

ORIGINAL

Quantitative study of the variable pollutant load in hospital wastewater from the Imbanaco Clinic in the city of Cali

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

Sara Juliana Jaramillo Arvilla¹, Julián Diel Urresta Aragón¹, Natali Lorena Mena Guerrero¹, Carla Stephanny Cárdenas Bustos¹

¹Universidad de Pamplona, Facultad de Ingenierías y Arquitectura, Programa de Ingeniería Química, Norte de Santander. Pamplona, Colombia.

Citar como: Jaramillo Arvilla SJ, Urresta Aragón JD, Mena Guerrero NL, Cárdenas Bustos CS. Quantitative study of the variable pollutant load in hospital wastewater from the Imbanaco Clinic in the city of Cali. eVidroKhem. 2022; 1:66. <https://doi.org/10.56294/evk202266>

Enviado: 01-02-2021

Revisado: 14-01-2022

Aceptado: 19-07-2022

Publicado: 20-07-2022

Editor: Prof. Dr. Javier Gonzalez-Argote 

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.

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 Físicoquímicos; Proceso de Oxidación; Micro Contaminantes.

INTRODUCCIÓN

El Centro Médico Imbanaco (CMI) de la ciudad de Cali ha sido reconocido en múltiples ocasiones por sus avances en seguridad hospitalaria, recibiendo en cinco oportunidades el “Galardón Nacional Hospital Seguro” otorgado por la Asociación Colombiana de Hospitales y Clínicas (ACHC).^(1,2,3,4,5) Este reconocimiento destaca las mejoras continuas en la calidad de la atención y la gestión institucional.^(6,7,8,9,10) En el marco de su compromiso con el desarrollo sostenible, una de las prioridades del CMI es la adecuada gestión ambiental, en particular el tratamiento de las aguas residuales generadas por sus servicios de atención en salud.^(11,12,13,14,15)

Las aguas residuales hospitalarias representan un reto ambiental importante debido a la presencia de contaminantes emergentes y compuestos recalcitrantes como productos farmacéuticos, radionucleidos, disolventes y desinfectantes, que se generan en diversas actividades clínicas, de laboratorio e investigación.^(1,16,17,18,19,20) La inadecuada gestión de estos efluentes puede generar impactos negativos sobre la salud pública y el equilibrio ecológico, incluyendo brotes de enfermedades, contaminación de cuerpos de agua y acumulación de sustancias tóxicas.^(21,22,23,24,25) Debido a su complejidad, estos residuos no son tratados de manera efectiva por los sistemas convencionales de tratamiento municipales, lo que exige la implementación de tecnologías avanzadas y económicamente viables.^(26,27,28,29,30)

En este contexto, la presente investigación se desarrolló en colaboración con la empresa Water Treatment Colombia S.A.S., spin-off de la Universidad del Valle especializada en procesos de producción más limpia. El estudio tuvo como objetivo caracterizar la carga contaminante de las aguas residuales hospitalarias del Centro Médico Imbanaco y evaluar la aplicación de técnicas de oxidación avanzada como alternativa para su tratamiento. Para ello, se realizaron jornadas de muestreo y análisis de parámetros fisicoquímicos, orientadas a determinar la efectividad de estas tecnologías en la mineralización de contaminantes presentes en los efluentes.

Los resultados de este estudio buscan aportar al conocimiento técnico en la gestión de aguas residuales hospitalarias y ofrecer herramientas para la toma de decisiones en el diseño de sistemas de tratamiento sostenibles en el sector salud.

¿Qué tipo de carga contaminante presentan las aguas residuales hospitalarias del Centro Médico Imbanaco y qué tan efectiva es la aplicación de técnicas de oxidación avanzada para su tratamiento?

Objetivo

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

MÉTODO

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 métodos aprobado por la comunidad científica para las mediciones en aguas residuales.

Toma de Muestras

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 métodos. 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 figura 1 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 2-3.

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''	Recibe los efluentes domésticos de la sede. La cámara tiene las siguientes dimensiones: 70 cm de largo, por 70 cm ancho y 160 cm de profundidad, a la cual llega una tubería de 16 in de diámetro.
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 1. Puntos de monitoreo de la Sede principal del Centro Médico Imbanaco

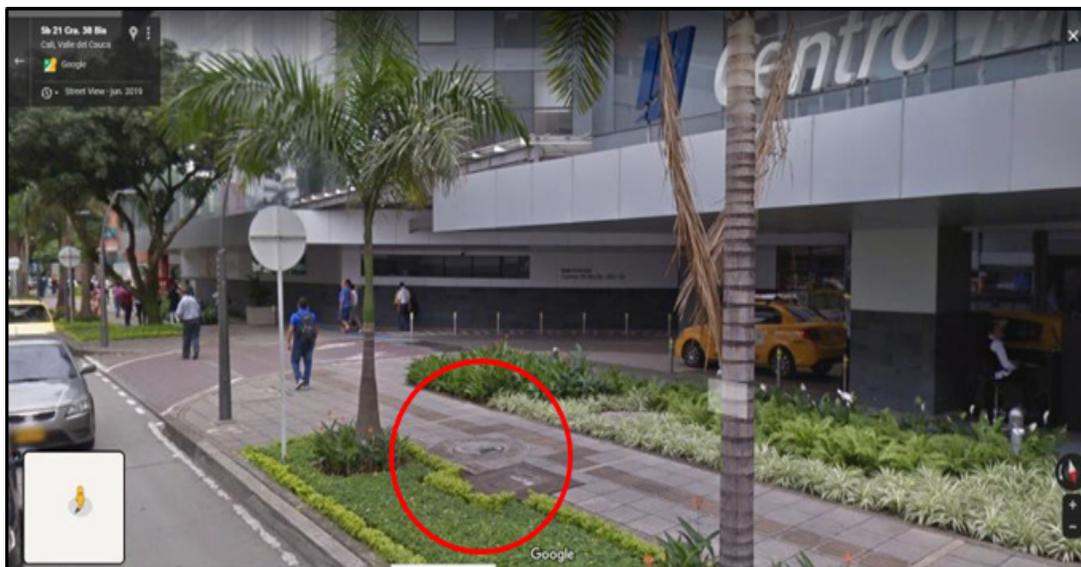


Figura 2. Punto 1 de monitoreo de la sede principal



Figura 3. Punto 2 de monitoreo de la sede principal



Figura 4. 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 figura 5, 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 6-20.

Cajas	Dirección	Coordenadas		Especificaciones
		Latitud	Longitud	
Punto 1		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.
Punto 2	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.
Punto 3		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.
Punto 4		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.
Punto 5	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 5. Puntos de monitoreo de la Torre A del Centro Médico Imbanaco

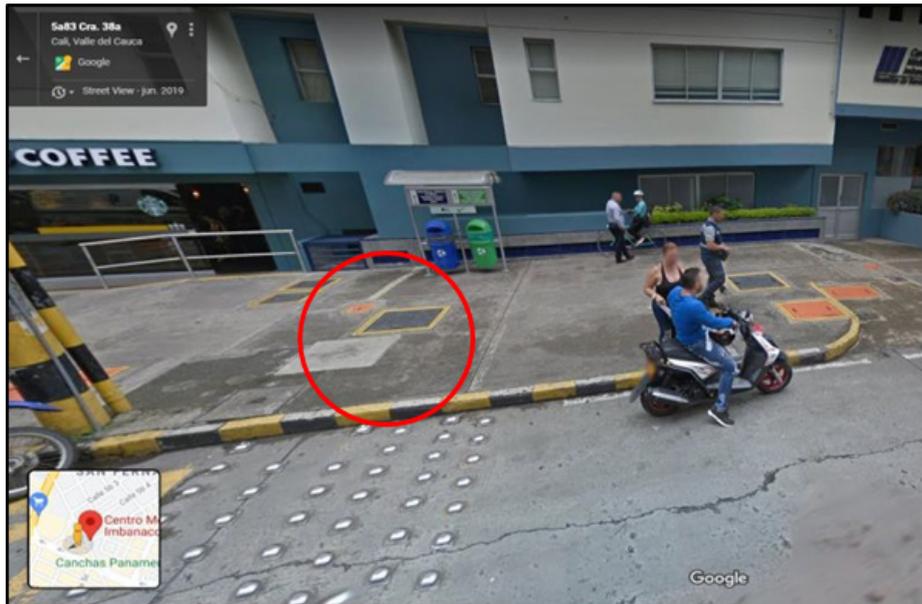


Figura 6. Punto 1 de monitoreo de la Torre A



Figura 7. Punto 2 de monitoreo de la Torre A

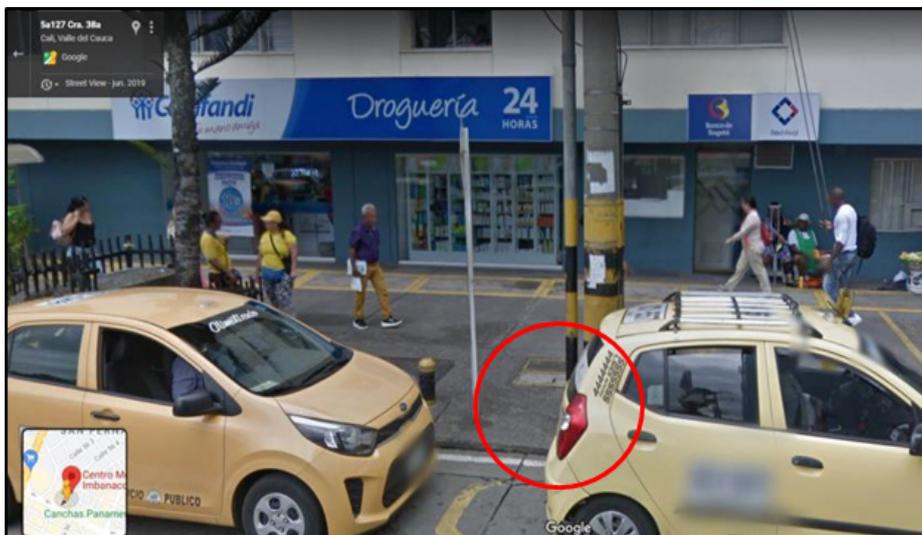


Figura 8. Punto 3 de monitoreo de la Torre A



Figura 9. Punto 4 de monitoreo de la Torre A



Figura 10. 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 1 se muestran las coordenadas del punto de monitoreo de la Torre B y en la figura 11 se presenta la foto del punto.

Tabla 1. Coordenadas geodésicas del punto de monitoreo de la Torre B	
Coordenada Latitud	s geodésicas Longitud
Norte 03° 25' 26,6'' N	Oeste 76° 32' 39,2'' W

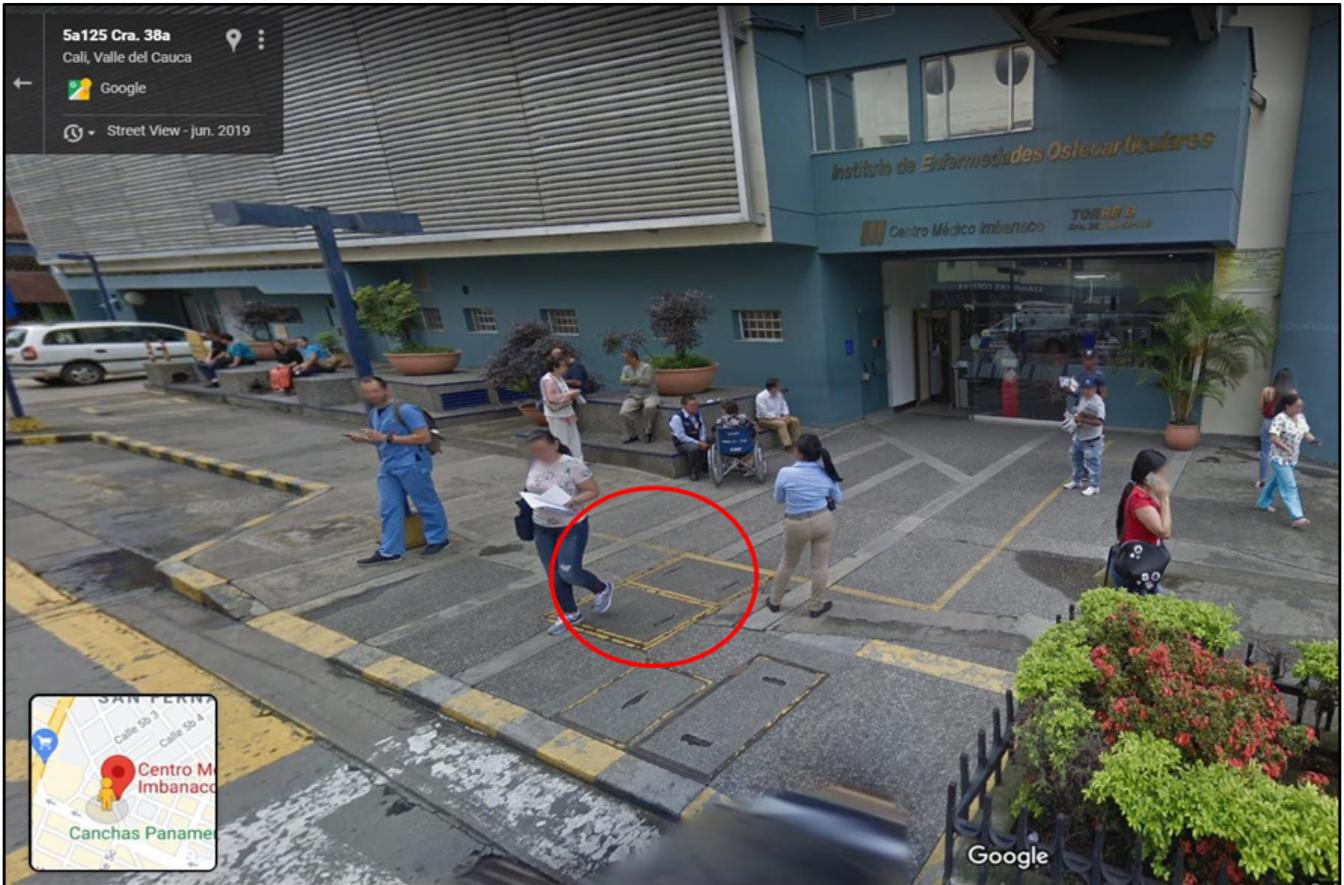


Figura 11. Punto general de monitoreo de la Torre B

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 2 se muestran las coordenadas del punto de monitoreo de la Unidad de rehabilitación y medicina física y en la figura 12 se presenta la foto del punto.

Tabla 2. Coordenadas geodésicas del punto de monitoreo de la Unidad de rehabilitación y medicina física	
Coordenada Latitud	s geodésicas Longitud
Norte 03° 25' 28,0'' N	Oeste 76° 32' 56,2'' W



Figura 12. Punto general de monitoreo de la unidad de rehabilitación y medicina física

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. En la tabla 3 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 3. 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 Multiparamétrica de Calidad del Agua HI-98194 Hanna Instruments	4/día	Entrada, Salida, Intermedio
Conductividad Eléctrica (CE)	mS/cm		4/día	Entrada, Salida, Intermedio
Potencial de Óxido- Reducción (ORP)	mV		4/día	Entrada, Salida, Intermedio
Amonio (NH ₄ ⁺)	mg/L		3/semana; 2/día	Entrada, Salida, Intermedio
Nitrato (NO ₃)	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 ₄ -3)	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 Norg- B, C	1/semana	Entrada, Salida
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	5220-D	1/semana	Entrada, Salida
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	5210-D	1/semana	Entrada, Salida
Carbono Orgánico Disuelto (COD)	mg/L	5310-B	1/semana	Entrada, Salida
Sólidos Suspendedos 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 4 y acorde a la NIST Research Library se estimaron los porcentajes de existencia.

Tabla 4. Condiciones del sistema Cromatografía de Gases acoplado a masas (GCMS)	
Programación de la temperatura del horno	Temperatura inicial de 40 °C en un tiempo inicial de 2 min y finaliza con una temperatura de 280 °C transcurridos 20 min.
Tasa de flujo de gas	13,3 °C/min
Modo de inyección	Split (1,2 µ L)
Columna	SH-Rxi-5Sil Ms (30 m de largo, 0,25 mm de recubrimiento)
Modo de ionización	SEI
Detector	15 eV y 70 eV
Tiempo de análisis (min)	3,0 - 75,0
Temperatura de la línea de transferencia	230 °C
Presión en la columna	46kPa
Flujo en la columna	1mL/min

Proceso de Oxidación Avanzada

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 O₂.

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 13.

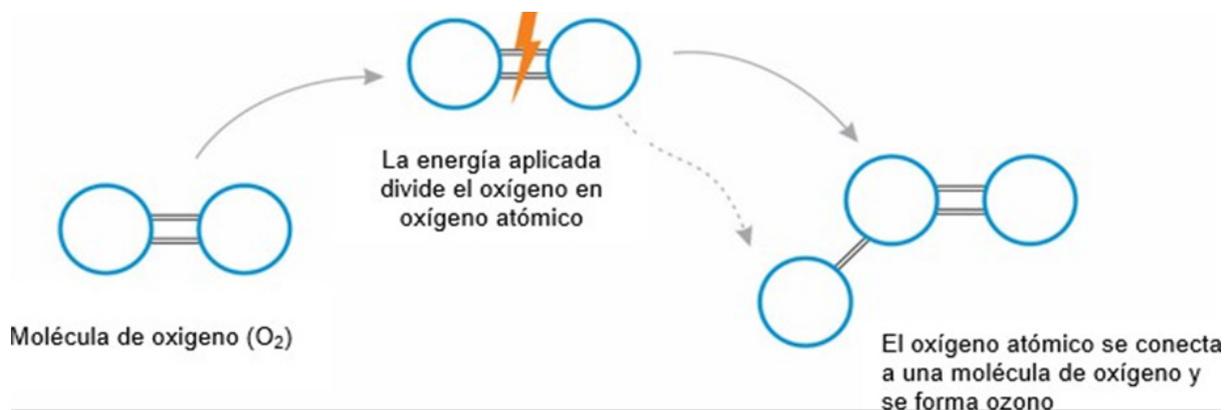


Figura 13. Esquema de producción de ozono

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 / m³.

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 biodegradable. 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 14 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.

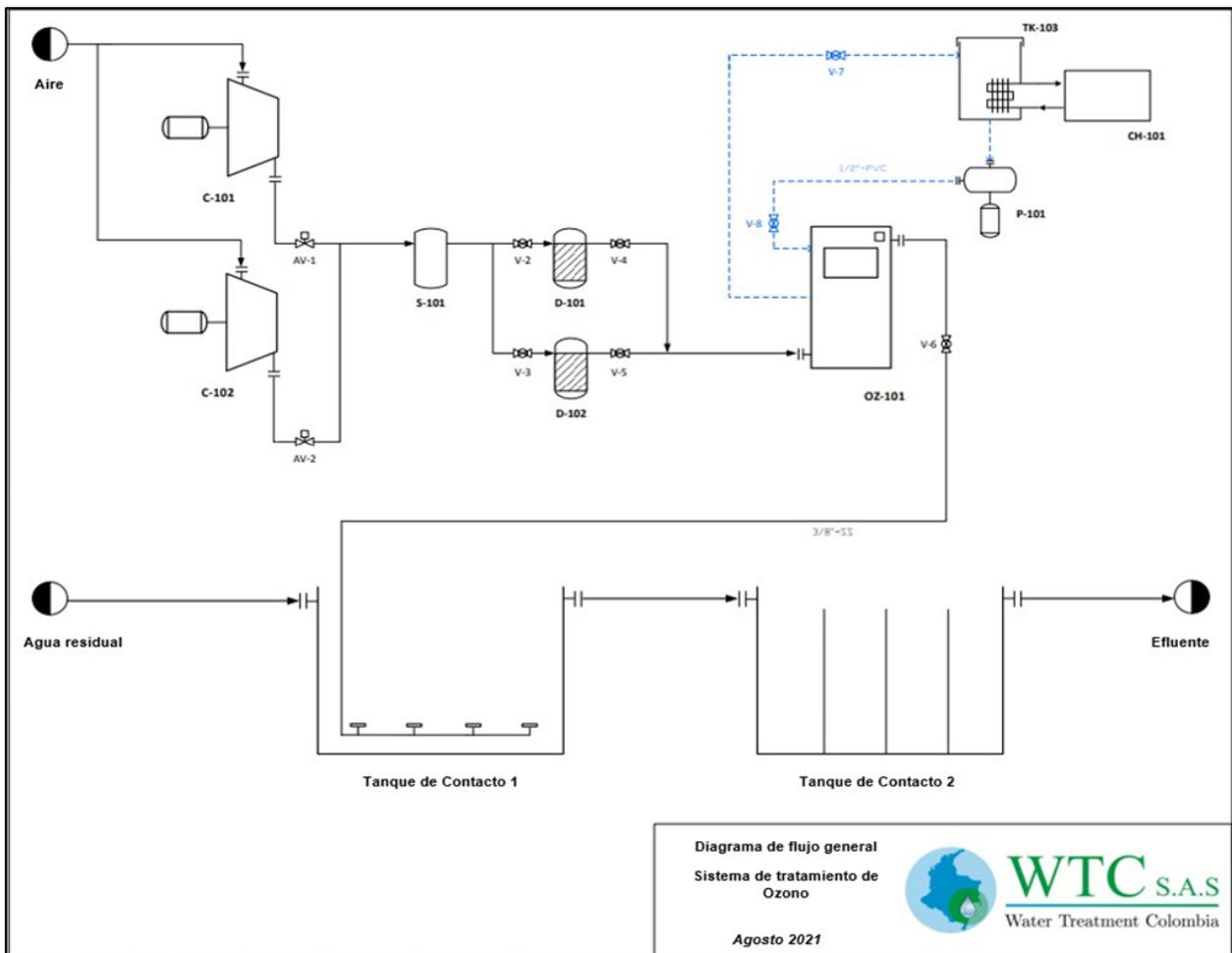


Figura 14. Proceso de ozonización para tratamiento de agua residual hospitalaria

Compresor

El sistema del compresor se utiliza para alimentar con aire presurizado y sin aceite al sistema de generación de ozono. La tabla 5 muestra las especificaciones del compresor de aire.

Tabla 5. Especificaciones del compresor de aire	
Modelo	Mzb 1500G
Poder	1500 W
Dimensiones	550 x 600 x 200 (milímetro)
Suministro eléctrico	110 V / 60 Hz
Actual	13 amperios máx.

Sistema generador de ozono

La figura 15 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 6 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 16 muestra una fotografía del gabinete.

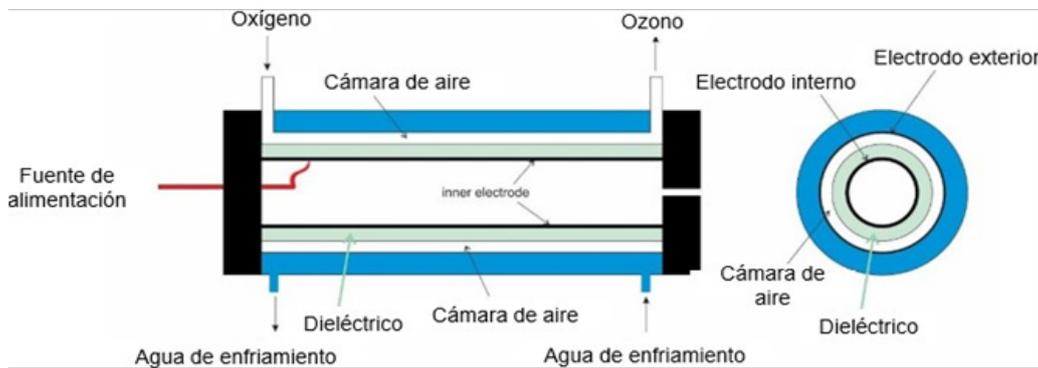


Figura 15. Elementos del tubo de ozono

Tabla 6. Especificaciones del sistema generador de ozono

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



Figura 16. 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 7 muestra algunas especificaciones del enfriador y sus componentes.

Tabla 7. Especificaciones del sistema de refrigeración	
Capacidad frigorífica	1 tonelada
Temperatura	15 hasta 22 ° C
Caudal de agua de refrigeración	1 l / s
Poder	1,5 kW
Dimensiones	550 x 500 x 1200 (milímetro)
Suministro eléctrico	220 V / 60 Hz
Actual	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 17 se presenta la fotografía del proceso de ozonización instalado en el Centro Médico Imbanaco.



Figura 17. 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.

RESULTADOS

Naturaleza de carga contaminante

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, Torre A, Torre B y Unidad de rehabilitación y medicina física.

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, DBO5, 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 DBO5 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 DBO5. 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, DBO5, 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, fósforo total, DQO y DBO5. A demás 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 toxico.
- 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 DBO5. A demás 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 DBO5. 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 DBO5. 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 DBO5. 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 DBO5. 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.

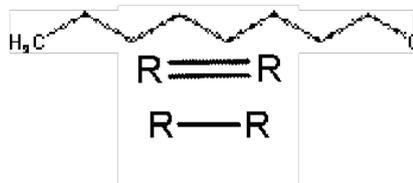
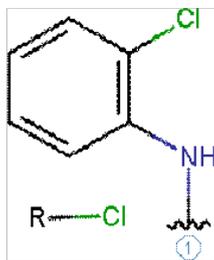
- **CREMA DENTAL:** según la composición y usos que se le da a este producto, según su ficha técnica y de seguridad, este podría representar una alteración considerable en los parámetros de acidez total, alcalinidad total, dureza total, dureza cálcica, DQO, DBO5, y grasas y aceites. Además, es un insumo 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.

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 figura 18.

Tipo de moléculas	Porcentaje de existencia (%)	Observación especial
Moléculas de origen bencénico.	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>
Moléculas de origen linoleico.	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>



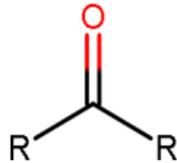
Compuesto de tipo alcohólico.	Estos compuestos están asociados a soluciones antisépticas utilizadas en nosocomios, aunque la temperatura de vaporización de estos compuestos es muy baja, suelen acoplarse a otras moléculas orgánicas siendo persistentes en los vertimientos.
$R-OH$	
Productos derivados de cetonas.	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.
	
Compuestos Halogenados (contienen Flúor y Bromo)	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.
$R-F$	4
$R-Br$	

Figura 18. Resultados de la Espectroscopía de Masas

- 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.

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 23-28, 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.

Comportamiento de la demanda bioquímica de oxígeno

Como se puede observar en la figura 19 para el parámetro DBO5, 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.

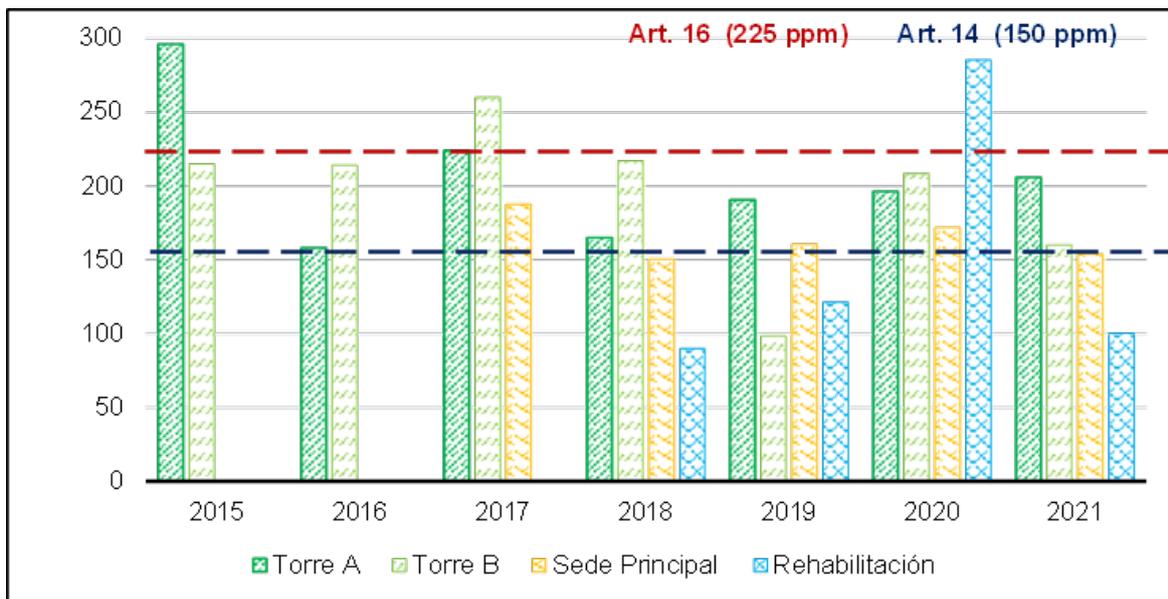


Figura 19. Histórico 2015-2021 del parámetro “Demanda Bioquímica de Oxígeno” (DBO5) de las distintas zonas de muestreo

Comportamiento de la demanda química de oxígeno

En la figura 20 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.

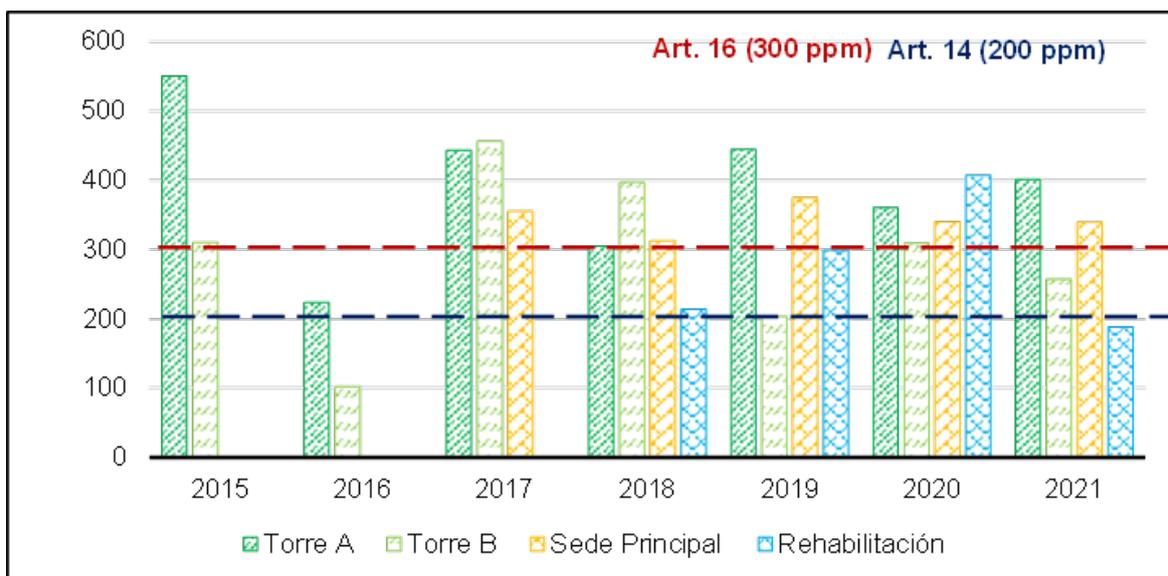


Figura 20. Histórico 2015-2021 del parámetro “Demanda Química de Oxígeno” (DQO) de las distintas zonas de muestreo

Comportamiento de los sólidos sedimentables

En el caso de los Sólidos Sedimentables, en la figura 21, 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.

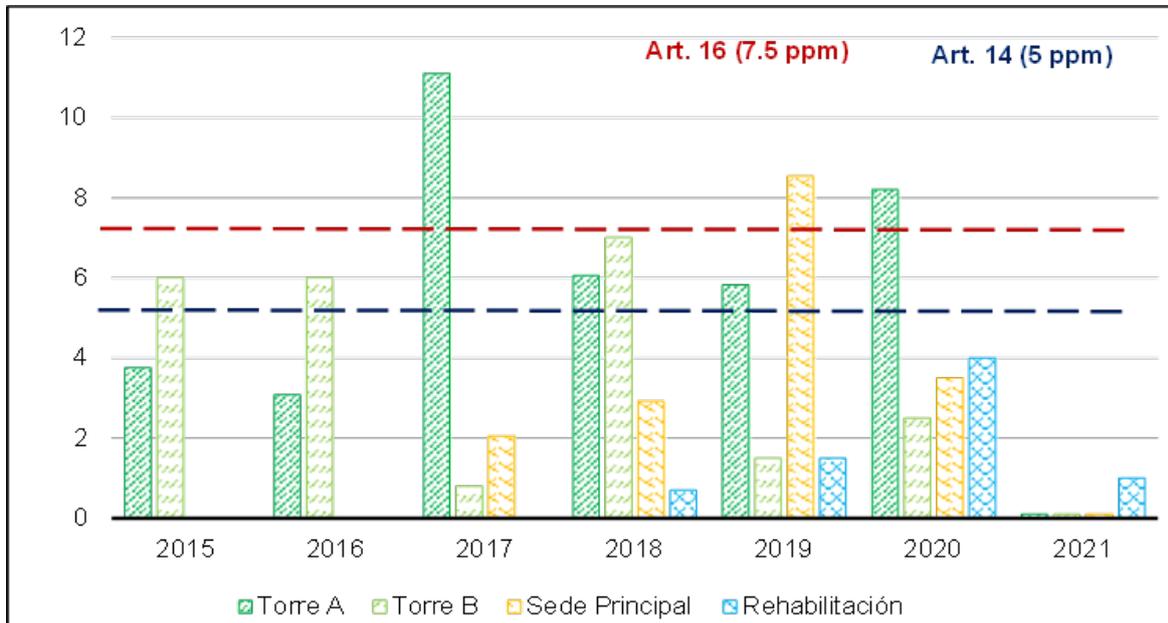


Figura 21. Histórico 2015-2021 del parámetro “Sólidos Sedimentables” (SSED) de las distintas zonas de muestreo

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 22, 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.

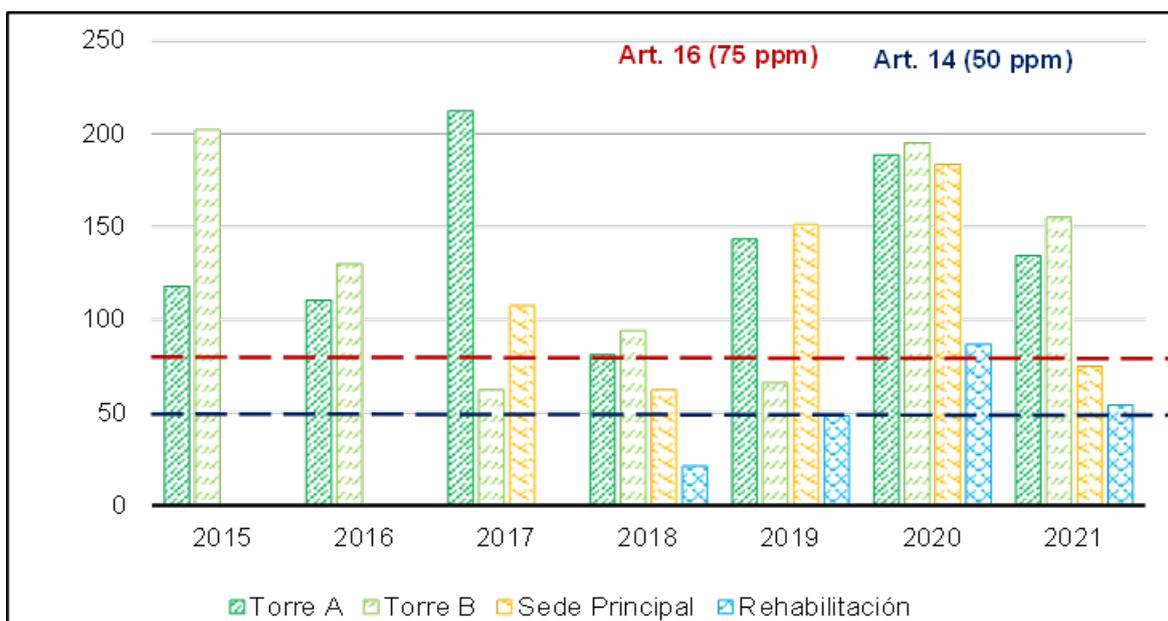


Figura 22. Histórico 2015-2021 del parámetro “Sólidos suspendidos totales” (SST) de las distintas zonas de muestreo

Comportamientos de grasas y aceites

En la figura 23 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.

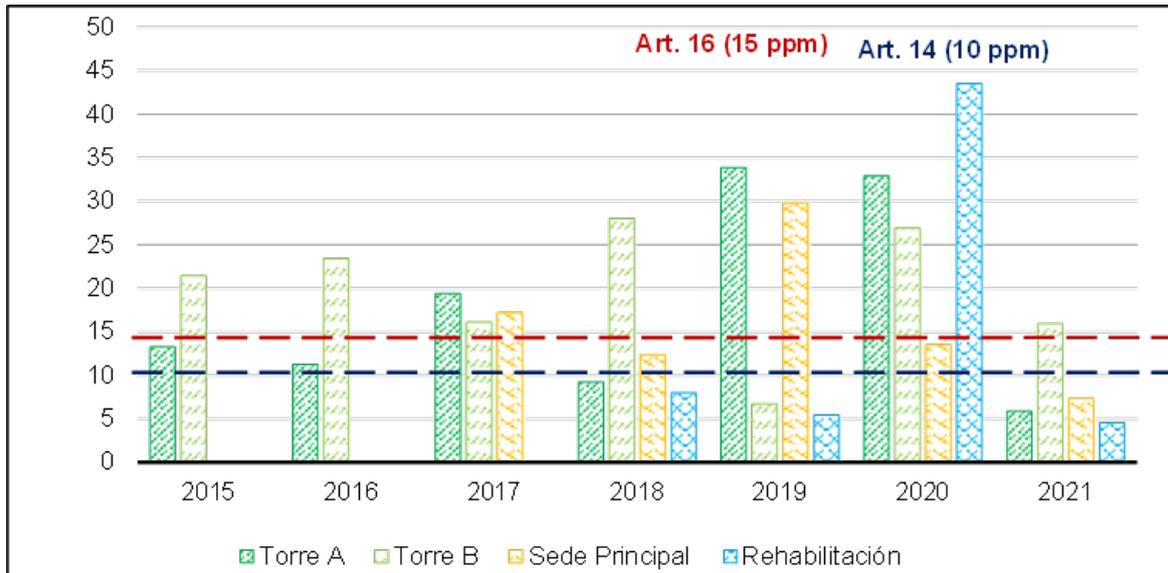


Figura 23. Histórico 2015-2021 del parámetro “Grasas y Aceites” (GyA) de las distintas zonas de muestreo

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 24. 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.

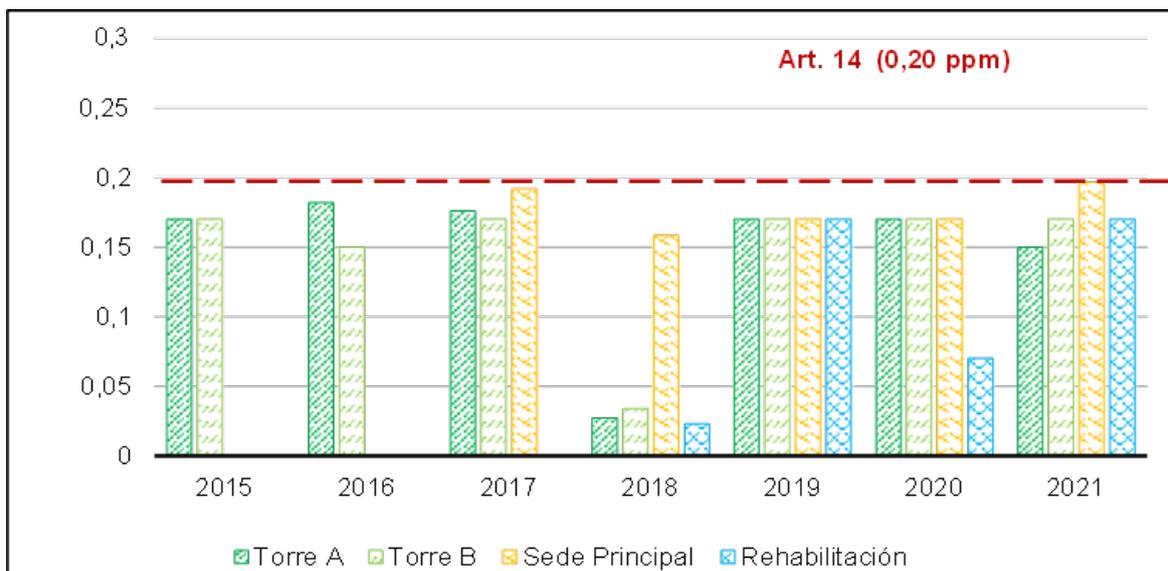


Figura 24. Histórico 2015-2021 del parámetro “Fenoles” (PhOH) de las distintas zonas de muestreo

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

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.

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 25, 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.

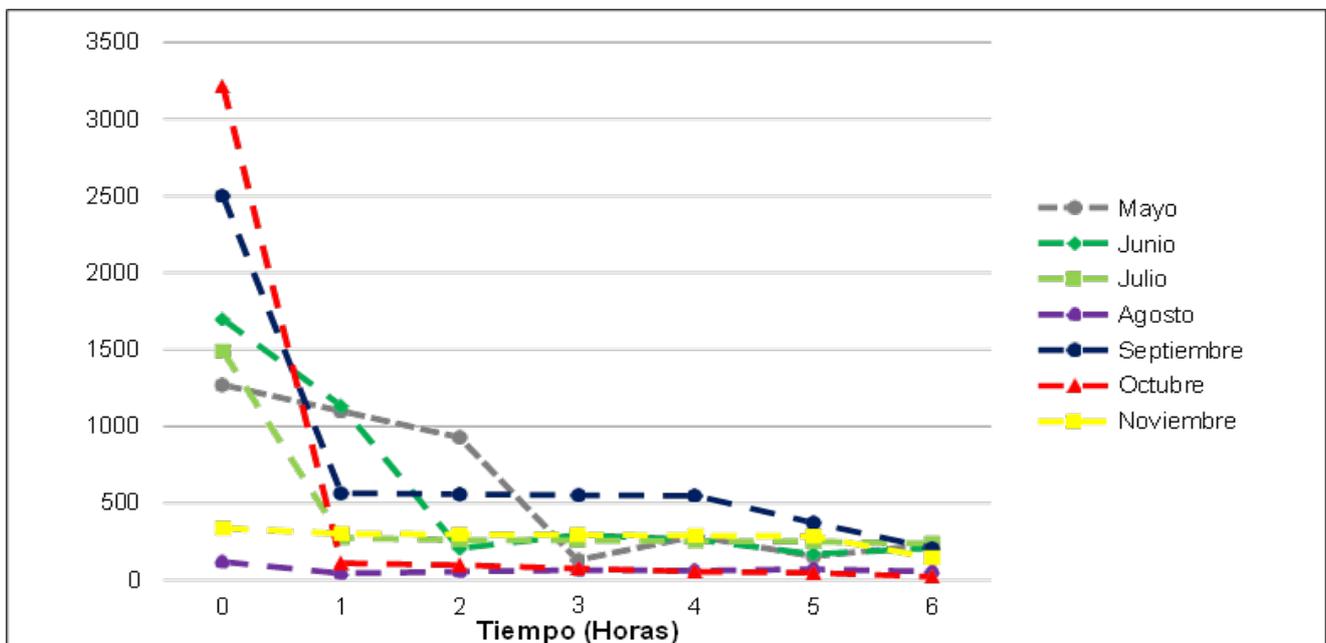


Figura 25. Concentración de la demanda química de oxígeno en función del tiempo en el sistema de oxidación: ozonización

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 un estudio 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 O₃/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.

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 26 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.

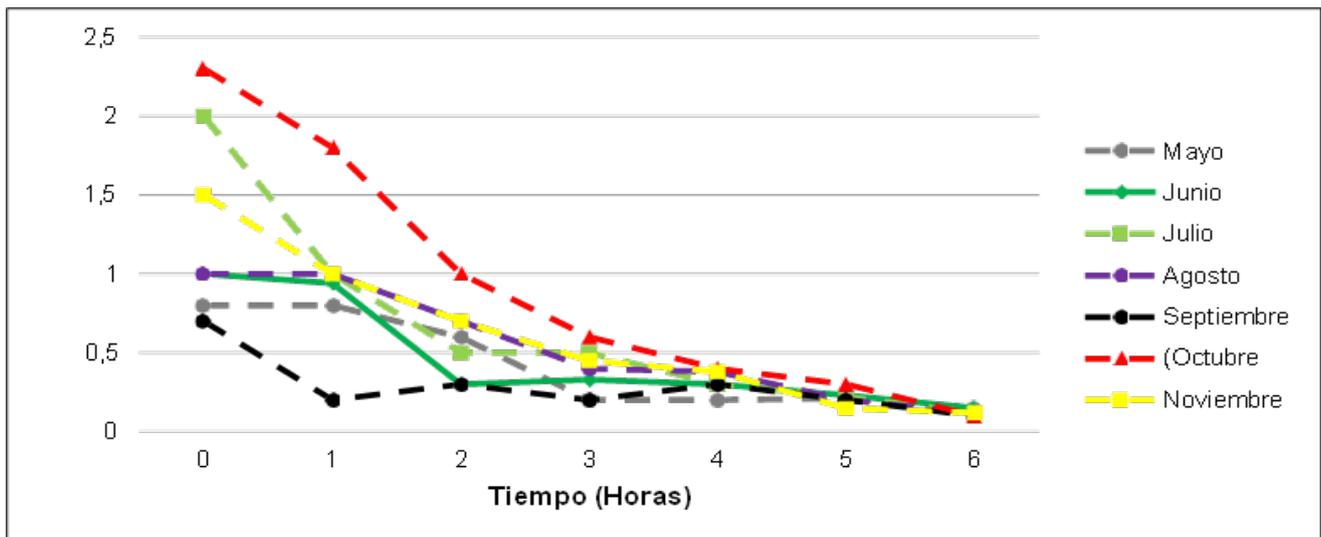


Figura 26. Concentración de Fenol en función del tiempo en el sistema de oxidación: ozonización

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 19, 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.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Verlicchi P, Galletti A, Petrovic M, Barceló D. Hospital effluents as a source of emerging pollutants: An overview of micropollutants and sustainable treatment options. *J Hydrol.* 2010;389(3-4):416-28. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.06.005
2. Almeida E, Assalin MR, Rosa MA, Durán N. Tratamento de efluentes industriais por processos oxidativos na presença de ozônio. *Quím Nova.* 2004;27(5):818-24. doi:10.1590/s0100-40422004000500023
3. Balcioğlu IA, Ötker M. Treatment of pharmaceutical wastewater containing antibiotics by O₃ and O₃/H₂O₂ processes. *Chemosphere.* 2003;50(1):85-95. doi:10.1016/S0045-6535(02)00534-9
4. Belzona. Tratamiento de aguas residuales. Belzona Inc.; 2008;1(55):1-15. <http://files.bernardo-servin-massieu.com/200000057-b3f9cb4e88/residuales.pdf>
5. Belzona. Guía de aplicaciones Belzona en equipos de tratamiento de aguas residuales - Tratamiento de aguas residuales. Belzona Inc.; 2010;40. <https://www.belzona.com/es/industries/wastewater.aspx>
6. Bes Monge SS, Silva DAM, Bengoa DC. Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al

tratamiento de aguas residuales industriales. Belzona Inc.; 2016. http://www.cyted.org/sites/default/files/manual_sobre_oxidaciones_avanzadas_0.pdf

7. Camenforte M, Pérez J. Alternativa a la desinfección del agua con cloro: ozonización. 2014;1-20.
8. Centa. Manual de depuración de aguas residuales urbanas. Centa, Secretariado de Alianza por el Agua, Ecología y Desarrollo; 2008;264. <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>
9. Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Tzatchkov VG, Villagómez IAC. Diseño de lagunas de estabilización. In: Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. México: CONAGUA; 2015. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/10DisenoDeLagunasDeEstabilizacion.pdf>
10. González O, Bayarri B, Aceña J, Pérez S, Barceló D. Treatment technologies for wastewater reuse: fate of contaminants of emerging concern. In: The Handbook of Environmental Chemistry. 2015;5-37. https://doi.org/10.1007/698_2015_363
11. Hrenovic J, Ivankovic T, Ivekovic D, Repec S, Stipanicev D, Ganjto M. The fate of carbapenem-resistant bacteria in a wastewater treatment plant. *Water Res.* 2017;126:232-9. doi:10.1016/j.watres.2017.09.007
12. Benitez FJ, Acero JL, Real FJ, Roldán G. Ozonation of pharmaceutical compounds: rate constants and elimination in various water matrices. *Chemosphere.* 2009;77(1):53-9. doi:10.1016/j.chemosphere.2009.05.035
13. Lima VC, Prata TS, Landa G, Yannuzzi LA, Rosen RB. Intravitreal triamcinolone and bevacizumab therapy for combined papillophlebitis and central retinal artery occlusion. *Retin Cases Brief Rep.* 2010;4(2):125-8. doi:10.1097/ICB.0b013e3181ad3957
14. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 631 de 2015. Diario Oficial No. 49.486; 2015. http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1res_631_marz_2015.pdf
15. Manuel J, Navarrete R. Normatividad colombiana en los vertimientos hospitalarios: impactos ambientales y de salud pública. 2016.
16. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Resolución 631 de 2015. 2015. http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/d1res_631_marz_2015.pdf
17. Ministerio del Medio Ambiente. Resolución 01164 de 2002. 2002. <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=36291>
18. Mitcheson L, Maslin J, Meynen T, Morrison T, Hill R, Wanigaratne S. Fundamentals of treatment. In: Applied Cognitive and Behavioural Approaches to the Treatment of Addiction. 2010. <https://doi.org/10.1002/9780470661420.ch3>
19. Muñoz M, García-Muñoz P, Pliego G, De Pedro ZM, Zazo JA, Casas JA, Rodríguez JJ. Application of intensified Fenton oxidation to the treatment of hospital wastewater: kinetics, ecotoxicity and disinfection. *J Environ Chem Eng.* 2016;4(4):4107-12. doi:10.1016/j.jece.2016.09.019
20. Muyo C. Procesos biológicos aerobios. Curso sobre tratamiento y reciclaje de aguas residuales industriales mediante soluciones sostenibles; 2016. <http://triton-cyted.com/wp-content/uploads/2017/04/Presentaci%C3%B3n.pdf>
21. Oikawa S, Tsuda M, Okamura Y, Urabe T. Prefulvene as a stable intermediate at the potential energy surface minimum of the benzene \rightleftharpoons benzvalene isomerization process. *J Am Chem Soc.* 1984;106(22):6751-5. doi:10.1021/ja00334a047
22. Ouarda Y, Tiwari B, Azais A, Vaudreuil MA, Ndiaye SD, Drogui P, et al. Synthetic hospital wastewater treatment by coupling submerged membrane bioreactor and electrochemical advanced oxidation process: Kinetic study and toxicity assessment. *Chemosphere.* 2018;193:160-9. doi:10.1016/j.chemosphere.2017.11.010
23. Penagos DG, López JO, Chaparro TR. Remoción de la materia orgánica y toxicidad en aguas residuales

hospitalarias aplicando ozono. DYNA (Colombia). 2012;79(173 Pt I):109-15.

24. Rojas JAR. Calidad del agua. 2009. <https://www.belzona.com/es/industries/wastewater.aspx>

25. Santiago EB, Calderón Ancona JM. Diseño y construcción de un generador de ozono para aplicaciones de purificación de agua. 2005;120.

26. Shin J, Choi S, Park CM, Wang J, Kim YM. Reduction of antibiotic resistome in influent of a wastewater treatment plant (WWTP) via a chemically enhanced primary treatment (CEPT) process. *Chemosphere*. 2022;286(P1):131569. doi:10.1016/j.chemosphere.2021.131569

27. Torán J, Blánquez P, Caminal G. Comparison between several reactors with *Trametes versicolor* immobilized on lignocellulosic support for the continuous treatments of hospital wastewater. *Bioresour Technol*. 2017;243:966-74. doi:10.1016/j.biortech.2017.07.055

28. Virkutyte J. Treatment of micropollutants in water and wastewater. In: *Water Intelligence Online*. 2010;9. <https://doi.org/10.2166/9781780401447>

29. McCabe WL, Smith JC, Harriot P, Colton RH. Operaciones unitarias en ingeniería química. 7.ª ed. México: McGraw-Hill; 2013.

30. Patiño Y, Díaz E, Ordóñez S. Recuperado el 11 de octubre de 2021, de Redalyc: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323631115001>

FINANCIACIÓN

Ninguna.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización: Sara Juliana Jaramillo Arvilla, Julián Diel Urresta Aragón, Natali Lorena Mena Guerrero, Carla Stephanny Cárdenas Bustos.

Curación de datos: Sara Juliana Jaramillo Arvilla, Julián Diel Urresta Aragón, Natali Lorena Mena Guerrero, Carla Stephanny Cárdenas Bustos.

Análisis formal: Sara Juliana Jaramillo Arvilla, Julián Diel Urresta Aragón, Natali Lorena Mena Guerrero, Carla Stephanny Cárdenas Bustos.

Investigación: Sara Juliana Jaramillo Arvilla, Julián Diel Urresta Aragón, Natali Lorena Mena Guerrero, Carla Stephanny Cárdenas Bustos.

Metodología: Sara Juliana Jaramillo Arvilla, Julián Diel Urresta Aragón, Natali Lorena Mena Guerrero, Carla Stephanny Cárdenas Bustos.

Administración del proyecto: Sara Juliana Jaramillo Arvilla, Julián Diel Urresta Aragón, Natali Lorena Mena Guerrero, Carla Stephanny Cárdenas Bustos.

Recursos: Sara Juliana Jaramillo Arvilla, Julián Diel Urresta Aragón, Natali Lorena Mena Guerrero, Carla Stephanny Cárdenas Bustos.

Software: Sara Juliana Jaramillo Arvilla, Julián Diel Urresta Aragón, Natali Lorena Mena Guerrero, Carla Stephanny Cárdenas Bustos.

Supervisión: Sara Juliana Jaramillo Arvilla, Julián Diel Urresta Aragón, Natali Lorena Mena Guerrero, Carla Stephanny Cárdenas Bustos.

Validación: Sara Juliana Jaramillo Arvilla, Julián Diel Urresta Aragón, Natali Lorena Mena Guerrero, Carla Stephanny Cárdenas Bustos.

Visualización: Sara Juliana Jaramillo Arvilla, Julián Diel Urresta Aragón, Natali Lorena Mena Guerrero, Carla Stephanny Cárdenas Bustos.

Redacción - borrador original: Sara Juliana Jaramillo Arvilla, Julián Diel Urresta Aragón, Natali Lorena Mena Guerrero, Carla Stephanny Cárdenas Bustos.

Redacción - revisión y edición: Sara Juliana Jaramillo Arvilla, Julián Diel Urresta Aragón, Natali Lorena Mena Guerrero, Carla Stephanny Cárdenas Bustos.