
<b>Poder</b>	550 W
<b>Dimensiones</b>	550 x 400 x 1240 (milímetro)
<b>Suministro eléctrico</b>	110 V / 60 Hz
<b>Actual</b>	15 amperios
<b>Alimentación de gas</b>	Aire comprimido y seco



**Figura 18.** Fotografía del sistema de generación de ozono WTC S.A.S.

## **Enfriador**

El agua de refrigeración tiene la función de disipar el calor producido durante la generación de ozono en el cámara del generador de ozono. Esta disipación de calor es importante para mantener el gas ozono a baja temperatura para mantener la óptima salida de ozono y proteger los componentes internos del generador de ozono. El agua de refrigeración viaja desde el enfriador de 1,0 toneladas a través del intercambiador de calor y luego nuevamente hacia el enfriador mediante una bomba centrífuga. La temperatura del agua de refrigeración (entre 18 y 22 ° C) se regula mediante un sistema automatizado que consta de un termopar y un interruptor de encendido / apagado. La Tabla 11 muestra algunas especificaciones del enfriador y sus componentes.

**Tabla 11.** Especificaciones del sistema de refrigeración.

<b>Capacidad frigorífica</b>	1 tonelada
<b>Temperatura</b>	15 hasta 22 ° C
<b>Caudal de agua de refrigeración</b>	1 l / s
<b>Poder</b>	1,5 kW
<b>Dimensiones</b>	550 x 500 x 1200 (milímetro)
<b>Suministro eléctrico</b>	220 V / 60 Hz
<b>Actual</b>	15 amperios

## **Toma de muestras de sistema de ozonización**

Las muestras de tomaron de manera puntual en la entrada y salida del sistema de oxidación con ozono haciendo uso de un instrumento volumétrico (probeta).

## **Mejora de la eficiencia del proceso de oxidación**

Para evidenciar la mejora del proceso de oxidación se revisaron las fichas técnicas de los equipos instalados y diagramas de proceso. Para documentar el seguimiento se construyó una bitácora y carpetas con documentos y memorias de cálculo. Todos los resultados e indicadores de las actividades mencionadas se soportaron en hitos establecidos en el documento para seguimiento de procesos Water Treatment Colombia S.A.S. En la Figura 19 se presenta la fotografía del proceso de ozonización instalado en el Centro Médico Imbanaco.



**Figura 19.** Fotografía del proceso de ozonización instalado en el Centro Médico Imbanaco.

La técnica de remoción que se utilizó es una técnica de oxidación avanzada, con un equipo generador de ozono, que genera ozono a partir de una descarga eléctrica con oxígeno la cual es generada por una corriente a 110 V, y posteriormente se inyecta al tanque de tratamiento con un burbujeo de microburbuja con unos difusores de acero inoxidable en un tiempo de contacto de 6 horas los cuales son necesarios para el tratamiento del efluente.

## 6. Resultados y análisis

### 6.1 Naturaleza de carga contaminante

#### 6.1.1. Análisis de los productos limpieza

Se iniciaron las actividades relacionadas con el estudio de vertimientos del Centro Médico Imbanaco (CMI) conociendo y analizando la naturaleza contaminante de los insumos de limpieza y desinfección con el fin de saber las posibles influencias en los parámetros fisicoquímicos en los vertimientos puntuales de aguas residuales hospitalarias.

Analizando los resultados del año anterior se evidenció la importancia de realizar seguimientos periódicos a los efluentes generados en las sedes del centro médico Imbanaco: Sede principal (Anexo A), Torre A (Anexo B), Torre B (Anexo C) y Unidad de rehabilitación y medicina física (Anexo D).

A continuación, se evidencian los resultados más representativos durante el estudio de la naturaleza de los productos de limpieza y desinfección.

- Los productos como el PERACETIC es un insumo que está compuesto por ácido peracético y peróxido de Hidrógeno, este puede representar una alteración importante en los parámetros de acidez total, alcalinidad total, dureza total, DQO, DBO<sub>5</sub>, y grasas y Aceites. Además, este insumo debido a su alto nivel de uso es el que ocasiona un alto pH en la trampa de grasas.
- El detergente Gold, Clorin, Hand Quat, y Jabón Al 35 cory son productos de desinfección y podrían desencadenar una alteración en los parámetros de fenoles, acidez total, alcalinidad, sustancias activas a azul de metileno (SAAM), DQO y DBO<sub>5</sub> por eso se recomienda un buen uso de estos con las cantidades necesarias.
- El BH-38 detergente con solvente es un producto que contiene una combinación de detergente y butoxietanol este tiene como composición Dodecil benceno sulfonato de sodio y 2-butoxietanol y el BIOCORY SEC EXTRA- PLUS es un producto con amonio cuaternario estos productos presentarían una alteración a los parámetros de fenoles, acidez total, alcalinidad, sustancias activas a azul de metileno (SAAM), DQO y DBO<sub>5</sub>. Es importante el buen uso de este producto con las cantidades necesarias y su

responsabilidad en la manipulación de este producto.

- Crema Frotex: Según la composición y usos que se le da a este producto, este podría representar una alteración considerable en los parámetros de acidez total, alcalinidad total, dureza total, DQO, DBO<sub>5</sub>, y grasas y aceites. Además, es un insumo que dependiendo de su nivel de exposición puede provocar irritación ocular y cutánea, por lo que es recomendable que para su manipulación en altas cantidades o alta exposición emplear un mínimo de protección como guantes y gafas de seguridad.
- Jabón Líquido Multipropósito: La composición y el uso que se le da a este insumo, según su ficha técnica y de seguridad, no representaría una variación en los parámetros, ya que se emplea exclusivamente para el lavado de manos y este producto tiene una solubilidad elevada o alta, se recomienda almacenar en un lugar seco y fresco, protegido de la luz solar y calores excesivos.
- Limpiador Desinfectante Biodegradable: La composición y el uso que se le da a este insumo, según su ficha técnica y de seguridad, este representa un cambio considerable en los parámetros de acidez total, alcalinidad total, Fenoles, compuestos de nitrógeno y grasas y aceites. También, es un producto que dependiendo de su uso se recomienda usar la indumentaria de seguridad adecuada ya que podría provocar irritación ocular y cutánea, se recomienda guardar en un lugar seco y fresco, protegido de la luz solar y calores excesivos.
- Acabado Durabrite: Este producto según su composición, ficha técnica y de seguridad podría generar modificaciones en los parámetros de fenoles, ortofosfatos, fosforo total, DQO y DBO<sub>5</sub>. Además este insumo dependiendo de su uso y exposición se recomienda utilizar la indumentaria de seguridad adecuada para evitar cualquier efecto adverso a pesar de que no se considera tóxico.
- Desmanchador Oxy Fresh-Er: Según la composición y usos que se le da a este producto según su ficha técnica y de seguridad, podría representar una alteración considerable en los parámetros de acidez total, alcalinidad total, dureza total, y grasas y aceites. También es un insumo que dependiendo de su nivel de exposición puede provocar irritación ocular y cutánea, por lo que es recomendable que para su manipulación en altas cantidades o alta exposición emplear un mínimo de protección como guantes y gafas de seguridad.

- Absorbente Industrial Universal: La composición y el uso que se le da a este insumo, según su ficha técnica y de seguridad, podría representar un cambio considerable en los parámetros de fenoles, acidez total, alcalinidad, sustancias activas a azul de metileno (SAAM), DQO y DBO<sub>5</sub>. Además este insumo tiene como función principal intervenir rápidamente en caso de un derrame accidental, absorbiendo todo tipo de fluidos desde agua hasta hidrocarburos.
- Limpia Klin: Este producto según su composición, ficha técnica y de seguridad podría generar modificaciones en los parámetros de sustancias activas a azul de metileno (SAAM), acidez total, alcalinidad total, dureza total. También es un insumo que dependiendo de su nivel de exposición puede provocar irritación ocular y cutánea, por lo que es recomendable que para su manipulación en altas cantidades o alta exposición emplear un mínimo de protección como guantes y gafas de seguridad, es importante saber que este producto es corrosivo para los metales.
- Blanqueador Oxigenado En Polvo Biodegradable: Según la composición y usos que se le da a este producto, según su ficha técnica y de seguridad, este podría representar una alteración considerable en los parámetros de acidez total, alcalinidad total, dureza total, dureza cálcica y aceites y grasas. También es un insumo que dependiendo de su nivel de exposición puede provocar lesiones oculares, es nocivo en caso de ingestión y es comburente por eso es importante emplear una indumentaria de seguridad adecuada.
- Desmanchador Supercleaner: Este producto según su composición, ficha técnica y de seguridad podría generar modificaciones en los parámetros de fenoles, acidez total, alcalinidad total, nitratos, nitritos, sustancias activas a azul de metileno (SAAM). Este insumo se usa estrictamente para la limpieza de superficies por lo que es importante tener la indumentaria adecuada ya que podría provocar irritación ocular o cutánea y también es corrosivo con los metales.
- Limpia Vidrios: Según la composición y usos que se le da a este producto, según su ficha técnica y de seguridad, este podría representar una alteración considerable en los parámetros de fenoles, acidez total, alcalinidad, sustancias activas a azul de metileno (SAAM), DQO y DBO<sub>5</sub>. Además, es un insumo que dependiendo de su nivel de exposición puede provocar irritación ocular y cutánea, por lo que es recomendable que para su manipulación en altas cantidades o alta exposición emplear la protección adecuada.



- Stripper Removedor de Acabados: Este producto según su composición, ficha técnica y de seguridad podría generar modificaciones en los parámetros de Sustancias activas a Azul de metileno (SAAM), Acidez total, alcalinidad total, Dureza total y Fenoles. También es un insumo que dependiendo de su nivel de exposición puede provocar lesiones oculares, es nocivo en caso de ingestión y es comburente, por eso es importante emplear una indumentaria de seguridad adecuada.
- Bonaire Telas Y Alfombras X 400 Gr Polvo: La composición y el uso que se le da a este insumo, según su ficha técnica y de seguridad, no representaría una variación en los parámetros, ya que su uso es exclusivamente para las alfombras, este producto tiene una solubilidad en todas las porciones y temperaturas, se recomienda almacenar en un lugar seco y fresco, protegido de la luz solar y calores excesivos.
- Solución CIDEX® OPA: Según su ficha técnica y de seguridad, este podría representar una alteración considerable en los parámetros de Acidez total, alcalinidad total, dureza total, DQO, y DBO<sub>5</sub>. Además, es un insumo que dependiendo de su nivel de exposición puede causar síntomas similares al Asma, (dolor y opresión en el pecho y dificultad para respirar) y agravar el asma pre-existente, por lo que es recomendable que para su manipulación en altas cantidades o alta exposición emplear un mínimo de protección como tapabocas y gafas de seguridad.
- CIDEZYME\* detergente enzimático: La composición y el uso que se le da a este insumo, según su ficha técnica y de seguridad, este podría representar un cambio considerable en los parámetros de fenoles, acidez total, alcalinidad, sustancias activas a azul de metileno (SAAM), DQO y DBO<sub>5</sub>. Este producto dependiendo de su uso y exposición puede ocasionar la irritación de vías respiratorias y de la piel, lesiones oculares graves, por lo cual es importante utilizar la indumentaria de seguridad adecuada.
- SURFALKAN SH: Este producto según su composición, ficha técnica y de seguridad podría generar modificaciones en los parámetros de fenoles, acidez total, alcalinidad total, dureza total, DQO, y DBO<sub>5</sub>. También es un insumo que dependiendo de su nivel de exposición puede provocar irritación ocular y cutánea, por lo que es recomendable que para su manipulación en altas cantidades o alta exposición emplear un mínimo de protección como guantes y gafas de seguridad.

- **DETERGENTE LIQUIDO:** La composición y el uso que se le da a este insumo, según su ficha técnica y de seguridad, este podría representar un cambio considerable en los parámetros de acidez total, alcalinidad, sustancias activas a azul de metileno (SAAM), y grasas y aceites. También es un insumo que dependiendo de su nivel de exposición puede provocar irritación ocular y cutánea, por lo que es recomendable que para su manipulación en altas cantidades o alta exposición emplear un mínimo de protección como guantes y gafas de seguridad.
- **WESCOHEX 270:** Según la composición y el uso que se le da a este producto, según su ficha técnica y seguridad, este podría ocasionar una modificación considerable en los parámetros de acidez total, alcalinidad, sustancias activas a azul de metileno (SAAM), y grasas y aceites. Este producto dependiendo de su uso y exposición puede provocar irritación ocular y cutánea por lo que se recomienda usar una indumentaria de seguridad adecuada, para su almacenaje es aconsejable guardar en un lugar seco, fresco y bien ventilado. Este producto se considera biodegradable en el tratamiento de aguas residuales
- **PREPODYNE SCRUB:** la composición y el uso que se le da a este producto, según su ficha técnica y seguridad, este podría ocasionar un cambio considerable en los parámetros de acidez total, alcalinidad, sustancias activas a azul de metileno (SAAM), y grasas y aceites. También es un insumo que dependiendo de su nivel de exposición puede provocar irritación ocular y cutánea, por lo que es recomendable que para su manipulación en altas cantidades o alta exposición emplear un mínimo de protección como guantes y gafas de seguridad.
- **CREMA DENTAL:** Según la composición y usos que se le da a este producto, según su ficha técnica y de seguridad, este podría representar una alteración considerable en los parámetros de acidez total, alcalinidad total, dureza total, dureza cálcica, DQO, DBO<sub>5</sub>, y grasas y aceites. Además, es un insumo que dependiendo de su nivel de exposición puede provocar irritación ocular y cutánea, por lo que es recomendable que para su uso las cantidades sean moderadas.

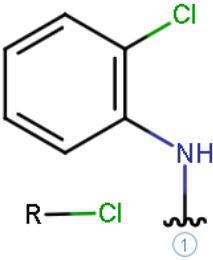
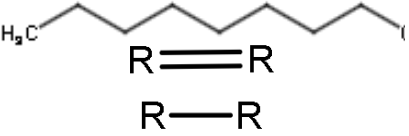
Los parámetros fisicoquímicos medidos para cada uno de los insumos se procesaron teniendo en cuenta las diluciones sugeridas por la empresa que maneja el outsourcing de limpieza del Centro Médico Imbanaco (RAPIASEO S.A.S) previamente validadas por el comité de

infectología.

### 6.1.2. Identificación de la naturaleza de los compuestos orgánicos e inorgánicos

Con el fin de saber el porcentaje de existencia de los medicamentos, se tomaron muestras compuestas de las sedes del Centro Médico Imbanaco. Se analizaron por medio de la técnica de Cromatografía de Gases acopado a Espectroscopia de Masas para entender la composición de los efluentes, estos resultados se evidenciada en la Tabla 12. (Anexos E1 y E2)

**Tabla 12.** Resultados de la Espectroscopía de Masas.

Tipo de moléculas	Porcentaje de existencia (%)	Observación especial
<p>Moléculas de origen bencénico.</p> 	41	<p>Estas moléculas presentan compuestos clorados incorporados los cuales son evidencia de altos contenidos de cloruros en el agua residual. De igual manera, el anillo bencénico puede proceder de parabenos asociados a detergentes.</p> <p>La presencia de moléculas de tipo R-Cl está asociada a sueros u y sales de compensación que puedan terminar en el desagüe.</p>
<p>Moléculas de origen linoleico.</p>  <p>Ácido oleico. Grasas (Vaselina) Glicina (derivado del glicerol) Ácidos octadecanoico.</p>	30	<p>Estas moléculas están asociadas con ácidos grasos, son de naturaleza lipídica y oleica caracterizada por la presencia del doble enlace (=) además se evidencia cadenas carbonadas lineales, estos productos están asociados en gran parte a los desechos de laboratorios clínicos por la presencia de sueros asociados a pacientes de con diagnóstico de triglicéridos altos. En Promedio en un hospital del tercer nivel se pueden procesar 120 muestras por turno que al terminar de analizarse y desecharse aportan este contenido de compuestos oleicos.</p>

Compuesto de tipo alcohólico.	15	Estos compuestos están asociados a soluciones antisépticas utilizadas en nosocomios, aunque la temperatura de vaporización de estos compuestos es muy baja, suelen acoplarse a otras moléculas orgánicas siendo persistentes en los vertimientos.
$R-OH$		
Productos derivados de cetonas.	10	Los compuestos derivados de cetonas caracterizados por el doble enlace carbono oxígeno (C=O) están asociados a la ingesta de medicamentos que contengan este compuesto como se utiliza en la diabetes mellitus tipo 1, los cuales acumulan en exceso compuestos cetónicos en la sangre, produciendo cetoacidosis diabética, estos desechos llegan a los vertimientos generando contaminación.
$R-C(=O)-R$		
Compuestos Halogenados (contienen Flúor y Bromo)	4	En este estudio se identificó compuestos derivados del hexafluoruro y dibromo pentacosanos los cuales pueden provenir de detergentes, compuestos químicos de mantenimiento de máquinas o agentes oxidantes utilizados en odontología.
$R-F$ $R-Br$		

- **Oxirano:** Se trata de una sustancia química usada principalmente para fabricar glicol de etileno (una sustancia química usada como anticongelante y poliéster) por lo tanto, la presencia de este compuesto induce el pensar que a los vertimientos está llegando ductos de condensados de aire acondicionado.
- **Acetona:** Producto de los vertimientos de sueros sanguíneos de pacientes diabéticos (confirmado por espectroscopía de masas)
- **Isobutanol:** Producto de los vertimientos compuestos asociados a desinfección (confirmado por espectroscopía de masas).
- **Peróxido de Hidrógeno:** Producto de los vertimientos compuestos asociados a desinfección, podría considerarse ácidos acéticos y peracéticos de los detergentes.

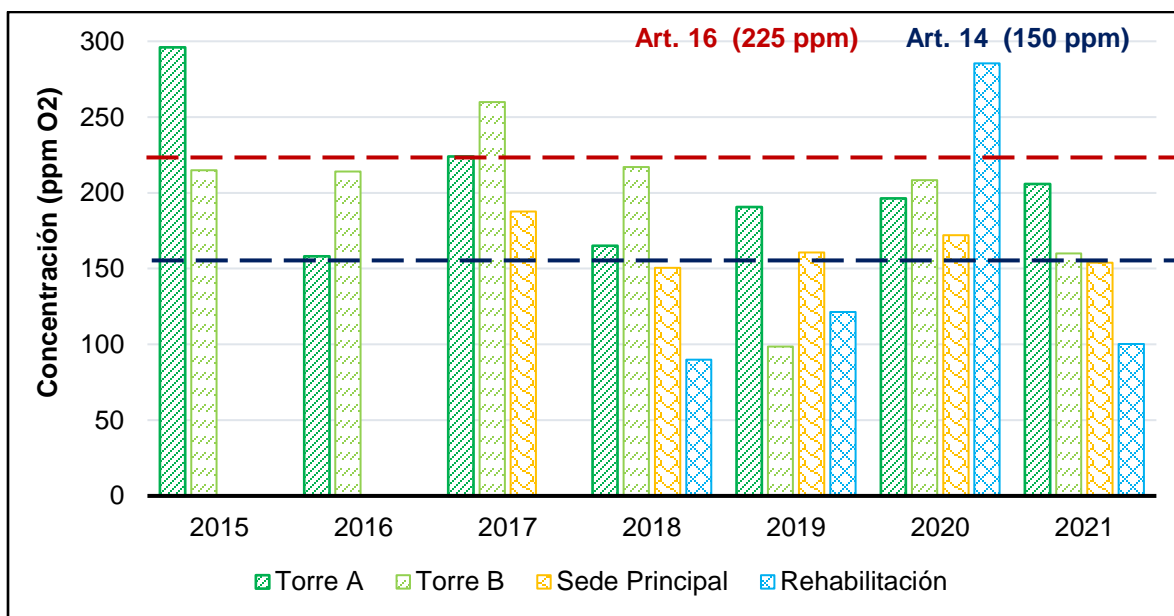
## 6.2. Comportamiento de los parámetros fisicoquímicos en cada uno de los puntos de muestreo de la clínica Imbanaco de la ciudad de Cali

Tomando en cuenta que la entidad se tiene que regir bajo lo establecido en el Artículo 14 de la resolución 0631 del 2015, y que el Artículo 16 estipula los valores límites máximos permisibles

para cada parámetro, se podrá observar un rango de valores en las Figuras 20-25, donde se encuentran plasmadas las variaciones de los parámetros estudiados, colocando el umbral del Artículo 16 con color rojo para indicar la necesidad urgente de tomar medidas correctivas para llevar al indicador por debajo de este valor, y que progresivamente se pueda realizar la remoción de carga contaminante hasta encontrarse por debajo del límite del Artículo 14, colocado en color azul.

### 6.2.1. Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno

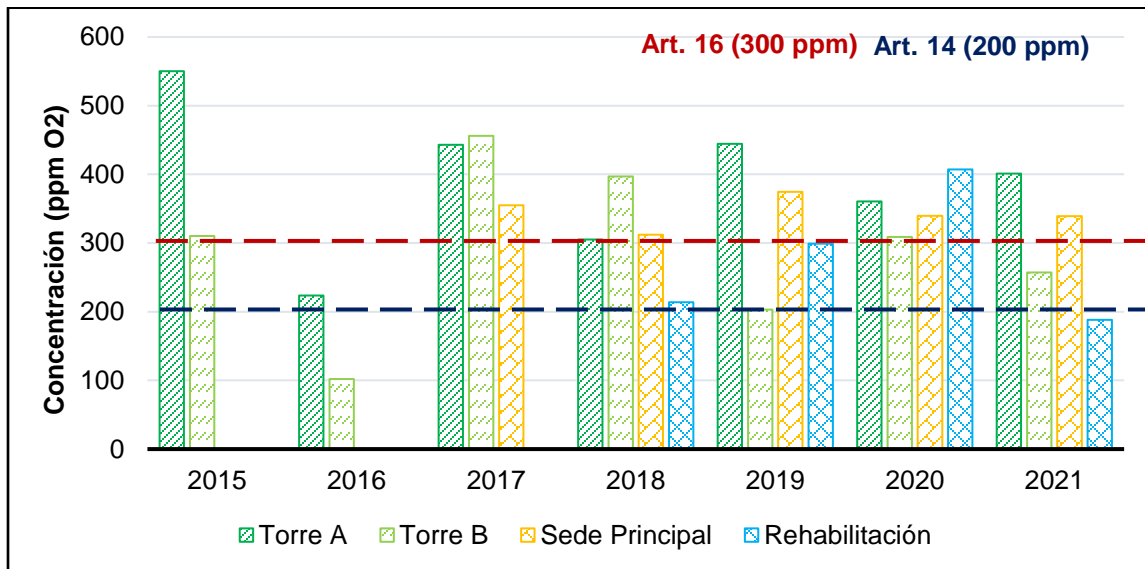
Como se puede observar en la Figura 20 para el parámetro  $DBO_5$ , desde el 2015 al 2019, la tendencia era en general positiva para la disminución de la carga contaminante medida por este indicador, llegando a valores no solo por debajo de los establecido en el Artículo 16 sino también manteniendo el cumplimiento del Artículo 14. Sin embargo, para el 2020, se puede observar una variación de hasta el 100% en algunos puntos de muestreo, produciendo un incumplimiento no solo del Artículo 14 hasta el Artículo 16 para el caso de la sección de Rehabilitación y Medicina Física, esto se desencadena por el incorrecto uso de las dosificaciones y de la composición de los insumos de limpieza. En cuanto al 2021 se puede observar una reducción respecto a este indicador en los puntos de muestreo debido al plan de mejoramiento propuesto por Water Treatment Colombia S.A.S.



**Figura 20.** Histórico 2015-2021 del parámetro “Demanda Bioquímica de Oxígeno” ( $DBO_5$ ) de las distintas zonas de muestreo.

### 6.2.2. Comportamiento de la demanda química de oxígeno

En la Figura 21 se puede observar un comportamiento similar pero tendientes al cumplimiento de la Resolución 0631, sin embargo, para el 2020 vuelve a suceder un incremento que hace que tres de los cuatro puntos monitoreados incumplan con el Artículo 16 esto se debe a los servicios prestados en las zonas monitoreadas, producen vertimientos con una alta carga orgánica, para el año 2021 sigue el incumplimiento con el Artículo 14 hasta el Artículo 16 en dos de los puntos monitoreados esto se debe principalmente a la alta concentración y demanda de los insumos de limpieza y desinfección, en cuanto a los dos puntos que si cumplen se debe a las soluciones propuestas por WTC S.A.S.

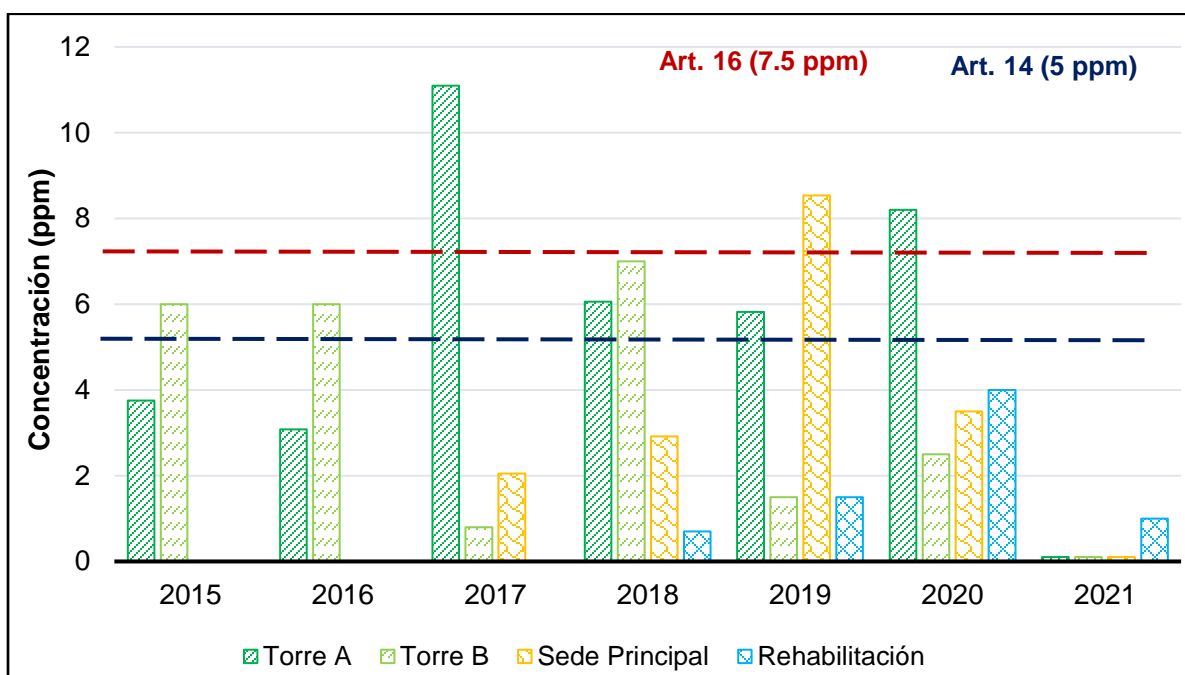


**Figura 21.** Histórico 2015-2021 del parámetro “Demanda Química de Oxígeno” (DQO) de las distintas zonas de muestreo.

### 6.2.3. Comportamiento de los sólidos sedimentables

En el caso de los Sólidos Sedimentables, en la Figura 22, aunque la mayoría de las muestras se encuentren en cumplimiento con el artículo 14, se puede observar una tendencia creciente de estos valores en los años del 2018 al 2020 y se sugiere realizar una medida preventiva en lo que conciernen la Torre B, la Sede Principal y la sección de Rehabilitación, como el mantenimiento adecuado de cada punto de monitoreo y la dosificación del agente oxidante ya propuesto por Water Treatment Colombia S.A.S, en cuanto a la Torre A se deben realizar medidas correctivas de tratamientos para reducir en caso lo sólidos. En cuanto al 2021 se propuso la dosificación en

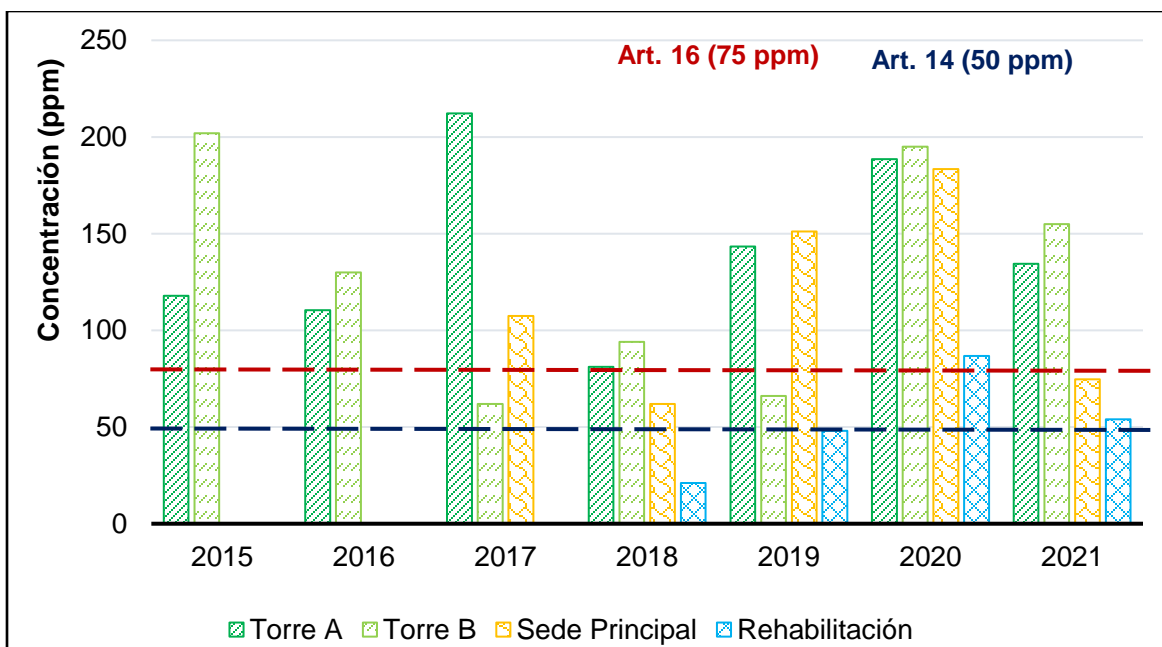
continuo de un agente oxidante por parte de WTC S.A.S que ayudo a la mineralización de la carga contaminante en los puntos monitoreados.



**Figura 22.** Histórico 2015-2021 del parámetro “Sólidos Sedimentables” (SSED) de las distintas zonas de muestreo.

#### 6.2.4. Comportamiento de los sólidos suspendidos totales

Los Sólidos Suspendidos Totales no muestran ninguna mejoría a lo largo de los últimos seis periodos anuales reportados. En el 2021 solo se cumple en la Unidad de rehabilitación y Medicina Física con el Artículo 14 hasta el Artículo 16 , esto se debe a que en esta sede el flujo de pacientes es mínimo comparado con las otras sedes por lo tanto la cantidad de solidos suspendidos totales disminuye, en los demás puntos de monitoreo, se incumple con el Artículo 16 (y, por lo tanto, con el Artículo 14), como se puede ver en la Figura 23, esto puede estar relacionado, principalmente, con los residuos de papel higiénico y toallas de manos que son enviados por las personas que utilizan las instalaciones sanitarias por lo que se propone para el siguiente periodo anual realizar capacitaciones sobre la adecuada disposición de estos residuos sólidos.

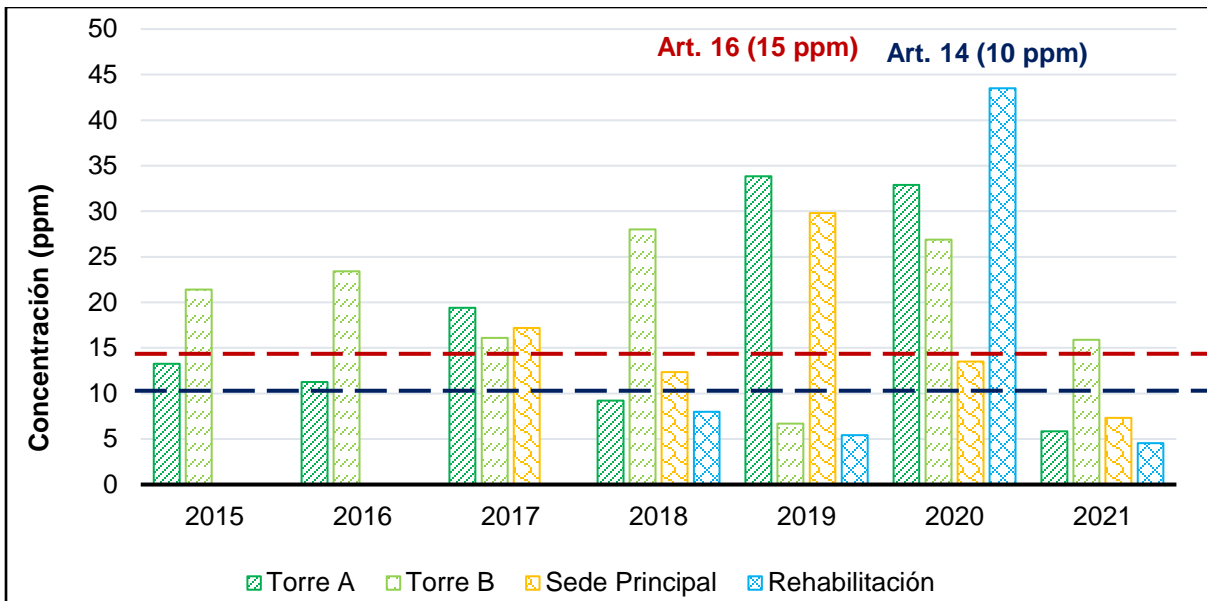


**Figura 23.** Histórico 2015-2021 del parámetro “Sólidos suspendidos totales” (SST) de las distintas zonas de muestreo.

#### 6.2.5. Comportamientos de grasas y aceites

En la Figura 24 se observa el comportamiento de las Grasas y Aceites, en los anteriores años hay un aumento significativo sobrepasando los límites máximos permisibles, por lo tanto, no cumple con la con la resolución 0631 del 2015, debido a uso desmedido de los agente de limpieza en este caso los detergentes, desengrasantes y para el caso del Peracetic ya que es usado como desinfectante de los insumos alimenticios por otra parte el mal diseño y limpieza de las trampas de grasas de los cafetines, cafeterías y respecto a la sede principal las trampas de la cocina no favorecen a que sea optima este tratamiento primario. En el 2021 disminuye la concentración lo que se vio reflejado en el cumplimiento del Artículo 14 y 16, debido a la mejora del diseño de las trampas de grasas de cada servicio y a la realización de un tratamiento con una dosis baja de oxidante para mineralizar la carga contaminante.

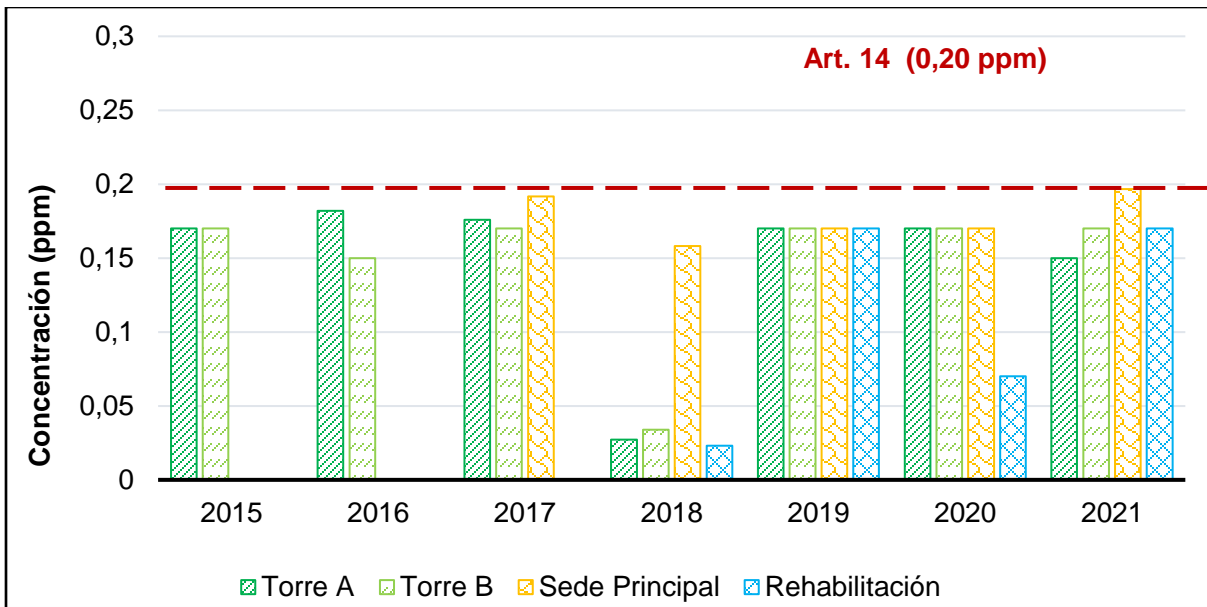




**Figura 24.** Histórico 2015-2021 del parámetro “Grasas y Aceites” (GyA) de las distintas zonas de muestreo.

#### 6.2.6. Comportamiento de Fenoles

La carga contaminante cuantificada en Fenoles se ha mantenido constante y por debajo de lo establecido por el Artículo 14 durante todo el período estudiado, como se puede observar en la Figura 25. Sin embargo, desde el 2018 muestra un aumento en varias de las secciones tomadas en cuenta, esto debido, principalmente, al aumento en el uso de agentes de limpieza y desinfección como lo son BH-38 detergente con solvente, Absorbente Industrial Universal entre otros, debido a la contingencia mundial relacionada con la Pandemia de COVID-19. Se sugiere seguir monitoreando este parámetro para evitar un incumplimiento de la Resolución 0631 del 2015.



**Figura 25.** Histórico 2015-2021 del parámetro “Fenoles” (PhOH) de las distintas zonas de muestreo.

### 6.3. Comportamiento del Sistema de ozonización para tratamiento de agua hospitalaria: Laboratorio clínico y cirugía

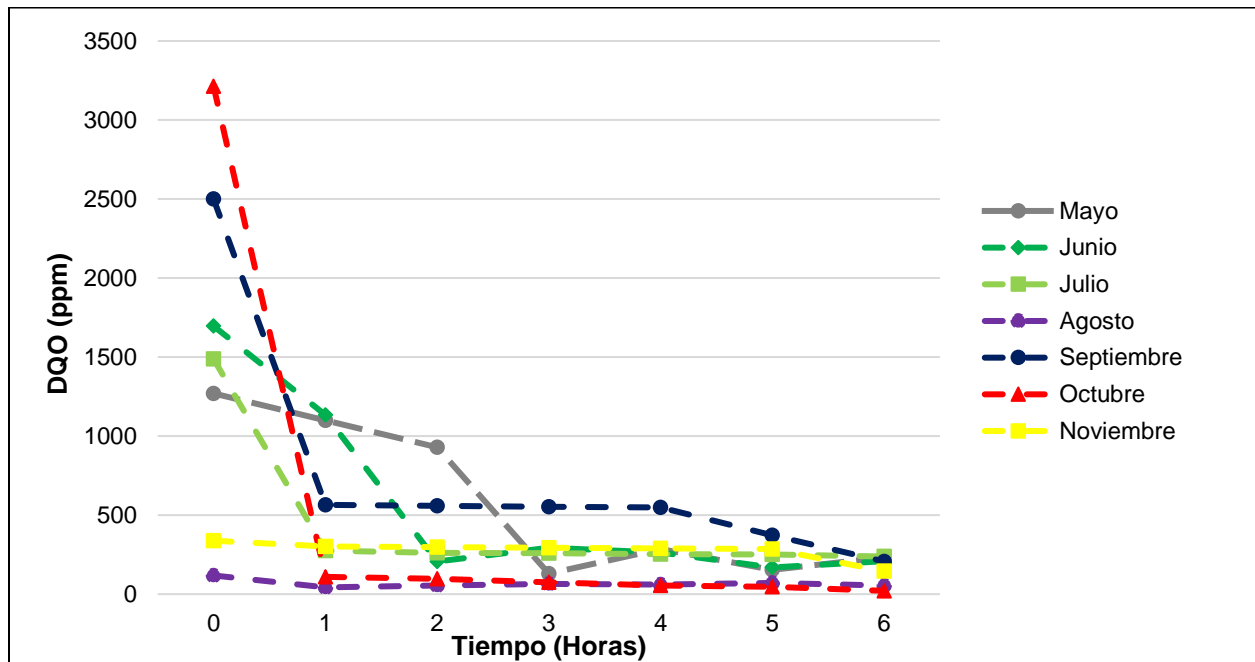
#### 6.3.1. Eficiencia del proceso instalado

En busca de mejorar la eficiencia del proceso instalado, se evaluó el rendimiento de este comparando los porcentajes de reducción mensualmente durante 7 meses a la entrada y salida del ozonizador, de parámetros como Demanda química de oxígeno y Fenol. El proceso de ozonización se realizó por 6 horas y tiene una eficiencia del 98 % para la disminución de la carga orgánica y para la disminución del fenol tiene una eficiencia del 80 %. A continuación, se detalla los resultados obtenidos de los seguimientos mensuales del sistema oxidación.

### 6.3.2. Análisis del tiempo de mineralización de la carga orgánica (DQO)

La materia orgánica es toda aquella formada químicamente en torno al carbono como sus átomos fundamentales, cuando hablamos de materia orgánica nos referimos a la que está vinculada con la vida: la que conforma los cuerpos de los seres vivos, así como la mayoría de sus sustancias y materiales de desecho.

En la Figura 26, se presenta la reducción promedio de DQO respecto al tiempo (horas) de ozonización. En general, cuando el tiempo de operación se incrementa, la concentración de la demanda química de oxígeno disminuyó. Nótese que sólo son necesarias 2 horas de contacto entre el agua residual y el ozono para alcanzar el máximo porcentaje de disminución debido a la alta solubilidad y reactividad del ozono disuelto en este lapso de tiempo y también a que la materia orgánica es más sencilla de degradar. La descomposición del ozono en el agua se produce por la recombinación consigo mismo para transformarse nuevamente en oxígeno. Dicha descomposición es función de la temperatura, la incidencia de rayos UV y el pH del medio (Yannuzzi 1991).



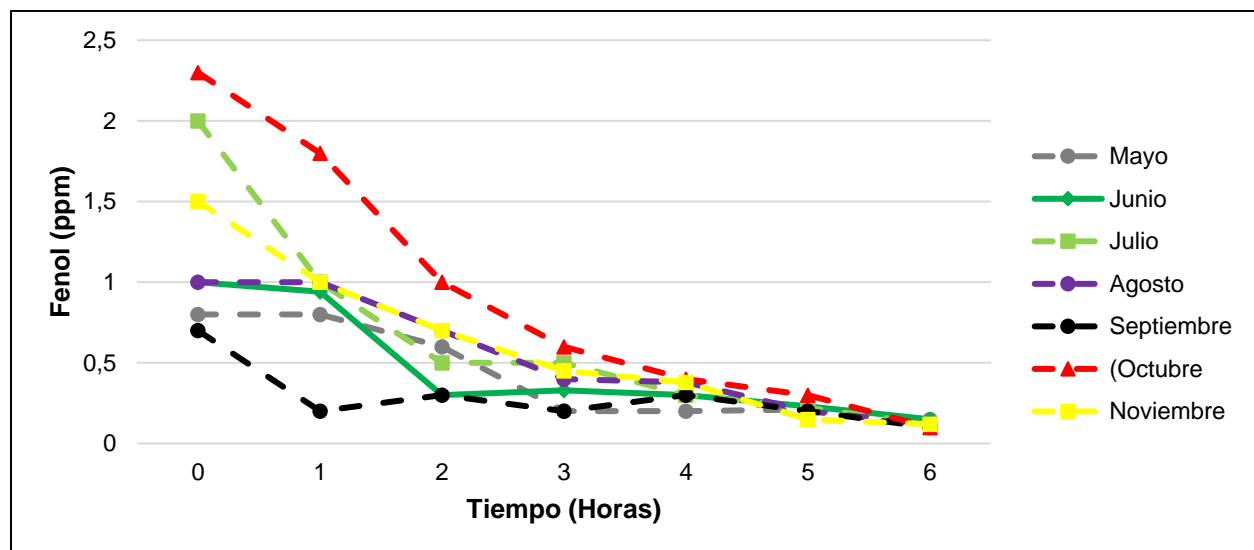
**Figura 26.** Concentración de la demanda química de oxígeno en función del tiempo en el sistema de oxidación: ozonización

Las pruebas se realizaron a un pH definido entre 6 - 8; a medida que el ozono entra en contacto con el agua residual y reacciona, el pH se mantiene entre estos valores básicos garantizando la

oxidación indirecta por medio de radicales hidroxilos. Comparado con otros estudios reportados, en Mena, (2014) y colaboradores demostraron que se pueden alcanzar altas reducciones de DQO (cercanas al 75%) usando bajas concentraciones de ozono. En esta investigación se reportó un máximo de 3 g O<sub>3</sub>/h, por otra parte, se alcanzaron reducciones hasta del 98% del contenido inicial de DQO en agua residual hospitalaria caracterizados con alrededor de 1000-4000 mg/L de materia orgánica. (Anexo E5)

### 6.3.3. Análisis del tiempo de disminución del fenol

Los fenoles o compuestos fenólicos son compuestos orgánicos cuyas estructuras moleculares contienen al menos un grupo fenol, un anillo aromático unido al menos a un grupo funcional hidroxilo, estos compuestos tienen moléculas estables por lo que se hace más difícil la degradación. En la figura 27 se presenta la disminución promedio de Fenol respecto al tiempo (horas) de ozonización donde se puede observar que es necesario 5 a 6 horas de residencia en el proceso para poder alcanzar el máximo porcentaje de reducción y así poder estar en el límite máximo permisible el cual está regido por la resolución 0631 del 2015. La disminución del fenol en este proceso tuvo una eficiencia del 85% del contenido inicial de Fenol en el agua residual hospitalaria caracterizados con alrededor 2-3 mg/L de compuestos fenólicos.



**Figura 27.** Concentración de Fenol en función del tiempo en el sistema de oxidación: ozonización.

## 7. Conclusiones

- Según los reportes obtenidos (2015-2021) se encontró que las mediciones de la mayoría de los parámetros fisicoquímicos analizados son variantes, exceptuando las mediciones de fenol. Asimismo, se observó que, para este intervalo de tiempo la mayoría de los parámetros no cumplían con lo estipulado en la resolución ambiental 0631 del 2015 en el artículo 14, y al igual que en la estabilidad, el fenol es excepción al no sobrepasar los valores máximos permisibles. Comparando los valores de los parámetros obtenidos para el año 2021 con respecto a los 2020, se observaron disminuciones en los parámetros fisicoquímicos hasta de un 65% para la unidad de rehabilitación y medicina física; mientras que, para la Torre A, Torre B y sede principal solo se llegó a una disminución del 50%. Estos valores favorables, en la reducción de la carga contaminante, se deben a las medidas preventivas y correctivas que fueron desarrolladas en cada uno de los procesos asistenciales (UCI, central de esterilización, patología, consultorios, etc.).
- La disminución en los parámetros fisicoquímicos se logró por medio de la implementación de un sistema de recirculación en los tanques de contacto con agente oxidante Ozono como se evidencia en la Figura 16, este sistema garantiza la homogenización de las fases presentes (liquida – gaseosa) en el tratamiento, con esta configuración se alcanzaron rendimientos superiores al 80 %. Además, se evaluó el tiempo de residencia necesario para la mineralización de los compuestos, donde se determinó que son necesarias 2 horas para alcanzar la oxidación de la materia orgánica medida como DQO y 6 horas para alcanzar valores inferiores de 0,2 mg/L de Fenol.

## 8. Trabajos a futuro

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta investigación, el centro médico Imbanaco ha decidido proyectar para el año 2022 los siguientes procesos para tratamiento adecuado de sus vertimientos:

1. Se determinó que para el año 2022 se instalará un sistema de ozonización en central de esterilización para dar tratamiento a las aguas residuales generadas en las máquinas de lavado de instrumental, esta decisión se consolidó después de evidenciar en esta investigación la existencia de cargas orgánica superiores a 25.000 mg/L debido al uso de detergentes enzimáticos y que el proceso de oxidación avanzada con uso de ozono supera el 90% de eficiencia en la oxidación de materia orgánica.
2. Se solicitará ante el departamento administrativo de gestión del medio ambiente (DAGMA) de la ciudad de Cali la exoneración de algunos puntos de vertimientos después de evidenciar en esta investigación que algunos vertimientos son domésticos y no están enmarcados en el artículo 14 de la resolución ambiental 0631 de 2015 (Atención a la salud humana con o sin internación)
3. Se instalará en la torre B del CMI un sistema de oxidación por contacto con agente líquido que pueda mitigar el impacto de los consultorios médicos que hacen parte de la propiedad horizontal y que por la multidisciplinariedad de las especialidades es impredecible el comportamiento de las aguas residuales generadas.
4. Con esta investigación se evidenció la necesidad del mantenimiento adecuado de los tanques de bombeo de las aguas residuales hospitalarias vertidas a los sótanos para garantizar la evacuación continua de las aguas y evitar la formación de capas de sólidos que lixivien materia orgánica permanentemente.
5. Se estableció desarrollar procesos de neutralización de los ácidos orgánicos generados en la cafetería Salamanca (outsourcing de alimentación) para mejorar la eficiencia de las trampas de grasa.

## 9. Bibliografía

Almeida, E., Assalin, M. R., Rosa, M. A., & Durán, N. (2004). Tratamiento de efluentes industriales por procesos oxidativos na presença de ozônio. *Química Nova*, 27(5), 818–824. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422004000500023>

Balcioğlu, I. A., & Ötker, M. (2003). Treatment of pharmaceutical wastewater containing antibiotics by O<sub>3</sub> and O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes. *Chemosphere*, 50(1), 85–95. [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(02\)00534-9](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(02)00534-9)

Belzona.(2008). Tratamiento de aguas residuales. 1(55), 1–15. Recuperado el 07 de septiembre de 2021, de Belzona Inc: <http://files.bernardo-servin-massieu.com/200000057-b3f9cb4e88/residuales.pdf>

Belzona (2010). Guía de Aplicaciones Belzona en Equipos de Tratamiento de Aguas Residuales- Tratamiento de Aguas Residuales. Belzona, 40. Recuperado el 07 de septiembre de 2021, de Belzona Inc: <https://www.belzona.com/es/industries/wastewater.aspx>

Bes Monge, S. S., Silva, D. A. M., & Bengoa, D. C. (2016). Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales. Recuperado el 07 de septiembre de 2021, de Belzona Inc: [http://www.cytex.org/sites/default/files/manual\\_sobre\\_oxidaciones\\_avanzadas\\_0.pdf](http://www.cytex.org/sites/default/files/manual_sobre_oxidaciones_avanzadas_0.pdf)

Camenforte, M., & Pérez, J. (2014). Alternativa a La Desinfección Del Agua Con Cloro : Ozonización. 1–20.

Centa. (2008). Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Centa, Secretariado de Alianza Por El Agua, Ecología y Desarrollo., 264. Recuperado el 25 de septiembre de 2021, de Alianza por el agua: <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>

Conagua, Tzatchkov, V. G., & Villagómez, I. A. C. (2015). Diseño de Lagunas de estabilización, CONAGUA. In Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, CONAGUA. Recuperado el 07 de septiembre de 2021, de conagua:

<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/10DisenoDeLagunasDeEstabilizacion.pdf>

González, O., Bayarri, B., Aceña, J., Pérez, S., & Barceló, D. (2015). Treatment Technologies for Wastewater Reuse: Fate of Contaminants of Emerging Concern. 5–37. [https://doi.org/10.1007/698\\_2015\\_363](https://doi.org/10.1007/698_2015_363)

Hrenovic, J., Ivankovic, T., Ivekovic, D., Repec, S., Stipanicev, D., & Ganjto, M. (2017). The fate of carbapenem-resistant bacteria in a wastewater treatment plant. *Water Research*, 126, 232–239. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.09.007>

Javier Benitez, F., Acero, J. L., Real, F. J., & Roldán, G. (2009). Ozonation of pharmaceutical compounds: Rate constants and elimination in various water matrices. *Chemosphere*, 77(1), 53–59. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.05.035>

Lima, V. C., Prata, T. S., Landa, G., Yannuzzi, L. A., & Rosen, R. B. (2010). Intravitreal triamcinolone and bevacizumab therapy for combined papillophlebitis and central retinal artery occlusion. *Retinal Cases and Brief Reports*, 4(2), 125–128. <https://doi.org/10.1097/ICB.0b013e3181ad3957>

Minambiente (2015). Resolución 631 de 2015. Diario Oficial No. 49.486 de 18 de abril de 2015, 2015(49), 73. Recuperado el 02 de mayo de 2021, de Ministerio de ambiente: [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1res\\_631\\_marz\\_2015.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1res_631_marz_2015.pdf)

Manuel, J., & Navarrete, R. (2016). Normatividad Colombiana En Los Vertimientos Hospitalarios: Impactos Ambientales Y De Salud Pública.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Recuperado el 15 de junio de 2021, de Belzona Inc: D1-Res\_631\_Marz\_2015.Pdf (p. 62).

Ministerio del Medio Ambiente. (2002). Resolución 01164 de 2002. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699. <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=36291>

Mitcheson, L., Maslin, J., Meynen, T., Morrison, T., Hill, R., & Wanigaratne, S. (2010). Fundamentals of Treatment. In *Applied Cognitive and Behavioural Approaches to the Treatment of Addiction*. <https://doi.org/10.1002/9780470661420.ch3>

Munoz, M., Garcia-Muñoz, P., Pliego, G., De Pedro, Z. M., Zazo, J. A., Casas, J. A., & Rodriguez, J. J. (2016). Application of intensified Fenton oxidation to the treatment of hospital wastewater: Kinetics, ecotoxicity and disinfection. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(4), 4107–4112. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.09.019>

Muyo, C. (2016). Procesos Biologicos Aerobios. Curso sobre tratamiento y reciclaje de aguas residuales industriales mediante soluciones sostenibles. Recuperado el 19 de Junio de 2021, Triton: <http://triton-cyted.com/wp-content/uploads/2017/04/Presentaci%C3%B3n.pdf>

Oikawa, S., Tsuda, M., Okamura, Y., & Urabe, T. (1984). Prefulvene as a Stable Intermediate at the Potential Energy Surface Minimum of the Benzene  $\rightleftharpoons$  Benzvalene Isomerization Process. *Journal of the American Chemical Society*, 106(22), 6751–6755. <https://doi.org/10.1021/ja00334a047>

Ouarda, Y., Tiwari, B., Azaïs, A., Vaudreuil, M. A., Ndiaye, S. D., Drogui, P., Tyagi, R. D., Sauvé, S., Desrosiers, M., Buelna, G., & Dubé, R. (2018). Synthetic hospital wastewater treatment by coupling submerged membrane bioreactor and electrochemical advanced oxidation process: Kinetic study and toxicity assessment. *Chemosphere*, 193, 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.11.010>

Penagos, D. G., López, J. O., & Chaparro, T. R. (2012). Remoción de la Materia Orgánica y Toxicidad en Aguas Residuales Hospitalarias Aplicando Ozono. *DYNA (Colombia)*, 79(173 PART I), 109–115.



Rojas, J. A. R. (2009). Recuperado el 25 de agosto de 2021, de Belzona Inc: Calidad\_del\_Agua\_ROMERO\_ROJAS.pdf (p. 484).

Santiago, E. B., & Calderón Ancona, J. M. (2005). Diseño Y Construcción De Un Generador De Ozono Para Aplicaciones De Purificación De Agua. 120.

Shin, J., Choi, S., Park, C. M., Wang, J., & Kim, Y. M. (2022). Reduction of antibiotic resistome in influent of a wastewater treatment plant (WWTP) via a chemically enhanced primary treatment (CEPT) process. *Chemosphere*, 286(P1), 131569. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131569>

Torán, J., Blánquez, P., & Caminal, G. (2017). Comparison between several reactors with *Trametes versicolor* immobilized on lignocellulosic support for the continuous treatments of hospital wastewater. *Bioresource Technology*, 243, 966–974. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.055>

Verlicchi, P., Galletti, A., Petrovic, M., & BarcelÓ, D. (2010). Hospital effluents as a source of emerging pollutants: An overview of micropollutants and sustainable treatment options. *Journal of Hydrology*, 389(3–4), 416–428. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.06.005>

Virkutyte, J. (2010). Treatment of Micropollutants in Water and Wastewater. In *Water Intelligence Online* (Vol. 9). <https://doi.org/10.2166/9781780401447>

Warren L. McCabe, Julian C. Smith, Peter Harriot, R. H. C. (2013). Operaciones unitarias en ingeniería química. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

Yolanda Patiño, Eva Díaz, S. O. (2014). Recuperado el 11 de octubre de 2021, de Belzona Inc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323631115001>.

## 10. Anexos

### Lista de tablas de Anexos

<b>Tabla A1.</b> Monitoreo Análisis Trampa de Grasas.....	69
<b>Tabla A2.</b> Monitoreo Outsourcing Salamanca.....	70
<b>Tabla A3.</b> Monitoreo Análisis Trampa de Grasas.....	70
<b>Tabla A4.</b> Monitoreo Insumos de Central de Esterilización.....	71
<b>Tabla A5.</b> Resultados de parámetros fisicoquímicos de los residuos de patología.....	71
<b>Tabla A6.</b> Resultados de los parámetros fisicoquímicos de los insumos de limpieza en Endoscopia.....	72
<b>Tabla A7.</b> Resultados de parámetros fisicoquímicos de los puntos monitoreados.....	73
<b>Tabla A8.</b> Monitoreo Tanque Almacenamiento Aguas residuales Sótanos.....	74
<b>Tabla A9.</b> Resultados de los parámetros fisicoquímicos de la leche materna.....	75
<b>Tabla A10.</b> Insumos de limpieza de Salamanca.....	76
<b>Tabla A11.</b> Resultados de parámetros fisicoquímicos del primer punto de monitoreo.....	77
<b>Tabla A12.</b> Resultados de parámetros fisicoquímicos del segundo punto de monitoreo.....	78
<b>Tabla A13.</b> Resultados de parámetros fisicoquímicos del tercer punto de monitoreo.....	78
<b>Tabla B1.</b> Resultados de los parámetros fisicoquímicos de los puntos de monitoreo.....	79
<b>Tabla B2.</b> Resultados de los parámetros fisicoquímicos de residuos de patología.....	79
<b>Tabla B3.</b> Resultados de parámetros fisicoquímicos del primer punto de monitoreo.....	80
<b>Tabla B4.</b> Resultados de parámetros fisicoquímicos del segundo punto de monitoreo.....	80
<b>Tabla B5.</b> Resultados de parámetros fisicoquímicos del tercer punto de monitoreo.....	80
<b>Tabla B6.</b> Resultados de parámetros fisicoquímicos del cuarto punto de monitoreo.....	81
<b>Tabla B7.</b> Resultados de parámetros fisicoquímicos del quinto punto de monitoreo.....	81
<b>Tabla C1.</b> Resultados del muestreo compuesto.....	82
<b>Tabla C2.</b> Resultados de parámetros fisicoquímicos del punto de monitoreo.....	83
<b>Tabla D1.</b> Resultados de los parámetros fisicoquímicos del punto de monitoreo.....	83
<b>Tabla D2.</b> Resultados de los parámetros fisicoquímicos de los vertimientos generados en la Unidad de Rehabilitación y Medicina Física.....	83
<b>Tabla D3.</b> Resultados de los parámetros fisicoquímicos de insumo de limpieza.....	84
<b>Tabla D4.</b> Resultados del muestreo compuesto.....	85
<b>Tabla D5.</b> Resultados de los vertimientos generados en la Unidad de Rehabilitación y Medicina Física.....	85
<b>Tabla D6.</b> Resultados del muestreo compuesto.....	86

**Tabla E1.** Evolución temporal de la carga contaminante en los distintos puntos de muestreo seleccionados para el seguimiento del proceso. .... 90

## Lista de Figuras de Anexos

<b>Figura A1.</b> Fotografía de las trampas de grasas del Outsourcing Salamanca.....	71
<b>Figura A2.</b> Fotografía de Lavado de instrumentos de Endoscopia.....	72
<b>Figura A3.</b> Fotografías de la vista superior e inferior de cada caja monitoreada. ....	73
<b>Figura A4.</b> Fotografía del tanque de almacenamiento del sótano 4. ....	74
<b>Figura A5.</b> Fotografía de vista inferior del tanque de almacenamiento del sótano 4. ....	75
<b>Figura A6.</b> Fotografía de las muestras de leche materna recolectada de UCIREN.....	76
<b>Figura C1.</b> Fotografía de muestra recolectada de consultorio de odontología. ....	81
<b>Figura C2.</b> Muestras recolectadas de unidad reproductiva.....	82
<b>Figura D1.</b> Fotografía de insumos de limpieza. ....	84
<b>Figura E1.</b> Resultados del Espectro de Masas. (Universidad del Valle) ....	86
<b>Figura E2.</b> Datos del Espectro de Masas. (Universidad del Valle).....	87
<b>Figura E3.</b> Primera curva de calibración para Fenol. ....	87
<b>Figura E4.</b> Segunda curva de calibración para el Fenol. ....	88
<b>Figura E5.</b> Titulación yodométrica para determinar el flujo másico del generador de ozono en el Centro Médico Imbanaco.....	89

## Anexo A. Monitoreo Sede Principal

El 16 de abril del 2021 se inició el seguimiento en la Sede Principal comenzando por la entrada de la trampa de grasas ya que este efluente llega directamente a la caja 1 según el histórico de los vertimientos ha presentado incumplimiento reiteradamente, en la Tabla A1 se evidencian los resultados.

**Tabla A1.** Monitoreo Análisis Trampa de Grasas.

<b>Sonda multiparamétrica</b>	<b>Trampa de Grasas</b>
<b>pH</b>	5,61
<b>ORP (mV)</b>	-197,3
<b>% O.D.</b>	8,6
<b>O.D (ppm)</b>	0,56
<b>K(μs/cm)</b>	366
<b>T(°C)</b>	27,38
<b>P(atm)</b>	0,88
<b>Espectrofotómetro</b>	
<b>Fosfato(ppm)</b>	0
<b>Fosforo(ppm)</b>	0,9
<b>Cromo (ppm)</b>	0,3
<b>DQO (ppm)</b>	1417

El 3 de mayo del 2021 se realizó un muestreo puntual de cada trampa de grasas que tienen las áreas del outsourcing de SALAMANCA, este es el proveedor de alimentación del Centro Médico Imbanaco, todas estas trampas están conectadas a la red de la trampa de grasas general, en las Tablas A2 y A3 se evidencian los resultados, esto se efectuó con el fin de encontrar el por qué el pH de la trampa de grasas general estuviera tan ácido y así realizar un plan de mejora ya que uno de los parámetros monitoreados por la resolución 0631 del 2015 es el pH que debe estar en un rango de 6- 9.

**Tabla A2.** Monitoreo Outsourcing Salamanca.

	CAJA 1	CAJA 2	CAJA 3	CAJA 4
Sonda multiparamétrica	Porcionado de carnes	Panadería	Chef producción	Ollero (Lavado de utensilios)
pH	2,05	2,50	2,42	2,57
ORP (mV)	451,9	505,3	528,7	216,9
%O. D	66,8	66,5	76,6	82,2
O.D (ppm)	5,04	5,04	5,76	6,14
K(µs/cm)	1208	1135	1200	961
T (°C)	23,42	23,39	23,54	23,89
P(atm)	0,88	0,88	0,88	0,88
<b>Espectrofotómetro</b>				
Fosfato(ppm)	100	120	100	300
Fosforo(ppm)	520	580	500	560
Fenol(ppm)	40	26	40	40
Cromo VI (ppb)	145	215	252	300
DQO (ppm)	304	694	1860	5224

**Tabla A3.** Monitoreo Análisis Trampa de Grasas.

	CAJA 5	CAJA 6	CAJA 7	CAJA 8
Sonda multiparamétrica	Ensamble	Lavado 1	Lavado 2	Cafetería
pH	2,60	2,46	2,37	2,59
ORP (mV)	536,3	553,4	527,9	612
% O.D.	71,8	68,4	61	61
O.D (ppm)	5,42	5,18	4,62	4,63
K(µs/cm)	1134	1201	1201	1189
T(°C)	23,43	23,2	23,2	23,12
P(atm)	0,88	0,88	0,88	0,88
<b>Espectrofotómetro</b>				
Fosfato(ppm)	120	120	200	100
Fosforo(ppm)	220	680	460	460
Fenol(ppm)	24	40	20	24
Cromo VI (ppb)	187	300	300	262
DQO (ppm)	1162	1792	2609	1692



**Figura A1.** Fotografía de las trampas de grasas del Outsourcing Salamanca.

El 17 de mayo del 2021 se tomaron muestras puntuales en la central de esterilización con el fin de conocer que tanta carga orgánica aportan los detergentes enzimáticos a los efluentes de los puntos que son monitoreados. En la Tabla A4 se observan los resultados de los análisis fisicoquímicos obtenidos de los detergentes enzimáticos.

**Tabla A4.** Monitoreo Insumos de Central de Esterilización.

Sonda multiparamétrica	Lubricante	Endozyme	Cidezyme	Cidezyme Extra	CIDEX OPA
pH	6,39	9,54	6,68	9,41	7,67
ORP (mV)	312,4	355,3	426,4	351,5	461,2
% O.D.	51,5	78,7	69,5	74,2	77,9
Oxígeno Disuelto (ppm)	3,71	5,62	5,01	5,2	5,58
K(μs/cm)	454	1159	1166	1144	1169
T(°C)	25,45	25,9	25,35	26,91	25,67
P(atm)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
DQO (ppm)	101370	37290	14820	73260	12088

Este día también se recolecto muestra del laboratorio de patología ya que se necesitaba saber que vertimientos son generados en esta área y saber que tan crítico seria la contaminación de esta zona. En la Tabla A5 se observan los principales resultados obtenidos.

**Tabla A5.** Resultados de parámetros fisicoquímicos de los residuos de patología.

Sonda multiparamétrica	Residuos de patología
pH	7,06
ORP (mV)	-12,9
%O. D	78
Oxígeno Disuelto (ppm)	5,47
K(μs/cm)	1110

<b>T(°C)</b>	26,94
<b>P(atm)</b>	0,88
<b>DQO (ppm)</b>	30000

El 3 de mayo del 2021 se recolecto una muestra de los insumos utilizados en el área de Endoscopia para la desinfección y esterilización de los instrumentos manipulados en este sitio, debido a que esta área es una de las más críticas en cuanto a los vertimientos que genera su proceso ya que estos van acompañados de residuos anatomopatológicos. En la tabla A6 se observan los resultados obtenidos y en la Figura A2 se observa una fotografía donde se ejecutan los lavados del instrumental.

**Tabla A6.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos de los insumos de limpieza en Endoscopia.

<b>Sonda multiparamétrica</b>	<b>Cidezyme</b>	<b>Cidex Opa</b>
<b>pH</b>	5,61	7,16
<b>ORP (mV)</b>	475,5	445,8
<b>%O. D</b>	58,0	59,9
<b>Oxígeno Disuelto (ppm)</b>	4,42	4,55
<b>K(μs/cm)</b>	491,0	1213
<b>T(°C)</b>	22,69	23,11
<b>P(atm)</b>	0,88	0,88
<b>Espectrofotómetro</b>		
<b>Fosfato(ppm)</b>	120	260
<b>Fosforo(ppm)</b>	480	1600
<b>Fenol</b>	22	40
<b>Cromo VI (ppb)*</b>	25	300
<b>DQO(ppm)*</b>	772600	1804400



**Figura A2.** Fotografía de Lavado de instrumentos de Endoscopia.

El 4 de junio del 2021 se realizó un muestreo puntual de cada caja residual, esto se realizó con el fin de conocer que tan elevado estaban las concentraciones de la demanda química de oxígeno



(DQO) en cada uno de estos puntos, para realizar un plan de mejoramiento que ayudara a disminuir la carga orgánica de estos efluentes. En la tabla A7 se pueden observar los resultados obtenidos y en la Figura A3 se observan las fotografías de las cajas residuales monitoreadas de la vista superior e inferior de cada una.

**Tabla A7.** Resultados de parámetros fisicoquímicos de los puntos monitoreados

Sonda multiparamétrica	Caja 1	Caja 2	Caja 3
pH	7,45	8,28	8,74
ORP (mV)	230,8	392,6	411,8
%O. D	49,4	54,3	57,4
Oxígeno Disuelto (ppm)	3,56	3,91	4,12
K(μs/cm)	313	313	312
T(°C)	25,66	25,67	25,87
P(atm)	0,88	0,88	0,88
DQO (ppm)	544	638	357



**Figura A3.** Fotografías de la vista superior e inferior de cada caja monitoreada.

El 9 de julio del 2021 se recolectó una muestra del tanque de almacenamiento de aguas residuales, el Centro Médico Imbanaco cuenta con 4 sótanos donde hay áreas administrativas. El tanque de almacenamiento se encuentra ubicado en el sótano 4, este tanque almacena el

agua residual domestica de todos los sótanos, este efluente es muy importante monitorearlo ya que este se bombea y sale por el punto 2 de monitoreo. En la Tabla A8 se presentan los resultados obtenidos y en la Figura A4 y A5 se muestra una fotografía del tanque de almacenamiento del sótano 4.

**Tabla A8.** Monitoreo Tanque Almacenamiento Aguas residuales Sótanos.

Sonda multiparamétrica	Muestra tanque de almacenamiento
pH	7,67
ORP (mV)	270,7
%O. D	18,3
Oxígeno Disuelto (ppm)	1,28
K(μs/cm)	845
T(°C)	27,03
P(atm)	0,88
DQO (ppm)	480



**Figura A4.** Fotografía del tanque de almacenamiento del sótano 4.



**Figura A5.** Fotografía de vista inferior del tanque de almacenamiento del sótano 4.

El 14 de julio del 2021 se recolecto una muestra del lactario con el fin de saber que tanta carga orgánica aporta este vertimiento ya que la leche tiene una proteína llamada Caseína que afecta directamente. En la Tabla A9 se presentan los resultados obtenidos y en la Figura A6 se muestra una Fotografía de las muestras tomadas en la Unidad de Cuidados Intensivos de Recién Nacidos (UCIREN).

**Tabla A9.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos de la leche materna.

Sonda multiparamétrica	Leche Materna
pH	5,81
ORP (mV)	-491,1
%O. D	22,4
Oxígeno Disuelto (ppm)	1,62
K(μs/cm)	1162
T(°C)	25,49
P(atm)	0,88
DQO (ppm)	196608
Nitrógeno (ppm)	120
Fosfato (ppm)	665



**Figura A6.** Fotografía de las muestras de leche materna recolectada de UCIREN.

El 22 de julio del 2021 se recolectaron muestra de los insumos de limpieza de Salamanca, esto se realizó con el fin de tener un control de las concentraciones y dosificaciones que son utilizadas por el proveedor de alimentación y que tanta carga orgánica aportan a los vertimientos.

**Tabla A10.** Insumos de limpieza de Salamanca

Sonda multiparamétrica	Grasoff	Ultra Grasoff	Aluminox	Disolución de PERACETIC
pH	8,69	7,47	12,02	3,25
ORP (mV)	-120,3	267,8	-65,2	505,7
%O. D	30,2	7,8	26,8	99,7
Oxígeno Disuelto (ppm)	2,18	0,54	1,90	7,02
K(µs/cm)	1334	164	1349	273
T(°C)	27,54	28,17	26,46	26,82
P(atm)	0,88	0,88	0,88	0,88
<b>Espectrofotómetro</b>				
DQO (ppm)	325350	2114000	5080	1800

En este seguimiento se evidencio que la disolución del Peracetic es altamente acida y es uno de

los insumos más utilizados en Salamanca ya que se usa para la desinfección de todos los alimentos que entran a esta área y para el lavado de loza de pacientes Covid-19, por lo tanto, el volumen generado de este efluente es muy alto y esto llega directamente a la trampa de grasas general debido a esto reiteradamente tiene un PH ácido, como una propuesta para la neutralización del Peracetic se propuso el bicarbonato de sodio.

Después de tomar muestras de los puntos de monitoreo y de los insumos de limpieza y desinfección del Centro Médico se observó la necesidad de saber a dónde llegan los vertimientos generados por cada área crítica, por lo que se tomó la decisión de realizar trazadores, esta es una actividad donde se lanza un colorante orgánico por el punto donde se quiera verificar para saber a qué caja o punto de monitoreo sale y así tener la seguridad de que vertimientos salen a cada caja residual.

El 24 de septiembre del 2021 se realizó el muestreo compuesto durante 12 horas tomando muestras cada hora, para el informe de vertimientos anual con el laboratorio de HIDROAMBIENTAL, certificado por el IDEAM, en conjunto con WTC S.A.S para comparar resultados obtenidos. En la Tabla A11 – A13 se observan los resultados obtenidos de los puntos monitoreados.

**Tabla A11.** Resultados de parámetros fisicoquímicos del primer punto de monitoreo.

Sonda multiparamétrica	CAJA 1											
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
pH	6,83	7,14	6,79	6,16	6,23	6,92	6,50	6,65	7,01	6,71	7,08	6,74
ORP (mV)	172,2	145,7	116,5	146,6	302,1	231,9	149,1	276,7	80,9	109,5	24,0	17,5
%OD	60,8	96,8	68,7	71,7	74,0	74,8	63,1	80,0	63,5	60,2	63,8	60,8
Oxígeno Disuelto (ppm)	4,63	7,42	5,15	5,43	5,62	5,60	4,72	5,91	4,78	4,56	4,83	4,59
K (us/cm)	472	493	364	397	403	287	535	538	771	660	677	631
T(°C)	23,12	22,81	24,10	23,59	23,30	24,08	23,95	24,49	23,44	23,18	23,15	23,33
P(atm)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
DQO (ppm)						635						
FENOL (ppm)						0,2						

**Tabla A12.** Resultados de parámetros fisicoquímicos del segundo punto de monitoreo.

Sonda multiparamétrica	CAJA 2											
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
pH	7,94	8,16	8,08	8,05	8,01	8,09	8,08	8,29	8,32	8,49	8,39	8,26
ORP (mV)	165,8	150,4	132,4	151,5	62,0	143,0	84,2	38,4	66,7	17,6	57,0	121,3
%OD	69,0	53,6	65,7	76,1	62,2	69,3	65,4	62,7	63,1	63,6	63,0	60,4
Oxígeno Disuelto (ppm)	5,09	3,85	4,55	5,29	4,36	5,15	4,89	4,69	4,70	4,71	4,71	4,53
K (us/cm)	412	228	271	277	397	586	720	482	601	618	395	226
T(°C)	24,75	26,26	28,48	28,20	27,64	24,46	23,98	23,84	24,09	24,27	23,80	23,66
P(atm)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
DQO (ppm)	163											
FENOL (ppm)	0,09											

**Tabla A13.** Resultados de parámetros fisicoquímicos del tercer punto de monitoreo.

Sonda multiparamétrica	CAJA 3											
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
pH	8,05	8,20	8,26	8,38	8,32	8,48	8,07	7,83	8,40	8,53	8,35	8,80
ORP (mV)	181,4	136,0	140,6	145,5	159,5	162,2	130,1	204,9	63,4	105,8	100,1	32,6
%OD	57,7	88,9	73,3	73,3	76,8	66,7	60,9	66,5	61,4	62,4	61,7	49,8
Oxígeno Disuelto (ppm)	4,34	6,42	5,30	5,21	5,65	4,84	4,34	4,83	4,52	4,59	4,25	5,46
K (us/cm)	308	277	232	371	225	455	419	372	285	452	352	411
T(°C)	23,82	25,98	26,03	27,02	25,00	25,67	26,56	25,50	24,70	24,69	28,23	21,34
P(atm)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
DQO (ppm)	240											
FENOL (ppm)	0,06											

## Anexo B. Monitoreo Torre A

El 20 de abril del 2021 se realizó un muestreo puntual en cada punto de monitoreo de la Torre A con el fin de conocer que tanta carga contaminante aportan los vertimientos generados por los servicios de esta Torre. En la Tabla B1 se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos de los puntos monitoreados de la Torre A.

**Tabla B1.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos de los puntos de monitoreo.

<b>TORRE A</b>					
<b>Sonda multiparamétrica</b>	<b>CAJA 1</b>	<b>CAJA 2</b>	<b>CAJA 3</b>	<b>CAJA 4</b>	<b>CAJA 5</b>
<b>pH</b>	2,48	2,44	6,55	2,82	6,48
<b>ORP (mV)</b>	429,8	269,4	354,5	554,7	368,8
<b>%O. D</b>	86,5	88,9	66,7	74,8	66,5
<b>O.D (ppm)</b>	5,97	6,07	4,64	5,17	4,52
<b>K(μs/cm)</b>	1111	1126	617	942	800
<b>T(°C)</b>	27,05	26,83	26,76	27,06	27,27
<b>P(atm)</b>	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
<b>Espectrofotómetro</b>					
<b>Fosfato(ppm)</b>	16,5	14,5	12,5	9,5	15,5
<b>Fosforo(ppm)</b>	24,5	25	31	16,5	29,5
<b>Cromo VI (ppb)*</b>	72	275	285	26	232
<b>DQO (ppm)*</b>	397	866	445	232	474

El 17 de mayo del 2021 se recolecto una muestra del laboratorio de patología con el fin de conocer cuanta carga orgánica aportan los vertimientos generados por esta área. En la Tabla B2 se presentan los resultados obtenidos.

**Tabla B2.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos de residuos de patología.

<b>Sonda Multiparamétrica</b>	<b>Residuos de patología</b>
<b>pH</b>	4,28
<b>ORP (mV)</b>	83,3
<b>%O. D</b>	87,7
<b>Oxígeno Disuelto (ppm)</b>	6,04
<b>K(μs/cm)</b>	1122
<b>T(°C)</b>	27,51
<b>P(atm)</b>	0,88
<b>DQO (ppm)</b>	2768

El 21 de septiembre del 2021 se realizó el muestreo compuesto durante 6 horas tomando muestras cada hora, para el informe de vertimientos anual con el laboratorio de HIDROAMBIENTAL, certificado por el IDEAM, en conjunto con WTC S.A.S para comparar resultados obtenidos. En la Tabla B3 – B7 se observan los resultados obtenidos de los puntos de monitoreo.

**Tabla B3.** Resultados de parámetros fisicoquímicos del primer punto de monitoreo.

Sonda multiparamétrica	CAJA 1								COMPUESTA
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
pH	7,04	6,96	5,91	6,22	6,63	6,41	6,60	6,40	6,91
ORP (mV)	225,8	255,1	249,3	222,6	341,6	198,5	193,3	202,5	241,7
%OD	2,5	0,4	15,9	1,2	6,7	20,3	2,3	12,6	15,8
Oxígeno Disuelto (ppm)	0,18	0,03	1,18	0,09	0,47	1,47	0,17	0,93	1,53
K (us/cm)	167	140	172	130	162	1260	412	199	353
T(°C)	26,35	25,4	24,8	25,37	27,60	26,82	24,76	24,43	11,62
P(atm)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
DQO (ppm)	980								
FENOL (ppm)	0,02								

**Tabla B4.** Resultados de parámetros fisicoquímicos del segundo punto de monitoreo.

Sonda multiparamétrica	CAJA 2								COMPUESTA
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
pH		7,31	7,46	7,34	7,64	6,83	7,36	7,31	7,58
ORP (mV)		267,4	226,1	175,9	228,0	241,0	85,1	225,2	249,4
%OD		31,9	15,2	1,2	3,7	9,1	2,4	5,6	2,4
Oxígeno Disuelto (ppm)	No había caudal	2,33	1,12	0,09	0,27	0,68	0,16	0,41	0,22
K (us/cm)		449	653	260	210	272	262	218	198
T(°C)		25,36	24,91	25,52	25,22	25,97	31,28	25,34	14,27
P(atm)		0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
DQO (ppm)	279								
FENOL (ppm)	0,02								

**Tabla B5.** Resultados de parámetros fisicoquímicos del tercer punto de monitoreo.

Sonda multiparamétrica	CAJA 3								COMPUESTA
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	
pH	7,72	7,99	7,35	7,37	7,37	7,75	7,61	7,72	7,48
ORP (mV)	205,8	218,2	179,8	228,3	234,7	214,1	172,7	167,4	205,1
%OD	14,4	35,2	1,3	0,4	2,1	2,5	1,2	18,5	2,3
Oxígeno Disuelto (ppm)	1,03	2,54	0,09	0,03	0,15	0,18	0,09	1,35	0,17
K (us/cm)	575	425	435	210	251	349	816	506	668
T(°C)	26,25	26,02	26,15	25,8	27,46	26,39	25,56	25,29	25,32
P(atm)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
DQO (ppm)	433								
FENOL (ppm)	0,07								



**Tabla B6.** Resultados de parámetros fisicoquímicos del cuarto punto de monitoreo.

Sonda multiparamétrica	CAJA 4								
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	COMPUESTA
pH	5,99	6,70	7,20	7,36	7,42	7,59	7,82	8,08	7,76
ORP (mV)	268,6	264,4	200,6	224,3	242,6	230,5	169,1	178,3	218,3
%OD	1,6	0,3	18,2	1,7	12,5	2,6	2,8	4,7	19,1
Oxígeno Disuelto (ppm)	0,12	0,02	1,30	0,12	0,85	0,2	0,18	0,33	1,58
K (us/cm)	152	364	403	226	565	324	497	386	417
T(°C)	24,3	27,28	26,87	25,42	26,69	23,30	30,98	27,72	18,64
P(atm)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
DQO (ppm)	373								
FENOL (ppm)	0,50								

**Tabla B7.** Resultados de parámetros fisicoquímicos del quinto punto de monitoreo.

Sonda multiparamétrica	CAJA 5								
	T0	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	COMPUESTA
pH	5,69	6,75	7,62	7,65	7,29	7,80	7,34	7,48	7,38
ORP (mV)	510,8	294,5	308,7	301,6	250,1	236,1	212,9	205,1	242,5
%OD	9,7	0,2	11,6	1,5	16,4	1,4	2,2	2,3	13,0
Oxígeno Disuelto (ppm)	0,71	0,01	0,86	0,11	1,19	0,10	0,16	0,17	1,14
K (us/cm)	100	117	148	120	508	255	305	668	349
T(°C)	25,67	25,11	24,95	24,96	25,64	25,95	25,71	25,32	16,1
P(atm)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
DQO (ppm)	329								
FENOL (ppm)	0,2								

### Anexo C. Monitoreo Torre B

El 2 de junio del 2021 se recolecto una muestra del consultorio de odontología donde se realizan cirugías maxilofaciales con el fin de conocer cuanta carga orgánica aporta este desecho generado en uno de los consultorios de esta área, el cual dio un resultado de DQO de 55200 ppm. En la Figura C1 se presenta la fotografía de la muestra recolectada.



**Figura C1.** Fotografía de muestra recolectada de consultorio de odontología.

El muestreo compuesto se llevó a cabo el día 20 de agosto del 2021, esto se realizó con el fin de conocer que horas de la jornada laboral eran las más críticas, para consecutivamente realizar un plan de mejoramiento ya que esta Torre solo cuenta con una salida de efluentes.

**Tabla C1.** Resultados del muestreo compuesto.

<b>Sonda multiparamétrica</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>pH</b>	6,51	8,38	8,34	7,08	8,46	8,39	7,50	7,65
<b>ORP (mV)</b>	178,5	136,9	179,3	218	110,0	215	102,4	119
<b>%O. D</b>	26,6	31,0	30,8	29,0	28,3	32,9	26,5	38,4
<b>Oxígeno Disuelto (ppm)</b>	1,84	2,17	2,15	2,02	1,95	2,29	1,83	2,69
<b>K(μs/cm)</b>	1019	1047	884	711	1116	652	915	957
<b>T(°C)</b>	27,92	27,11	27,28	27,5	27,8	27,4	27,98	27,1
<b>P(atm)</b>	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
<b>espectrofotómetro</b>								
<b>DQO (ppm)</b>	756	575	774	556	608	701	732	634
<b>Fenol (ppm)</b>	1,5			1,0				1,5

El 26 de abril del 2021 se recolectaron 2 muestras en el laboratorio de medicina reproductiva una de ella era Albumina de suero humano - gentamicina y la otra muestra era un aceite donde se coloca el ovulo el cual dieron una DQO de 129700 ppm y 6300 ppm. En la figura C2 se presenta una fotografía de las muestras recolectadas.



**Figura C2.** Muestras recolectadas de unidad reproductiva.

El 20 de septiembre del 2021 se realizó el muestreo compuesto durante 6 horas tomando muestras cada hora, para el informe de vertimientos anual con el laboratorio de HIDROAMBIENTAL, certificado por el IDEAM, en conjunto con WTC S.A.S para comparar resultados obtenidos. En la Tabla C2 se observan los resultados obtenidos del punto de monitoreo.

**Tabla C2.** Resultados de parámetros fisicoquímicos del punto de monitoreo.

Sonda multiparamétrica	TORRE B					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
pH	5.91	7.15	7.57	7.82	7.77	7.74
ORP (mV)	277.3	212.9	218.8	188.8	172.1	251.2
%OD	19.0	10.4	7.9	11.1	11.0	13.2
Oxígeno Disuelto (ppm)	1.29	0.73	0.62	0.76	0.77	11
K (us/cm)	370	325	258	615	302	1.21
T(°C)	29.22	27.47	26.64	28.56	27.1	22.10
P(atm)	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
DQO (ppm)				472		
FENOL (ppm)				0,47		

#### **Anexo D. Monitoreo Unidad de Rehabilitación y Medicina Física**

El 2 de junio del 2021 se realizó un muestreo puntual del efluente del punto monitoreado y de los principales vertimientos generados en la Unidad de Rehabilitación y Medicina Física con el fin de conocer la carga contaminante. En la Tabla D1, D2 y D3 se presentan los resultados obtenidos y en la Figura D1 se presentan una fotografía de algunos insumos de limpieza.

**Tabla D1.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos del punto de monitoreo.

Sonda multiparamétrica	Central de rehabilitación y Medicina física
pH	6,92
ORP (mV)	536,4
%O. D	67,5
Oxígeno Disuelto (ppm)	4,82
K(μs/cm)	281
T(°C)	25,96
P(atm)	0,88
DQO (ppm)	44000

**Tabla D2.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos de los vertimientos generados en la Unidad de Rehabilitación y Medicina Física.

Sonda multiparamétrica	klorkleen limpio	klorkleen sucio 1	klorkleen sucio 2	west
pH	6,50	7,63	7,20	6,54
ORP (mV)	795,1	539,1	568,6	931,5
%O. D	54,7	57,5	56,6	58,0
Oxígeno Disuelto (ppm)	3,89	4,14	4,06	4,21
K(μs/cm)	5059	157	194	1497
T(°C)	25,47	25,62	25,68	24,94
P(atm)	0,88	0,88	0,88	0,88
DQO (ppm)	354000	11000	63000	232

**Tabla D3.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos de insumo de limpieza.

Sonda Multiparamétrica	Klorkleen 1	Klorkleen 4
pH	6,21	6,38
ORP (mV)	846,3	894,3
%O. D	59,7	67
Oxígeno Disuelto (ppm)	4,38	4,84
K(μs/cm)	958	6125
T(°C)	24,43	24,36
P(atm)	0,88	0,88
DQO (ppm)	1466	8415



**Figura D1.** Fotografía de insumos de limpieza.

El 20 de septiembre del 2021 se realizó el muestreo compuesto durante 6 horas tomando muestras cada hora, para el informe de vertimientos anual con el laboratorio de

HIDROAMBIENTAL, certificado por el IDEAM, en conjunto con WTC S.A.S para comparar resultados obtenidos. En la Tabla D4 se observan los resultados obtenidos del punto de monitoreo.

**Tabla D4.** Resultados del muestreo compuesto.

Sonda multiparamétrica	CAJA TORRE REHABILITACIÓN FÍSICA					
	T0	T1	T2	T3	T4	T5
pH	6.81	07.02		7.14	7.24	6.66
ORP (mV)	240.7	239.7		212.5	152.7	256.9
%OD	6.8	10.6	<b>NO HUBO CAUDAL</b>	10.8	10.5	7.7
Oxígeno Disuelto (ppm)	0.46	0.78		0.79	0.77	0.70
K (us/cm)	353	635		412	954	431
T(°C)	29.41	25.34		25.14	25.15	14.38
P(atm)	0,88	0,88		0,88	0,88	0,88
DQO (ppm)				242		
FENOL (ppm)				0,48		

El 29 de septiembre del 2021 se recolectaron 4 muestras de los vertimientos que son generados por los insumos de limpieza, pero en este día se sustituyó el Klorkleen por Sanikleen para analizar la diferencia en cuanto a carga orgánica y como se puede observar la variación es elevada. En la tabla D5 se observan los resultados obtenidos

**Tabla D5.** Resultados de los vertimientos generados en la Unidad de Rehabilitación y Medicina Física.

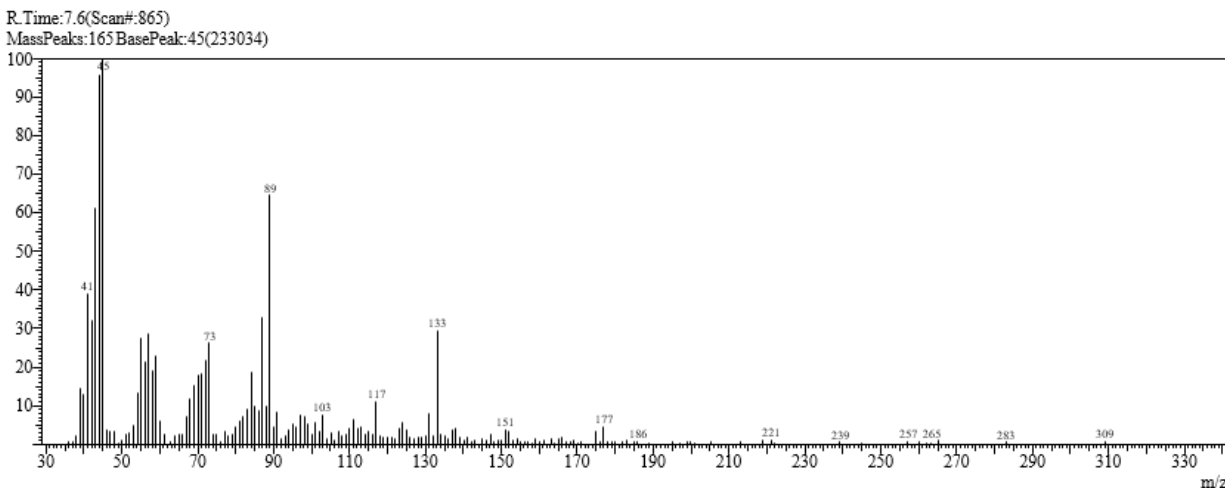
Sonda Multiparamétrica	trapo Klorkleen	trapero Klorkleen	trapo Sanikleen	trapero Sanikleen
pH	6,44	6,43	6,95	7,34
ORP (mV)	587,9	774,6	805,0	719,9
%O. D	47,5	47,7	56,7	57,3
Oxígeno Disuelto (ppm)	3,31	3,39	4,10	4,12
K(µs/cm)	242	537	186	137
T(°C)	27,73	26,61	25,68	26,03
P(atm)	0,88	0,88	0,88	0,88
DQO (ppm)	739	1037	256	111

El 14 de octubre se realizó un muestreo compuesto con el fin de tener la seguridad de si será útil la sustitución del insumo de limpieza, en la jornada laboral solo se trabajó con Sanikleen para observar que tanto disminuyo el DQO respecto al Klorkleen. En la Tabla D6 se observan los resultados obtenidos.

**Tabla D6.** Resultados del muestreo compuesto.

Sonda Multiparamétrica	T0	T1	T2	T3	T4	T5 (COMPUESTA)
pH	6,38	6,74	6,77	6,86	7,07	5,39
ORP (mV)	443,4	348,3	311,3	322,9	270,7	341,2
%O. D	60,7	55,7	59,9	62,7	61,0	54,4
Oxígeno Disuelto (ppm)	4,32	3,92	4,21	4,44	4,30	3,84
K(μs/cm)	95	299	459	230	265	219
T(°C)	26,25	26,82	26,93	26,57	26,78	26,79
P(atm)	0,88	0,88	0,88	0,89	0,88	0,88
DQO (ppm)				250		

El 22 de agosto del 2021 se procesaron en el Laboratorio de Espectroscopia de la Universidad del Valle, las muestras compuestas de las sedes del Centro Médico Imbanaco con el fin de saber el porcentaje de las trazas de los compuestos inorgánicos de los vertimientos generados por este centro. En la Figura E1 y E2 se presentan los resultados obtenidos por el Espectro.



**Figura E1.** Resultados del Espectro de Masas. (Universidad del Valle)

TABLA DEL ESPECTRO DE  
 MASAS R. Time: 2.9 (Scan#: 301)  
 MassPeaks: 194 BasePeak: 44(1061910)

m/z	Rel. Int.	m/z	Rel. Int.	m/z	Rel. Int.	m/z	Rel. Int.	m/z	Rel. Int.	m/z	Rel. Int.
38.05	0.25	66.00	0.42	92.05	1.52	118.05	0.31	144.05	0.22	173.05	0.19
39.00	2.43	67.00	2.79	93.00	1.13	119.05	1.27	145.05	0.67	174.00	0.12
40.00	3.05	68.05	2.57	94.05	0.66	120.05	0.49	145.95	0.14	175.00	0.30
41.00	14.86	69.05	11.15	95.10	2.56	121.05	1.51	147.10	0.65	177.00	0.94
42.00	30.97	70.05	4.63	96.05	2.00	122.05	0.35	148.05	0.15	178.00	0.19
43.05	29.44	71.05	11.73	97.05	3.68	123.05	0.88	149.05	0.63	179.05	0.16
44.00	100.00	72.00	16.43	98.05	1.68	124.05	0.79	150.05	0.39	180.00	0.25
45.00	50.52	73.00	10.18	99.05	2.40	125.10	0.71	151.10	0.55	182.10	0.18
46.00	2.66	74.00	1.52	100.00	0.64	126.15	0.41	152.10	0.28	183.10	0.27
47.00	0.46	75.00	2.97	101.05	2.55	127.10	0.61	153.05	0.25	185.10	0.16
50.00	0.15	75.95	0.49	102.00	1.14	128.10	0.23	154.05	0.16	193.95	0.10
51.00	0.37	77.00	2.10	103.05	2.75	129.05	0.73	155.05	0.18	194.95	0.17
52.00	0.28	78.05	0.36	104.00	0.50	129.95	0.20	157.00	0.20	196.05	0.14
53.00	0.74	79.05	1.10	105.05	0.96	131.00	1.14	158.10	0.20	197.10	0.18
54.05	1.95	80.05	0.54	106.10	0.34	132.05	0.48	159.05	0.25	199.00	0.21
55.00	11.04	81.05	4.33	107.05	1.43	133.05	7.43	160.05	0.18	205.00	0.09
56.05	5.92	82.05	3.55	108.05	0.34	134.05	0.85	161.10	0.36	207.00	0.14
57.05	20.50	83.05	5.25	109.05	1.32	135.10	1.08	162.05	0.11	211.25	0.10
58.00	6.54	84.05	2.43	110.10	0.93	136.15	0.41	163.05	0.52	213.10	0.35
59.00	10.16	85.05	6.16	111.05	2.19	137.10	0.71	164.05	0.20	219.05	0.15
60.00	31.97	86.05	1.62	112.05	0.72	138.10	0.50	165.05	0.38	227.00	0.11
61.00	2.61	87.00	6.68	113.05	0.99	139.10	0.46	166.05	0.42	228.05	0.16
62.00	0.36	88.00	4.17	114.05	0.44	140.10	0.26	167.10	0.29	229.00	0.13
63.00	0.37	89.00	23.39	114.95	0.79	141.20	0.25	168.05	0.21	231.05	0.14
63.95	0.10	90.00	42.02	116.05	0.49	142.05	0.13	169.05	0.25	239.10	0.15
64.95	0.45	91.00	4.03	117.00	1.02	143.00	0.40	171.00	0.16	247.15	0.15

Figura E2. Datos del Espectro de Masas. (Universidad del Valle)

Las curvas de calibración son un método utilizado para determinar la concentración de una sustancia que se conoce como analito de una muestra de interés, se basa en la relación proporcional entre la concentración de una solución y una determinada señal analítica que es una propiedad medible en un instrumento, en este caso un Espectrofotómetro para aguas y aguas residuales (Hanna -HI83399).

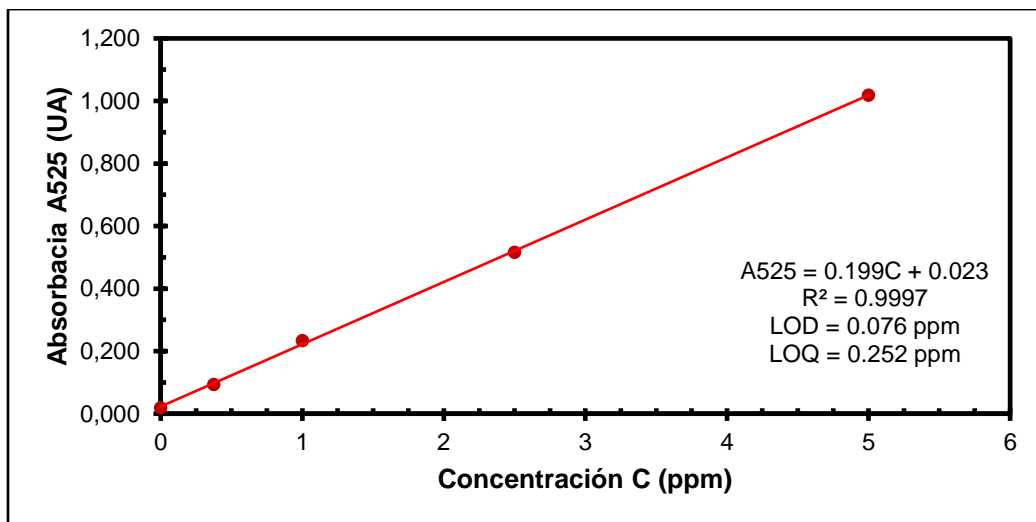
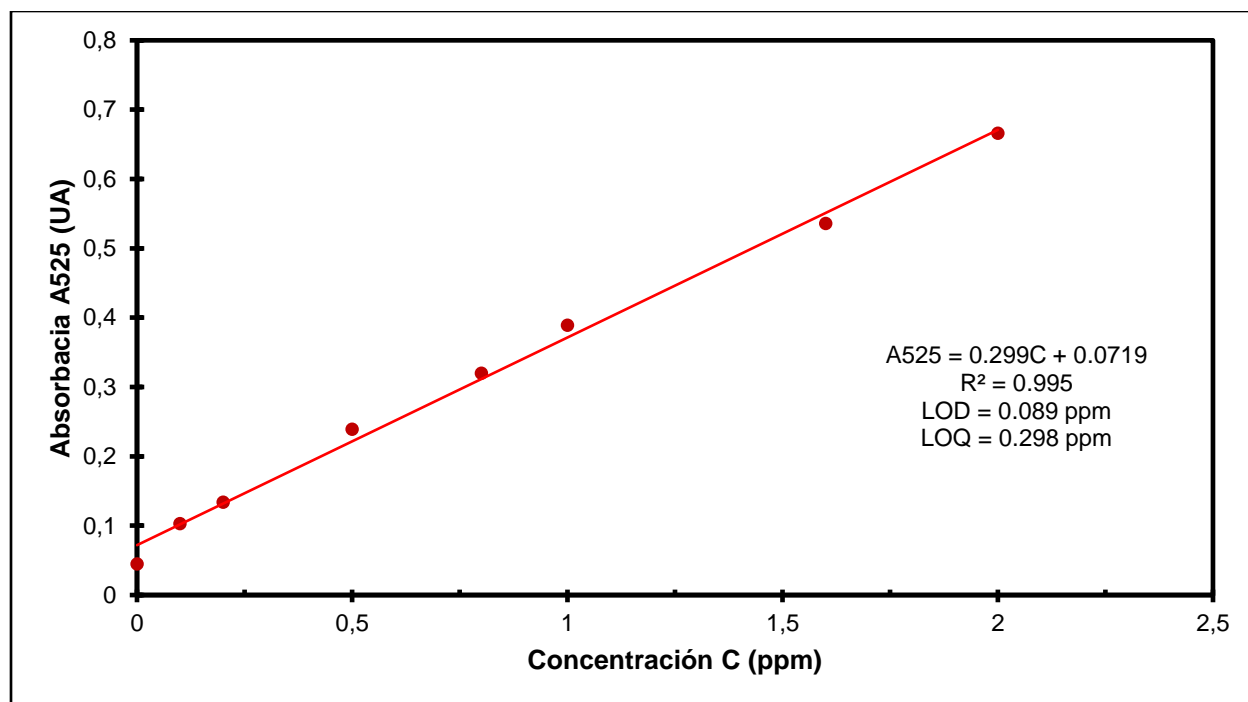


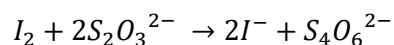
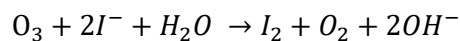
Figura E3. Primera curva de calibración para Fenol.



**Figura E4.** Segunda curva de calibración para el Fenol.

Se realizó una titulación yodométrica para la determinación del flujo de ozono ( $O_3$ ) del generador en función del porcentaje indicado en el mando del sistema de control. Para ello se procedió a suministrar una carga de ozono durante un lapso de 35 segundos a 200 mL de una solución al 3.5% m/v de Ioduro de Potasio (KI), para posteriormente titular con Tiosulfato de Sodio ( $Na_2S_2O_3$ ) al 0,1 M mediante la observación del viraje de color de la solución, pasando de tonos cobrizos a ser incoloro.

Lo anterior se ve descrito por las siguientes reacciones redox:



De las cuales se puede deducir que la relación estequiométrica entre el  $O_3$  y  $S_2O_3^{2-}$  es 1:2. Complementando esto con concepto de molaridad expresado como:

$$[x] = \frac{n_x}{V_x}$$



En donde:

[x] es la concentración molar de la especie "x" en (mmol/mL)

$n_x$  es la cantidad de moles en solución de la especie "x" (en mmol)

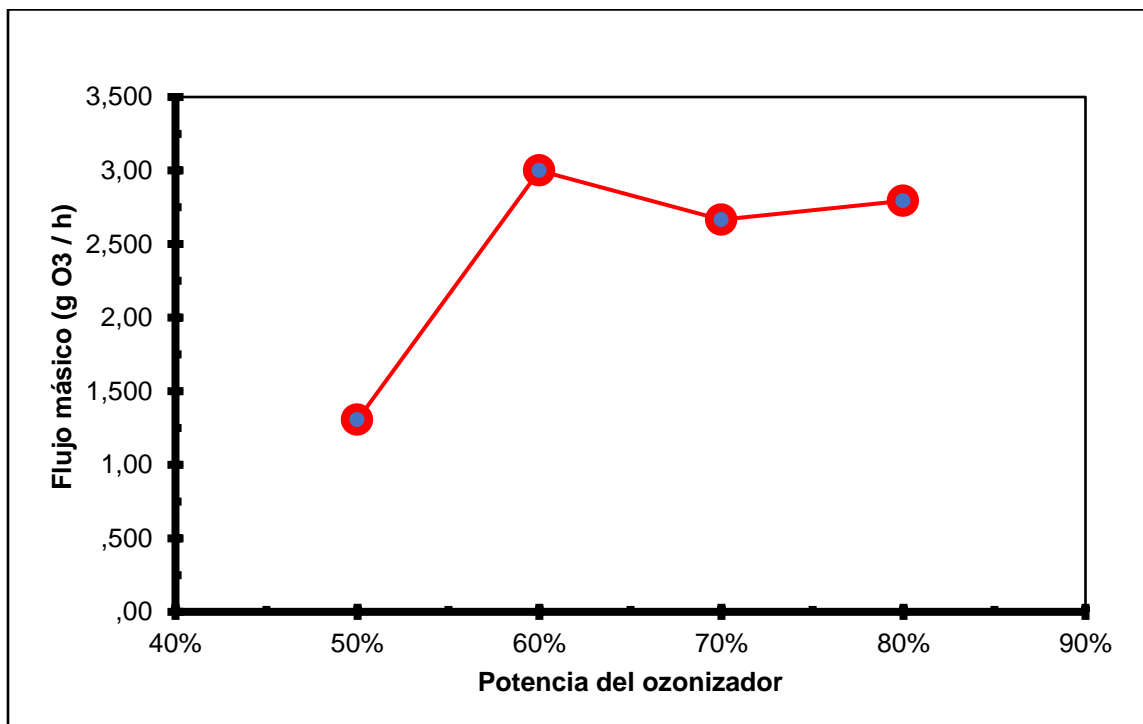
$V_x$  es el volumen de la solución de "x" (en mL)

Se puede determinar las cantidades molares y máscas de ozono,  $n_{O_3}$  y  $m_{O_3}$ , respectivamente, como:

$$n_{O_3} = \frac{[S_2O_3^{2-}]V_{S_2O_3^{2-}}}{2}$$
$$m_{O_3} = \frac{M_{O_3}[S_2O_3^{2-}]V_{S_2O_3^{2-}}}{2}$$

Posteriormente, el flujo se obtiene dividiendo cada cantidad entre el tiempo de carga escogido

Con base en estas ecuaciones, se realizó la titulación ya descrita y se obtuvo la siguiente curva:



**Figura E5.** Titulación yodométrica para determinar el flujo másico del generador de ozono en el Centro Médico Imbanaco.

Donde se puede observar un rendimiento máximo de flujo en torno al 60-70% de capacidad del generador.

El día 3 de mayo se realizaron pruebas de remoción de materia orgánica por seguimiento del parámetro de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) por Espectrofotometría. Se seleccionaron tres puntos de muestreo para realizar el estudio: la entrada a los filtros, la entrada al tanque de contacto y la salida del Parshall. Se realizó la medición en tiempos de 0 horas, 2 horas y 4 horas, denotados como DQO-0, DQO-2 y DQO-4 respectivamente.

Los resultados se muestran en la Tabla E1. Se observa un aumento neto entre el inicio y el fin de las mediciones con fluctuaciones tanto de alza como de baja en el tiempo intermedio de 2 horas. Estas discrepancias, y aparente aumento, de la carga contaminante pueden deberse a una alta variabilidad en el flujo del efluente de entrada. Por lo que se recomendará un rediseño experimental para poder constatar este hecho y verificar el proceso efectivo de remoción de carga contaminante.

**Tabla E1.** Evolución temporal de la carga contaminante en los distintos puntos de muestreo seleccionados para el seguimiento del proceso.

Punto	DQO-0 (ppm)	DQO-2 (ppm)	DQO-4 (ppm)
Entrada filtros	131	146	177
Entrada contacto	192	91	291
Parshall	88	175	139