



Universidad de Concepción



# ANÁLISIS DE VARIABLES OPERACIONALES DE LA OZONIZACIÓN SEGUIDA DE BIOFILTRACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO GRANULAR EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE

Habilitación presentada para optar al título de

**Ingeniera Ambiental**

**IVETT FABIOLA MOSCOSO MELLADO**

Concepción (Chile), 2023



Universidad de Concepción



FACULTAD DE CIENCIAS  
AMBIENTALES

# ANÁLISIS DE VARIABLES OPERACIONALES DE LA OZONIZACIÓN SEGUIDA DE BIOFILTRACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO GRANULAR EN LA PRODUCCIÓN DE AGUA POTABLE

Habilitación presentada para optar al título de

**Ingeniera Ambiental**

**IVETT FABIOLA MOSCOSO MELLADO**

**Profesor guía: Ana Carolina Baeza Freer**

**Patricia González Sánchez**

**Profesor co-guía: Alfred Rossner Campos**

**Profesor comisión: Ricardo Figueroa Jara**

Concepción (Chile), 2023

**“Análisis de variable operacionales de la ozonización seguida de biofiltración de cartón activado granular en la producción de agua potable”**

**Profesor Guía: Dra. Carolina Baeza Freer**



**Profesor Comisión: Dr. Alfred Rossner Campos**



**Profesor Comisión: Dr. Ricardo Figueroa Jara**



**CONCEPTO: APROBADO CON DISTINCIÓN MÁXIMA**

Conceptos que se indica en el Título

- ✓ Aprobado por Unanimidad: (En Escala de 4,0 a 4,9)
- ✓ Aprobado con Distinción: (En Escala de 5,0 a 5,6)
- ✓ Aprobado con Distinción Máxima: (En Escala de 5,7 a 7,0)

**Concepción, marzo 2023**

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	ix
NOMENCLATURA .....	x
RESUMEN .....	xii
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	13
3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN .....	19
4. OBJETIVOS .....	19
4.1. Objetivo general .....	19
4.2. Objetivos específicos .....	19
5. METODOLOGIA.....	20
5.1. Objetivo específico 1: Establecer una base de datos de variables operacionales y eficiencias de ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular.....	20
5.2. Objetivo específico 2: Identificar las variables operacionales relevantes de ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular y sus interacciones.....	24
5.3. Objetivo específico 3: Analizar la capacidad de remoción de variables respuesta del tratamiento de ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular con diferentes condiciones de las variables operacionales y sus interacciones.....	24
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	26

6.1. Resultados asociados al objetivo específico 1 (Establecer una base de datos de variables operacionales y eficiencias de ozonización seguida de un biofiltro de carbón activado granular). .....	26
6.1.1. Búsqueda bibliométrica.....	26
6.1.2. Análisis cuantitativo.....	29
6.1.3. Sistematización de los datos .....	35
6.1.4. Homogeneización de datos .....	40
6.2. Resultados asociados al objetivo específico 2 (Identificar las variables operacionales relevantes de ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular y sus interacciones). .....	41
6.2.1. Análisis de datos exploratorios .....	41
6.2.2. Tendencias de parámetros operacionales con respecto a la remoción de variables respuesta en bibliografía recopilada .....	43
6.3. Resultados asociados al objetivo específico 3 (Analizar la capacidad de remoción de variables respuesta del tratamiento de ozonización seguida de biofiltro de carbón activado granular con diferentes condiciones de las variables operacionales y sus interacciones). .....	54
7. CONCLUSIONES.....	61
8. CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE .....	63
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	64
10. ANEXOS .....	74
ANEXO 1: Ecuaciones y conversiones de medidas.....	74
ANEXO 2: Fichas resúmenes .....	77
ANEXO 3: Tendencias en datos de literatura recopilados de parámetros operacionales vs parámetros respuesta. ....	129

ANEXO 4: Tendencias en datos de literatura recopilados de interacción entre dos parámetros operacionales y variables respuestas. ....	135
---	-----

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos bibliográficos de variables de medición de la materia orgánica (OM) (TOC, DOC, AOC, BDOC, UV254, SUVA, DOC <sub>Mn</sub> ) en agua cruda.....	4
Tabla 2. Datos bibliográficos de variables operacionales y variables respuestas de tratamientos de biofiltro de carbón activado granular (BAC) .....	16
Tabla 3. Datos bibliográficos de variables operacionales y variables respuestas de tratamientos de ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular (O <sub>3</sub> -BAC).17	
Tabla 4. Variables operacionales y variables de respuesta de los tratamientos O <sub>3</sub> -BAC encontradas en algunos estudios. ....	22
Tabla 5. Resumen de tendencias de parámetros operacionales con respecto a variables respuestas. ....	49
Tabla 6. Resumen de tendencias de dos parámetros operacionales con respecto a variables respuestas. ....	52
Tabla 7. Información de la literatura de diversos valores de EBCT utilizados y resultados obtenidos. ....	59

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Resumen de datos en literatura de límites de concentraciones de AOC y BDOC para considerar el agua biológicamente estable.....	7
Figura 2. Diagrama de flujo PRISMA en cuatro niveles .....	21
Figura 3. Diagrama de flujo siguiendo el modelo PRISMA en cuatro niveles de búsqueda bibliométrica. ....	28
Figura 4. Registro de autores que participan en artículos seleccionados. ....	30
Figura 5. Registro de artículos según año de publicación de los artículos seleccionados.....	31
Figura 6. Registro de artículos según categorías de Web of Science.....	32
Figura 7. Registros de artículos según países en artículos seleccionados. ....	33
Figura 8. Co-ocurrencia de la red de palabras clave.....	34
Figura 9. Principales palabras claves.....	34
Figura 10. Número de variables respuesta en afluente del proceso de ozonización reportadas en los estudios seleccionados para investigación bibliométrica. ....	36
Figura 11. Número de variables respuesta en afluente del proceso de biofiltración con carbón activado granular reportadas en los estudios seleccionados para la investigación bibliométrica.....	37
Figura 12. Número de variables respuesta en efluente del proceso biofiltración con carbón activado granular reportadas en los estudios de los artículos seleccionados.	
39	
Figura 13. Número de parámetros operacionales del proceso ozonización reportadas en los estudios de los artículos seleccionados.....	39
Figura 14. Número de parámetros operacionales del proceso biofiltración con carbón activado granular reportados en los estudios de los artículos seleccionados. ....	40

Figura 15. Número de parámetros operacionales de O <sub>3</sub> -BAC recopilados de los 30 estudios seleccionados para análisis exploratorio.....	43
Figura 16. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de DOC o TOC del proceso O <sub>3</sub> -BAC vs dosis de ozono aplicada en proceso de ozonización previo a la biofiltración con carbón activado granular. ....	45
Figura 17. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de UV254 del proceso O <sub>3</sub> -BAC vs dosis de ozono aplicada en proceso de ozonización previo a la biofiltración con carbón activado granular. ....	46
Figura 18. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de UV254 del proceso O <sub>3</sub> -BAC vs dosis de ozono aplicada en proceso de ozonización previo a la biofiltración con carbón activado granular, sin valores supuestos como atípicos..	48
Figura 19. <b>a)</b> gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs tiempo de contacto con lecho vacío vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O <sub>3</sub> -BAC; <b>b)</b> gráfico de contorno de dosis de ozono vs tiempo de contacto con lecho vacío vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O <sub>3</sub> -BAC; <b>c)</b> gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs tiempo de contacto con lecho vacío vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O <sub>3</sub> -BAC; <b>d)</b> gráfico de contorno de dosis de ozono vs tiempo de contacto con lecho vacío vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O <sub>3</sub> -BAC.....	51
Figura 20. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de DOC o TOC del proceso O <sub>3</sub> -BAC vs tiempo de contacto con lecho vacío (EBCT) utilizado en la biofiltración con carbón activado granular .....	129
Figura 21. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de UV254 del proceso O <sub>3</sub> -BAC vs tiempo de contacto con lecho vacío (EBCT) utilizado en la biofiltración con carbón activado granular .....	130
Figura 22. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de DOC o TOC del proceso O <sub>3</sub> -BAC vs profundidad de lecho GAC utilizado en la biofiltración con carbón activado granular.....	131

Figura 23. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de UV254 del proceso O <sub>3</sub> -BAC vs profundidad de lecho GAC utilizado en la biofiltración con carbón activado granular.....	131
Figura 24. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de DOC o TOC del proceso O <sub>3</sub> -BAC vs velocidad de filtración utilizada en la biofiltración con carbón activado granular.....	132
Figura 25. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de UV254 del proceso de tratamiento O <sub>3</sub> -BAC vs velocidad de filtración utilizada en la biofiltración con carbón activado granular.....	132
Figura 26. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de DOC o TOC del proceso de tratamiento de agua potable O <sub>3</sub> -BAC vs caudal utilizado en la biofiltración con carbón activado granular. ....	133
Figura 27. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de UV254 del proceso de tratamiento de agua potable O <sub>3</sub> -BAC vs caudal utilizado en la biofiltración con carbón activado granular.....	134
Figura 28. <b>a)</b> gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs profundidad del lecho GAC vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O <sub>3</sub> -BAC; <b>b)</b> gráfico de contorno de dosis de ozono vs profundidad del lecho GAC vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O <sub>3</sub> -BAC; <b>c)</b> gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs profundidad del lecho GAC vs r porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O <sub>3</sub> -BAC; <b>d)</b> gráfico de contorno de dosis de ozono vs profundidad del lecho GAC vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O <sub>3</sub> -BAC. ....	136
Figura 29. <b>a)</b> gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O <sub>3</sub> -BAC; <b>b)</b> gráfico de contorno de dosis de ozono vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O <sub>3</sub> -BAC; <b>c)</b> gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de UV254 en O <sub>3</sub> -BAC;	

**d)** gráfico de contorno de dosis de ozono vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de UV254 en O<sub>3</sub>-BAC. .... 138

Figura 30. **a)** gráfico de dispersión con superficie 3D de EBCT vs profundidad de lecho GAC vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **b)** gráfico de contorno de EBCT vs profundidad de lecho GAC vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **c)** gráfico de dispersión con superficie 3D de EBCT vs profundidad de lecho GAC vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **d)** gráfico de contorno de EBCT vs profundidad de lecho GAC vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O<sub>3</sub>-BAC. .... 140

Figura 31. **a)** gráfico de dispersión con superficie 3D de EBCT vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O<sub>3</sub>-BAC; **b)** gráfico de contorno de EBCT vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O<sub>3</sub>-BAC; **c)** gráfico de dispersión con superficie 3D de EBCT vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de UV254 en O<sub>3</sub>-BAC; **d)** gráfico de contorno de EBCT vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de UV254 en O<sub>3</sub>-BAC.

141

Figura 32. **a)** gráfico de dispersión con superficie 3D de profundidad de lecho GAC vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en proceso O<sub>3</sub>-BAC; **b)** gráfico de contorno de profundidad de lecho GAC vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en proceso O<sub>3</sub>-BAC; **c)** gráfico de dispersión y superficie 3D de profundidad de lecho GAC vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de UV254 en proceso O<sub>3</sub>-BAC; **d)** gráfico de contorno de profundidad de lecho GAC vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de UV254 en proceo O<sub>3</sub>-BAC. .... 143

Figura 33. **a)** gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O<sub>3</sub>-BAC; **b)** gráfico de contorno de dosis de ozono vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O<sub>3</sub>-BAC; **c)** gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs caudal vs porcentaje de

remoción de UV254 en O <sub>3</sub> -BAC; <b>d)</b> gráfico de contorno de dosis de ozono vs caudal vs porcentaje de remoción de UV254 en O <sub>3</sub> -BAC.....	144
Figura 34. <b>a)</b> gráfico de dispersión con superficie 3D de EBCT vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O <sub>3</sub> -BAC; <b>b)</b> gráfico de contorno de EBCT vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O <sub>3</sub> -BAC; <b>c)</b> gráfico de dispersión con superficie 3D de EBCT vs caudal vs porcentaje de remoción de UV254 en O <sub>3</sub> -BAC; <b>d)</b> gráfico de contorno de dosis de EBCT vs caudal vs porcentaje de remoción de UV254 en O <sub>3</sub> -BAC. ....	146
Figura 35. <b>a)</b> gráfico de dispersión con superficie 3D de profundidad de lecho GAC vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O <sub>3</sub> -BAC; <b>b)</b> gráfico de contorno de profundidad de lecho GAC vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O <sub>3</sub> -BAC; <b>c)</b> gráfico de dispersión con superficie 3D de profundidad de lecho GAC vs caudal vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O <sub>3</sub> -BAC; <b>d)</b> gráfico de contorno de profundidad de lecho GAC vs caudal vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O <sub>3</sub> -BAC. ....	147
Figura 36. <b>a)</b> gráfico de dispersión con superficie 3D de velocidad de filtración vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O <sub>3</sub> -BAC; <b>b)</b> gráfico de contorno de velocidad de filtración vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O <sub>3</sub> -BAC; <b>c)</b> gráfico de dispersión con superficie 3D de velocidad de filtración vs caudal vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O <sub>3</sub> -BAC; <b>d)</b> gráfico de contorno velocidad de filtración vs caudal vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O <sub>3</sub> -BAC.....	148

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradezco a la profesora Ana Carolina Baeza y profesor Alfred Rossner, quienes con paciencia y sus conocimientos me brindaron las herramientas necesarias para desarrollar la presente tesis. Gracias por sus orientaciones en todo momento, en especial cuando no salían de mi pensamiento las ideas para escribir lo que hoy he logrado. Y a todos los profesores que estuvieron presentes a lo largo de este proceso universitario entregando el conocimiento para finalizar cada etapa de la carrera ingeniería ambiental.

Asimismo, quiero agradecer a mis padres y hermanas, quienes estuvieron siempre a mi lado, siendo mi mayor apoyo, tanto en los estudios como en la vida, impulsándome a cumplir cada meta propuesta.

## **NOMENCLATURA<sup>1</sup>**

<b>AOC</b>	Carbono orgánico asimilable
<b>AOP's</b>	Procesos de oxidación avanzada
<b>BAC</b>	Biofiltración con carbón activado granular
<b>BDOC</b>	Carbono orgánico disuelto biodegradable
<b>BDON</b>	Nitrógeno orgánico disuelto biodegradable
<b>BOC</b>	Carbón orgánico biodegradable
<b>BOD</b>	Demanda biológica de oxígeno (dentro de 5 días)
<b>BOM</b>	Materia orgánica biodegradable
<b>DBP</b>	Subproductos de desinfección
<b>DBP FPs</b>	Potencial de formación de subproductos de desinfección
<b>DCAcAm FP</b>	Potencial de formación de dicloroacetamida
<b>DOC</b>	Carbono orgánico disuelto
<b>DOC5</b>	Demanda química de oxígeno (dentro de 5 días)
<b>DOC<sub>Mn</sub></b>	Demanda química de oxígeno por titulación de KMnO <sub>4</sub>
<b>DOM</b>	Materia orgánica disuelta
<b>DON</b>	Nitrógeno orgánico disuelto
<b>EBCT</b>	Tiempo de contacto con el lecho vacío granular
<b>HAA FP</b>	Potencial de formación de ácidos haloacéticos

---

<sup>1</sup> Toda nomenclatura del presente informe utiliza siglas en inglés como las definidas en este apartado.

<b>HLR</b>	Tasa de carga hidráulica
<b>MW</b>	Peso molecular
<b>NBDOC</b>	Carbono orgánico disuelto no biodegradable
<b>N-CL-DCAM FP</b>	Potencial de formación de N-cloro-2,2-dicloroacetamida
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N</b>	Amonio
<b>NOM</b>	Materia orgánica natural
<b>NPDOC</b>	Carbono orgánico disuelto no purgable
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozono
<b>O<sub>3</sub>-BAC</b>	Ozonización seguida de biofiltración de carbón activado
<b>OM</b>	Materia orgánica
<b>POC</b>	Carbono orgánico particulado
<b>PRISMA</b>	Técnicas de Revisiones Sistemáticas y Meta-Análisis
<b>SS</b>	Solidos suspendidos
<b>SUVA</b>	Absorbancia UV específica
<b>T°</b>	Temperatura
<b>TCNM FP</b>	Potencial de formación de tricloronitrometano
<b>THM FP</b>	Potencial de formación de trihalometanos
<b>TOC</b>	Carbono orgánico total
<b>UV254</b>	Absorbancia ultravioleta a 254 nm

## RESUMEN

El tratamiento de ozonización seguida de biofiltración con carbón activado granular se utiliza para producir agua potable biológicamente estable, para que la eficiencia de este proceso sea óptima, se deben analizar diferentes parámetros operacionales.

Los estudios referentes a la tecnología de tratamiento de agua potable por ozonización seguida de biofiltración con carbón activado granular han investigado sobre la eficiencia de este proceso a través de una mejor comprensión de su funcionamiento y limitaciones operacionales.

En esta investigación se realizó una revisión de artículos encontrados principalmente en la literatura de la base de datos bibliográficos Web of Science. Esta búsqueda se centró en los parámetros operacionales más relevantes que influyen en la eficiencia de la ozonización seguida de la biofiltración con carbón activado granular, tales como la dosis de ozono, el tiempo de contacto con el lecho vacío (EBCT, por su sigla en inglés), la profundidad de lecho, la velocidad de filtración y el caudal (flujo volumétrico). Además, se realizó una comparación de los datos numéricos recopilados de parámetros operacionales a partir de la información en la literatura a través de un análisis de la influencia de los parámetros operacionales y la eficiencia del proceso.

Los parámetros encontrados con mayor información y que influyen en la eficiencia del proceso fueron la dosis de ozono y el tiempo de contacto con el lecho vacío.

Faltan investigaciones en base de datos que recopilen información y examinen con mayor profundidad los parámetros operacionales que podrían influir en la eficiencia del proceso de ozonización seguido de biofiltración de carbón activado granular como, el tiempo de retención hidráulico, el volumen del medio filtrante y el comportamiento de los microorganismos dentro del biofiltro.

## 1. INTRODUCCIÓN

El agua potable limpia se reconoce como un derecho fundamental de los seres humanos y juega un papel importante en el mantenimiento de la salud y bienestar humano (Rahmanian, 2015).

Proporcionar agua potable limpia se ha hecho una tarea difícil en el tiempo debido a que los recursos de agua dulce mundiales están cada vez más contaminados con residuos orgánicos, patógenos, fertilizantes, pesticidas, metales pesados y contaminantes emergentes (ONU-Agua, 2019). Esto impone nuevas demandas a los procesos de tratamientos de agua potable y su calidad, la cual puede verse amenazada por diferentes parámetros (Greenstein et al., 2018).

La materia orgánica (OM) es uno de estos parámetros, la cual se define como una mezcla heterogénea de partículas y componentes con amplios rangos en peso molecular (MW) y grupos funcionales, que varían de una fuente a otra (Zularisam et al., 2007). Su presencia en el agua para consumo humano puede provenir de tres fuentes: materia orgánica natural (NOM), materia introducida por actividades antrópicas, y por compuestos añadidos o formados por las reacciones químicas durante el tratamiento y distribución del agua (Campos et al., 2016). Esta influye en la calidad y la capacidad del tratamiento del agua, al afectar el olor, sabor, color, proporcionar material precursor para la formación de subproductos de desinfección (DBP), puede actuar como sustrato para el crecimiento bacteriano y movilizar metales tóxicos y otros contaminantes orgánicos (Chaukura et al., 2020; Volk y LeChevallier, 2002).

Existen diversos parámetros para caracterizar la concentración, la naturaleza y la reactividad de la materia orgánica natural (NOM). Entre ellas se encuentran el carbono orgánico total (TOC), el carbono orgánico disuelto (DOC), absorbancia

ultravioleta a 254 nm (UV254), absorbancia UV específica (SUVA) y la demanda química de oxígeno ( $\text{DOC}_{\text{Mn}}$ )<sup>2</sup> (Archer et al., 2006).

El carbono orgánico total (TOC), es la medición del contenido total de carbono orgánico del agua, se subdivide en carbono orgánico disuelto (DOC) que es el carbono orgánico presente luego de pasar por un filtro de 0,45  $\mu\text{m}$  y carbono orgánico particulado (POC) que es la fracción retenida en el filtro.

Además, el DOC se divide en la DOC biodegradable (BDOC) que mide la fracción de DOC que puede ser potencialmente degradada por el metabolismo microbiano y el carbono orgánico asimilable (AOC) que mide el DOC que es biodegradable y rápidamente asimilado por los microorganismos heterotróficos (Campos et al., 2016).

Por lo general, el AOC comprende una fracción del TOC entre 0,1 y 9,0% según Van der kooij, (1990), y el BDOC comprende una fracción del DOC entre 10-30% (Escobar y Randall, 2001). Además, según Chris et al, (2005), el AOC representa una pequeña fracción del BDOC, siendo generalmente inferior al 10% del BDOC en el agua (Ortiz, 2015).

La absorbancia ultravioleta a 254 nm (UV254) es un parámetro de prueba de calidad de agua que proporciona una medición de la materia orgánica. Las sustancias orgánicas absorben la luz UV a esa longitud de onda, detectando los compuestos orgánicos, específicamente aquellos que contienen anillos aromáticos o enlaces de carbono insaturados (dobles o triples) en su estructura molecular (Albrektiene et al., 2012).

La absorbancia UV específica (SUVA) proporciona una caracterización general de la naturaleza de la materia orgánica natural (NOM). Es definida como UV254 normalizada con respecto a DOC. Y se calcula dividiendo la absorbancia UV a 254

---

<sup>2</sup> Informe utiliza siglas en inglés por sus iniciales como: TOC, DOC, UV254, SUVA y  $\text{DOC}_{\text{Mn}}$ , TOC: Total organic carbon; DOC: Dissolved organic carbon; UV254: Ultraviolet absorbance at 254 nm; SUVA: Specific ultraviolet absorbance at 254 nm y  $\text{DOC}_{\text{Mn}}$ : Chemical oxygen demand.

nm (UV254) por el carbono orgánico disuelto (DOC). Un SUVA alto indica mayores concentraciones de TOC y dado que los compuestos orgánicos aromáticos tienen una mayor tendencia a reaccionar con los desinfectantes para crear DBP, indica que existe mayor potencial para la formación de subproductos de desinfección (DBP FPs) (Archer et al., 2006).

La demanda química de oxígeno ( $\text{DOC}_{\text{Mn}}$ ) mide la cantidad de oxígeno cedido por el oxidante permanganato de potasio para consumir los cuerpos oxidables del agua (orgánicos e inorgánicos), esta es una forma común pero menos precisa que el TOC de determinar la cantidad de materia orgánica en el agua (Albrektiene et al., 2012).

Como se puede observar en la Tabla 1, existe un amplio rango de valores de los parámetros de medición de materia orgánica disuelta (DOM) antes mencionados en las aguas superficiales ya sean ríos, lagos, embalses o en aguas subterráneas utilizadas para producir agua potable, esto se debe a que la cantidad, el carácter y las propiedades de NOM difieren considerablemente en aguas de diferentes orígenes y dependen de los ciclos biogeoquímicos de los entornos circundantes, incluso la NOM en un mismo lugar puede variar estacionalmente (Matilainen et al., 2010).

Tabla 1. Datos bibliográficos de variables de medición de la materia orgánica (OM) (TOC, DOC, AOC, BDOC, UV254, SUVA, DOC<sub>Mn</sub>) en agua cruda.

Tipo de agua	TOC (mg/L)	DOC (mg/L)	AOC (ug/L)	BDOC (mg/L)	UV254 (1/m)	SUVA (L/mg*m)	DOC <sub>Mn</sub> (mg/L)	Referencia
Río Amarillo	6,45-6,63	-	178-183	0,97-1,05	11,6-12,8	-	5,6-6	Chen et al., 2007
Lago Taihu, China	-	3,35-7,86	-	-	4,9-12,7	1,41-1,82	-	Zheng et al., 2018
Río Huangpu, Shanghai	-	3,64-5,27	-	-	10,9-12,8	-	5,24-6,33	Lou et al., 2009
Agua subterránea del centro de Banat, República de Serbia	-	6,41-9,85	-	-	44,2-52,0	4,97-6,96	-	Tubic et al., 2011
Lago Terkos, Estambul	3,81-8,47	3,02-7,45	-	-	6,2-19,4)	2,15-3,58	-	Uyak et al., 2008
Embalse Galhenteich, Alemania (Media ± DS)	-	7,9 ±0,2	12,9	2±0,3	40±2,0	5,1±0,64	-	Vasyukova et al., 2013
Río Edo, Tokio, Japón (Media)	1,17	1,04	-	-	-	2,5	-	Phungsai et al., 2018

Es necesario realizar la caracterización de la NOM en el agua cruda con estos parámetros ya que son parámetros comúnmente utilizados para evaluar la calidad del agua por las plantas de tratamientos, en su control de calidad y conocer el tratamiento adecuado a utilizar, ya que la NOM tiene influencia significativa en la selección, diseño y operación de los procesos de tratamiento de agua, cambiando la eficiencia de los procesos unitarios, la aplicación de productos químicos para el tratamiento de agua potable y la estabilidad biológica.

La estabilidad biológica en el agua potable es el agua potable que no promueve el crecimiento de microorganismos durante su distribución (Charnock y Kjonno, 2000).

La inestabilidad biológica resulta de la presencia de pequeñas cantidades de materia orgánica biodegradable (BOM), que proporciona una fuente para el recrecimiento microbiano en el sistema de distribución, lo que contribuye a una aceleración de la corrosión y puede reaccionar con desinfectantes para producir DBPs y perjudicar la calidad del agua (Terry y Summers, 2018; Campos et al., 2016).

Olson y Hanami, (1980); Van der Kooij, (1992) y Van der Kooij et al., (1982) han demostrado que las medidas de DOC o TOC no son fiables para predecir el crecimiento microbiano (Charnock y Kjonno, 2000).

En este sentido, Van der Kooij (2000) destacó el carbono orgánico asimilable (AOC) como parámetro de la estabilidad biológica (Hammes et al., 2010), al igual que Rittmann y Snoeyink (1984) y Van der Kooij et al., (1982) (Charnock y Kjonno, 2000).

Los primeros estudios de Van der Kooij (Van der Kooij, 1984; Van der Kooij et al., 1989) mostraron que se obtenía un alto grado de estabilidad biomolecular a medida que el AOC<sub>native</sub> (P17)<sup>3</sup> en el agua bruta importada se acercaba a 10 mg C/L (Charnock y Kjonno, 2000).

---

<sup>3</sup> Unidades de AOC son equivalentes de carbono derivados del crecimiento de las cepas de ensayo en fuentes de carbono modelado. Los valores de AOC se determinan con el crecimiento de las cepas de NOX de Sirilum y de P17 *Pseudomonas fluorescens*. AOC<sub>native</sub> P17 se refiere al valor estándar de AOC usan solo el organismo de ensayo P17 en el estudio (Charnock y Kjonno, 2000).

Van der Kooji (1982) demostró que las bacterias heterótrofas en un sistema no clorado aumentan cuando AOC es inferior a 10 mg/L (Escobar y Randall, 2001).

En particular, Van der Kooij (2000) propuso una concentración de AOC inferior a 10 ug/L para la estabilidad biológica del agua no clorada (Hammes et al., 2010).

LeChevallier et al. (1991) ha sugerido que los niveles de AOC deben ser inferiores a 50 ug C/L para evitar el rebrote bacteriano para aguas de los Estados Unidos (Bradford, et al., 1994).

Y Van der Kooij e Hijnen (1990) demostraron que los niveles de AOC deben ser inferiores a 10 ugC/L para obtener agua biológicamente estable en los Países Bajos (Bradford, et al., 1994).

El BDOC también se ha relacionado con la estabilidad biológica del agua potable, en estudios de Servais et al., (1993), Volk et al., (1994) (Escobar y Randall, 2021), Escobar y Randall (2001) y Laurent et al., (2005) (Hammes et al., 2010).

Servais et al. (1993) han asociado la estabilidad biológica, como la ausencia de consumo de BDOC dentro del sistema de distribución, con una concentración de BDOC de 0,16mg/L o menos en el agua tratada, incluso en ausencia de desinfectante.

Por otro lado, Volk et al. (1994) determinaron un valor de BDOC de 0,15mg/L a 20°C y 0,30mg/L a 15°C para la bioestabilidad (Escobar y Randall, 2021).

Además, Volk, et al. (1994) y otros autores han propuesto que un BDOC de 1 mg C/L es equivalente a un AOC de 100-140 ug C/L (Charnock y Kjonno, 2000).

Considerando estudios anteriores, en su gran mayoría concuerdan en que la concentración de AOC para obtener agua biológicamente estable debía ser inferior a 10 ugC/L. Concluyendo que la remoción de AOC es esencial y contribuye a la estabilidad biológica del agua, reduciendo la probabilidad de un nuevo crecimiento bacteriano indeseable en el sistema de distribución de agua (Velten et al., 2011).

En cambio, en estudios de BDOC existen diferentes resultados, por lo tanto, existe un desacuerdo en cuanto al papel del BDOC como medida de la estabilidad biológica. (Escobar y Randall, 2001). Aun así, es parte de la BOM, la cual es evaluada y controlada por las plantas de agua potable (Terry y Summers, 2018).

La Figura 1 ilustra un resumen de las concentraciones límites de AOC y BDOC según diferentes autores en artículos para la obtener agua biológicamente estable.

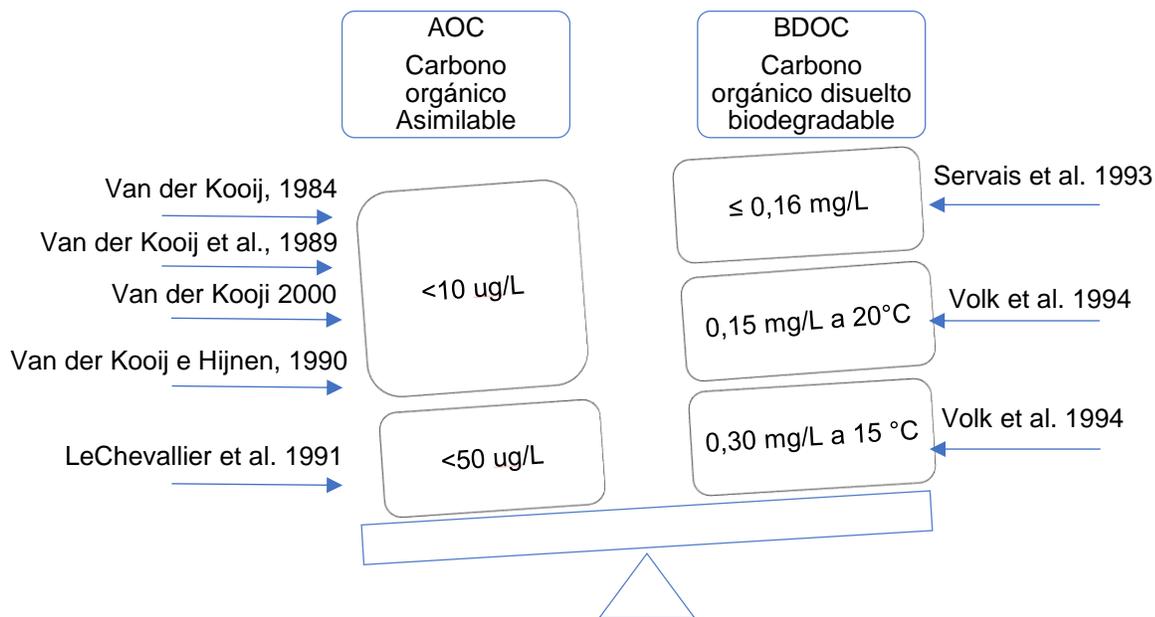


Figura 1. Resumen de datos en literatura de límites de concentraciones de AOC y BDOC para considerar el agua biológicamente estable.

Las plantas de tratamiento de agua potable se consideran un diseño integrado de procesos individuales, en el cual el efluente de un proceso se convierte en el afluente del proceso posterior (Boccelli et al., 2004). Estas tienen como objetivos inactivar organismos indeseables, eliminar microcontaminantes, mejorar los aspectos estéticos (turbidez, sabor y olor) y prevenir el crecimiento bacteriano durante la distribución del agua potable (Campos et al., 2016; Prest et al., 2016), para esto las plantas de tratamiento de agua potable utilizan diferentes combinaciones y métodos de tratamientos. Es habitual encontrar en una planta de

tratamiento de agua potable procesos convencionales los que generalmente corresponden a coagulación, floculación, sedimentación filtración, desinfección o una combinación entre estos (Chaukura et al., 2020).

- **Coagulación, floculación y sedimentación:** La coagulación consisten en adicionar un reactivo químico coagulante (por ejemplo:  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$  o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) que neutralizan las cargas negativas de las partículas en suspensión, permitiendo la formación de micropartículas, estas micropartículas chocan entre sí y forman estructuras más grandes (flóculos) en el **proceso de floculación**, estos flóculos tienen características claves para la separación de solidos/líquidos, los cuales se podrían eliminar aplicando posterior un **tratamiento de sedimentación** donde los sólidos suspendidos caen por gravedad al fondo del tanque que contiene el agua (Chew et al., 2016). La coagulación, floculación y sedimentación eliminan principalmente la fracción orgánica hidrófoba y las moléculas grandes de la materia orgánica (Volk y LeChevallier, 2002). Reduciendo la turbidez, el color y eliminado patógenos (Matilainen et al., 2010).
- **Filtración:** Consiste principalmente en la remoción de solidos suspendidos, haciendo pasar las aguas por un medio granular que por lo general pueden ser arena, antracita o carbón activado. Las partículas pueden eliminarse por tensión intersticial, pero las partículas más pequeñas deben transportarse a las superficies del medio, donde un mecanismo de unión como la atracción electrostática, el enlace químico o la adsorción retiene las partículas. Este proceso maximiza la eliminación de materia orgánica (Homem y Santos, 2011; Volk y LeChevallier, 2002)
- **Desinfección:** Barrera final contra los patógenos transmitidos por el agua y desempeña un papel fundamental para garantizar la seguridad del agua suministrada (Asami et al., 2016).

Los procesos que se mencionan típicamente como “convencionales” tienen una eficiencia de eliminación de NOM de aproximadamente un 30%, estos tratamientos son ineficientes para eliminar algunas fracciones específicas de NOM, como los precursores de subproductos de desinfección y los productos químicos orgánicos sintéticos (Han et al., 2013). Por esto se busca mejorar estos tratamientos y surgen nuevas alternativas y métodos de tratamientos no convencionales, en los cuales se combinan algunos tratamientos convencionales con oxidación u oxidación avanzada.

- **Oxidación:** Los procesos de oxidación asociados en los tratamientos de aguas naturales para la producción de agua potable pueden ser utilizados en varios puntos a lo largo del tratamiento, estos pueden ser como preoxidación, oxidación intermedia o desinfección final, lo cual causa numerosos efectos, entre estos se encuentra la eliminación de especies inorgánicas, ayuda al proceso de coagulación-floculación, degradación de la materia orgánica y desinfección (Camel y Bermond, 1998). La oxidación se puede realizar con ozono ( $O_3$ ), dióxido de cloro, cloro, cloraminas y permanganato (Campos et al., 2016; Terry y Summers, 2018).
- **Oxidación avanzados (AOP's):** Los procesos de oxidación avanzada (AOP'ss) se definen como pasos de tratamiento que generan radicales libres de hidroxilo ( $OH^*$ ) y proporcionan una oxidación más eficaz. Han sido propuestos como una adecuada alternativa para transformar y degradar compuestos recalcitrantes, es decir, compuestos que son difícilmente biodegradables. Variados AOP's han sido estudiados para el tratamiento de aguas, entre estos se encuentran los procesos de Fenton y Foto-Fenton, la combinación de ozono con peróxido de hidrógeno (Sidhu et al., 2018), entre otros. Las principales ventajas de los AOP's en el tratamiento de especies difíciles de biodegradar, es la rápida transformación que generan del contaminante para lograr ser removidos por métodos convencionales (Mingo, 2018).

Los procesos de desinfección y oxidación se emplean a menudo para estabilizar la calidad biológica del agua tratada, eliminar el color y el olor o inactivar patógenos (Benner et al., 2013). Los oxidantes reaccionan con la OM aumentando la parte biodegradable al producir moléculas más lábiles, es decir, transforman moléculas de DOM de mayor tamaño a moléculas de menor tamaño, aumentando los niveles de AOC, este aumento de AOC puede implicar un aumento de microorganismos en el sistema debido a que el AOC puede actuar como sustrato para su crecimiento y mantención. Por demás, oxidantes como el ozono proporciona grandes cantidades de oxígeno al agua, usando este oxígeno como aceptor terminal de electrones, lo que ayuda al crecimiento de estos. Por lo que, el uso de oxidantes puede traer consigo el aumento de microorganismos en los suministros de agua y con esto, un aumento de la inestabilidad biológica en el agua potable (Terry y Summers, 2018; Campos et al., 2016; Prest et al., 2016). Por lo que estos procesos de oxidación suelen ir acompañados de un tratamiento adicional como la filtración de arena, carbón activado granular o filtración biológica (Camel y Bermond, 1998; von Gunten, 2003).

La filtración biológica o biofiltración es el proceso en el que los microorganismos se acumulan en la superficie de un medio granular, como arena, antracita o carbón activado, debido a la disponibilidad de sustratos biodegradables. Los microorganismos realizan la biofiltración utilizando enzimas para catalizar reacciones de oxidación-reducción, que resultan en la biodegradación de materia orgánica y compuestos difícilmente biodegradables. A través de estas reacciones, los microorganismos obtienen energía para el mantenimiento y la reproducción celular (Campos et al., 2016). Utilizando comúnmente la biofiltración para disminuir el carbono orgánico asimilable (AOC), el carbono orgánico total (TOC), eliminar compuestos de sabor y olor, eliminar precursores de subproductos de desinfección (DBP) y establecer agua biológicamente estable (Greenstein et al., 2018).

Este estudio se centra en la biofiltración con carbón activado granular (BAC) por su potencial para reducir la inestabilidad biológica del agua (Campos et al., 2016).

Aunque la eficiencia de eliminación de DOC del BAC como tecnología de tratamiento independiente es baja (menos del 20 %), debido a que el BAC no puede metabolizar todas las formas de carbono, especialmente el carbono complejo, recalcitrante y no biodegradable (Tak y Vellanki, 2020), por lo que se investigó sobre la ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular (O<sub>3</sub>-BAC).

Los beneficios de utilizar un proceso de O<sub>3</sub> seguido de BAC incluyen la posibilidad de reducir las dosis de cloro al final en el proceso de desinfección, reduciendo la formación de DBP y el crecimiento bacteriano en el sistema de distribución de agua debido a la degradación casi completa del carbono orgánico biodegradable (Tak y Vellanki, 2020).

Estos beneficios ocurren debido a que el ozono es un oxidante fuerte que elimina contaminantes o transforma moléculas de gran tamaño en moléculas más pequeñas de materia orgánica disuelta (DOM), lo que aumenta su biodegradabilidad, facilitando la degradación de DOM por un posterior BAC, debido a que, al aumentar la biodegradabilidad, los microorganismos pueden realizar la biodegradación de la OM con mayor facilidad y en mayor cantidad.

Además, el ozono proporciona grandes cantidades de oxígeno al agua saliente de este proceso (efluente de ozonización), lo que puede proceder en una proliferación de microorganismos en el BAC posterior a la ozonización. Un aumento en los microorganismos en el BAC, conllevaría a un aumento de la biodegradación de la BOM por este proceso (Song, et al., 2015), logrando una mayor eficiencia de eliminación que el BAC como proceso individual.

La eliminación de DOM por el tratamiento O<sub>3</sub>-BAC se ve afectado por las características tanto del agua ozonizada entrante como del biofiltro. Las características del agua final del tratamiento O<sub>3</sub>-BAC varían con los parámetros operacionales de la ozonización como la dosis de ozono aplicada y los parámetros operacionales de BAC, incluido el tiempo de contacto con el lecho vacío (EBCT),

que influye en la eficiencia del biofiltro (Chen et al., 2019) y otros parámetros operacionales del proceso O<sub>3</sub>-BAC.

El conocimiento de los parámetros microbiológicos, tratamientos previos y parámetros operacionales de un biofiltro de carbón biológicamente activado previamente ozonizado, como los antes mencionados, aumenta la comprensión del sistema y la capacidad de operar, para maximizar el potencial del tratamiento O<sub>3</sub>-BAC, lo que puede lograr una optimización del diseño y operación, mejorando el tratamiento del agua potable.

## 2. ANTECEDENTES

A continuación, se definirán algunos parámetros operacionales relacionados con el tratamiento de ozonización seguido de filtración con carbón activado biológicamente (O<sub>3</sub>-BAC).

### Parámetros O<sub>3</sub>

**Dosis O<sub>3</sub>:** La ozonización aumenta la fracción de materia orgánica natural que es biodegradable. Los efectos de ozonización en NOM incluyen la formación de hidroxilo, grupos carbonilo y carboxilo, mayor polaridad e hidrofilia, pérdida de dobles enlaces y aromaticidad, y un cambio en la distribución del peso molecular hacia compuestos de bajo peso molecular (Ufer et al., 1997). Estos cambios en la NOM dependen de la dosis de O<sub>3</sub> aplicada (Basu et al., 2016).

Las dosis de O<sub>3</sub> industriales aplicadas típicamente son de 0,5 gO<sub>3</sub>/gDOC y generalmente conducen a reducciones de absorbancia UV254 de 40% y DOC 8 %. La concentración de BDOC se puede aumentar hasta un 55% en algunos casos. El aumento de BDOC es más importante cuando la dosis de concentración de ozono es alta.

Las dosis de ozono típicamente utilizadas oxidan preferentemente NOM de peso molecular (MW) superiores a 10.000 Da, mientras que dosis intensas de ozono pueden oxidar NOM de MW que van desde 5000 a 10,000 Da. (Trequer et al., 2010).

### Parámetros BAC

**Tiempo de contacto con el lecho vacío (EBCT):** Tiempo que un volumen de lecho de agua permanece en contacto con el adsorbente. Este es un factor importante que se debe considerar durante la etapa de diseño de un BAC. Se puede lograr EBCT más prolongados aumentando el volumen de lecho o reduciendo el caudal a través del filtro (Korotta-Gamage et al., 2017).

**Retrolavado:** El retrolavado influye en la eficiencia de los filtros biológicos a través de varios mecanismos, incluidos el desprendimiento y eliminación de biomasa

(bacterias, protozoos y otros microorganismos), la redistribución de los medios y la biomasa fija asociada y la eliminación de partículas acumuladas (Basu et al., 2016). Principalmente, el retrolavado se logra haciendo pasar agua o una mezcla de agua y/o aire en un flujo ascendente a través del filtro. (Korotta-Gamage et al., 2017), algunas plantas de tratamiento usan agua clorada para el retrolavado (Ufer et al., 1997).

**Tiempo de aclimatación:** Tiempo en el que la operación de un biofiltro alcanza la condición de estado estacionario para la eliminación de contaminantes particulares, es decir, cuando se ha alcanzado un valor máximo de eliminación en estado estacionario de este contaminante. Los periodos de aclimatación necesarios para alcanzar el estado estacionario pueden variar y dependen en gran medida de las características del agua de origen, el medio y la temperatura (Basu et al., 2016).

**Temperatura:** La variabilidad en la temperatura del agua puede afectar el biofiltro, tanto en la cinética microbiana como en la transferencia de masas, debido a que estas son más rápidas a mayor temperatura (Ufer et al., 1997).

**Dirección de flujo:** Existen dos modos de flujo, es decir, el modo en el que entra el agua a tratar a los biofiltros, el ascendente y el descendente, los BAC tienen respuestas diferentes dependiendo de estos, en la pérdida de carga, capacidad de biodegradación y el crecimiento de biomasa.

**Tasa de carga hidráulica (HLR):** También es conocida como tasa de carga superficial, es uno de varios parámetros que afectan la biofiltración. Sin embargo, sus impactos exactos en la biodegradación y eliminación aún requieren investigación. (Basu et al., 2016)

Analizando las siguientes tablas, en la primera (Tabla 2), se presentan datos bibliográficos de variables operacionales y variables respuestas de biofiltros con carbón activado granular (BAC), y en la segunda (Tabla 3), se presentan datos bibliográficos de variables operacionales y variables respuestas de ozonización seguida de biofiltración con carbón activado granular (O<sub>3</sub>-BAC).

Primero se observan algunos de los parámetros operacionales antes mencionados EBCT, tasa carga, modo de flujo, con sus respectivos valores de diferentes estudios bibliográficos, seguido de los porcentajes de remoción de los parámetros para medir la materia orgánica antes indicados, desde aquí en adelante nombrados como variables respuestas.

En la segunda tabla se muestran los mismos parámetros operacionales y variables respuestas, pero con información literaria recopilada para el tratamiento O<sub>3</sub>-BAC, por lo que se incluye algunos parámetros operacionales de la ozonización como la dosis de ozono.

Observando en las tablas (Tablas 2 y 3) como en cada artículo con sus diferentes parámetros operacionales cambian las eficiencias de remoción del proceso tanto BAC como tratamiento individual como las eficiencias de remoción del proceso O<sub>3</sub>-BAC.

Tabla 2. Datos bibliográficos de variables operacionales y variables respuestas de tratamientos de biofiltro de carbón activado granular (BAC)

Estudio	EBCT (min)	tasa de carga (m/h)	modo flujo	TOC (%)	DOC (%)	UV254 (%)	AOC (%)	BDOC (%)	DOC <sub>Mn</sub> (%)	Referencia
Laboratorio 25x2,5cm	15-30	0,6	Ascendente	-	50-65	54	-	-	-	Akcay et al., 2015
Laboratorio 130x5cm	18	-	Descendente	-	38-54	-	-	-	-	Lu et al., 2020.
Piloto 200x25cm	15	-	-	-	-	16	-	72	26,8	Xiang et al., 2013
Piloto 100x10cm		1,0-3,0	-	-	-	-	84,5-93,5		74,4-85,2	Zhang et al., 2010
Piloto 200x6cm	10	-	-	58,9	-	-	-		-	Zhang et al., 2011

\*Datos de porcentajes (%) de DOC, UV254, AOC, BDOC y DOC<sub>Mn</sub> corresponden a porcentajes de remoción de estas variables respuestas.

Tabla 3. Datos bibliográficos de variables operacionales y variables respuestas de tratamientos de ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular (O<sub>3</sub>-BAC).

Estudio	dosis O <sub>3</sub> (mg/L)	EBCT (min)	tasa de carga (m/h)	modo flujo	TOC (%)	DOC (%)	UV254 (%)	AOC (%)	BDOC (%)	DOC <sub>Mn</sub> (%)	Referencia
Piloto 221x40 cm	1	15	8	Ascendente	-	65,1	67,3	-	-	45,1	Liao et al., 2013
Piloto 400x60 cm	2,5	-	4	-	40,1	-	63,06	36,36	28	43,97	Chen et al., 2007
Laboratorio	1,64 mgO <sub>3</sub> / mgTOC	2,4	-	Descendente	42,89	-	9,2	-	-	-	Seredynska- Sobeck et al., 2006
Real	0,57	14	-	-	18,87	22,33	-	-	-	-	Phungsai et al., 2018
Piloto 450x30 cm	0,5	-	8	-	-	14,67	36,84	-	-	29,87	Yang et al., 2017
Piloto 450x30 cm	3	-	8	-	-	29,36	64,47	-	-	42,77	Yang et al., 2017

\*Datos de porcentajes (%) de DOC, UV254, AOC, BDOC y DOC<sub>Mn</sub> corresponden a porcentajes de remoción de estas variables respuestas.

Teóricamente como se mencionó anteriormente, el O<sub>3</sub> podría mejorar la eficiencia de remoción de la materia orgánica por el hecho de degradar moléculas más grandes a más pequeñas y lograr que el agua sea más biodegradable para una eficiencia de remoción mayor por parte del BAC, sin embargo, se puede observar que los rangos de los valores de cada porcentaje de eliminación varían bastante entre sí, mientras cambian los parámetros operacionales.

Estos y otros parámetros operacionales son de importancia para la operación del proceso de tratamiento de agua potable O<sub>3</sub>-BAC, por esto existe interés en investigar como los parámetros operacionales influyen en la eficiencia del proceso O<sub>3</sub>-BAC. Por lo que se presenta la siguiente pregunta de investigación.

### **3. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN**

De acuerdo a revisión bibliográfica ¿Cómo influyen los parámetros operacionales en la remoción de materia orgánica del tratamiento de agua potable ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular (O<sub>3</sub>-BAC)?

### **4. OBJETIVOS**

#### **4.1. Objetivo general**

Analizar las variables operacionales y sus interacciones en la eficiencia del tratamiento de ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular para producir agua potable.

#### **4.2. Objetivos específicos**

- Establecer una base de datos de variables operacionales y eficiencias de ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular.
- Identificar las variables operacionales relevantes de ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular y sus interacciones.
- Analizar la capacidad de remoción de variables respuesta del tratamiento de ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular con diferentes condiciones de las variables operacionales y sus interacciones.

## 5. METODOLOGIA

### 5.1. Objetivo específico 1: Establecer una base de datos de variables operacionales y eficiencias de ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular.

Se realizó una revisión bibliográfica para obtener las variables operacionales del proceso de tratamiento de agua potable ozonización seguida de biofiltración con carbón activado. El propósito de esto fue encontrar información suficiente para sistematizarla y elaborar una base de datos.

Se llevo a cabo una búsqueda bibliométrica de la literatura científica, en base al material disponible sobre ozonización seguida de biofiltro de carbón activado para agua potable y sus parámetros operacionales. Para su elaboración, se siguieron las directrices de la declaración “Técnicas de Revisiones Sistemáticas y Meta-Análisis” (PRISMA), que constan de un proceso de cuatro niveles independientes: identificación, selección, elegibilidad e inclusión (Molins *et al.*, 2019).

La fase de identificación comenzó con una búsqueda literaria. La literatura a la que se acudió pertenece a la base de datos de la Universidad de Concepción, con el servicio en línea de investigaciones científicas de Web of Science. Se utilizaron las palabras claves “biological activated carbon in drinking water”, “biological activated carbon”, “ozonation” y “O3-BAC”.

Esta búsqueda entrego una cantidad de artículos “N”, de estos “N” artículos se seleccionaron cuáles eran aptos para la investigación, para esto, se definieron criterios de inclusión y exclusión. Finalmente, los artículos seleccionados por cumplir los criterios de inclusión y no fueron eliminados por los criterios de exclusión, son los que se utilizaron para la revisión sistemática.

Se resume la búsqueda de datos bibliográficos guiado por el diagrama de flujo PRISMA del 2009 de Molins *et al.*, (2019) (Figura 2).

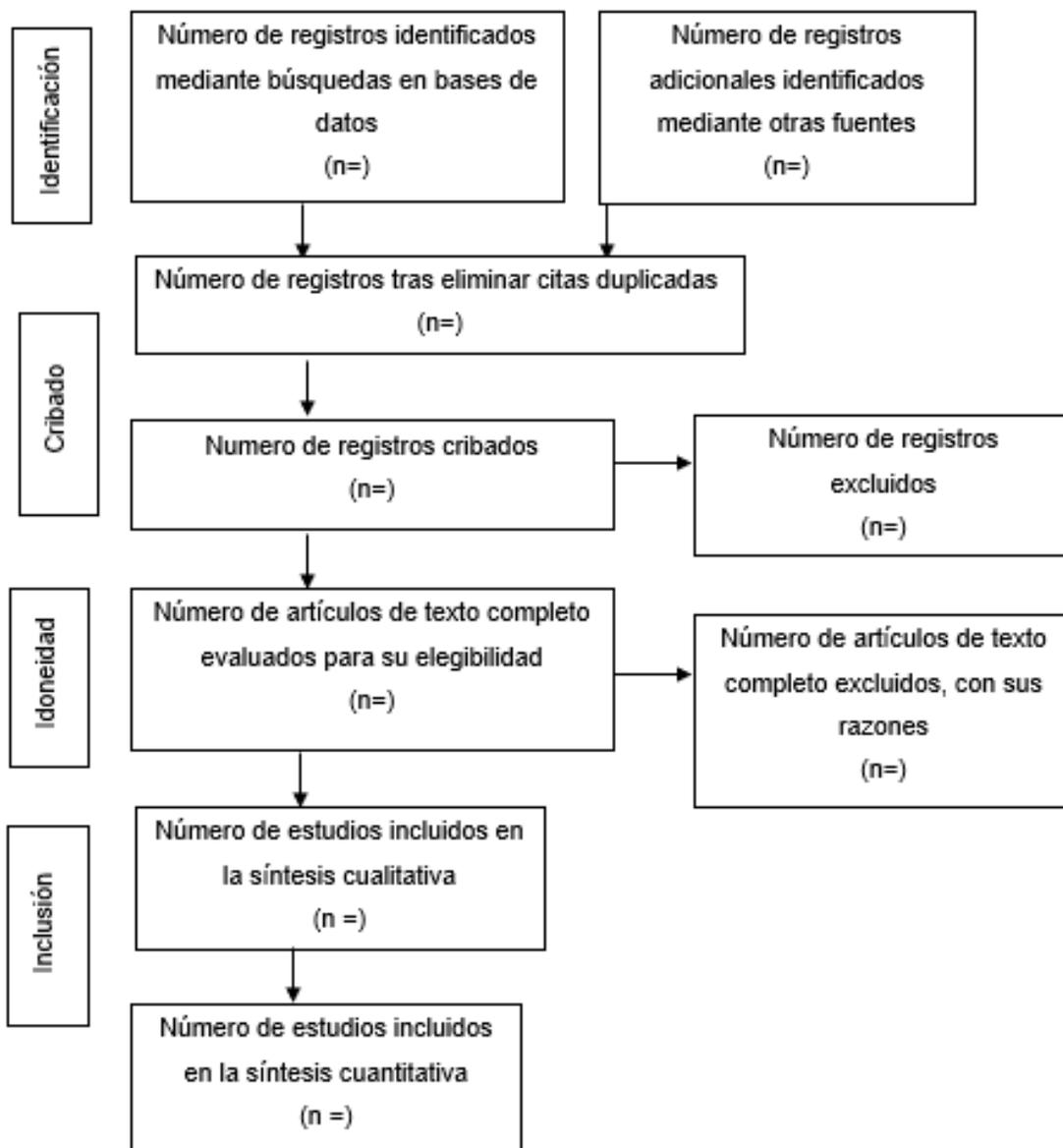


Figura 2. Diagrama de flujo PRISMA en cuatro niveles

Fuente: Molins et al., 2019.

Luego se sistematizó la información recolectada a través de la creación de una base de datos tipo Excel. Esta base de datos incluye las variables operacionales de los tratamientos O<sub>3</sub> y BAC, como los parámetros operacionales y las etapas previas de tratamiento las cuales pueden influir en la eficiencia de O<sub>3</sub>-BAC. Además, se

incluyeron las variables de respuesta del tratamiento O<sub>3</sub>-BAC encontradas en los estudios, que corresponden a los cambios que existen en la calidad del agua.

A continuación, se muestra una tabla con los nombres de algunas variables operacionales y variables de respuesta de los tratamientos de O<sub>3</sub>-BAC encontradas en artículos estudiados.

Tabla 4. Variables operacionales y variables de respuesta de los tratamientos O<sub>3</sub>-BAC encontradas en algunos estudios.

Variables operacionales de los tratamientos O <sub>3</sub> -BAC		Variables respuesta de tratamiento O <sub>3</sub> -BAC	
Etapas previas de tratamiento	Parámetros operacionales		Cambios en la calidad del agua
	O <sub>3</sub>	BAC	
Agua de origen (rio, lago, etc.)	Dosis de O <sub>3</sub>	Tiempo de contacto con lecho vacío (EBCT)	Eliminación de TOC, DOC, BDOC, AOC, UV254, SUVA, DOC <sub>Mn</sub>
Tratamiento previo a O <sub>3</sub> -BAC (coagulación, sedimentación, etc.)	Tiempo de contacto	Procesos de retrolavado	Eliminación de precursores de subproductos de desinfección (DBP FPs)
	Generador de O <sub>3</sub>	Tasa de carga hidráulica	
		Temperatura	
		Dirección de flujo	
		Tiempo de aclimatación	
		Comunidad bacteriana (abundancia)	
		Materiales de biofiltro	
		Escala (piloto, laboratorio)	

Fuente: Liu et al., 2001; Basu et al. 2016; Terry y Summer, 2018; Phungsai et al., 2018.

Además, se realizó un análisis cuantitativo de los artículos científicos para investigar tendencias y relaciones entre estos. Se llevo a cabo utilizando el servicio en línea “Web of Science” con su herramienta de “analizar resultados”, analizando

autores, años de publicación, categorías, de los artículos seleccionados para la base de datos. Y se utilizó una herramienta de minería de datos llamada VOSViewer, que ofrece una visualización basada en datos de las redes bibliográficas para hallar correlaciones en el conjunto de artículos, para estudiar las principales palabras clave involucradas y su correlación en el tratamiento de O<sub>3</sub>-BAC de los artículos seleccionados.

Una vez creada la base de datos, mediante los artículos y estudios buscados y seleccionados, se prepararon los datos para trabajar con ellos, por lo que se debieron transformar debido al amplio rango de valores numéricos, múltiples unidades de medida y escalas.

Para las unidades de medidas se realizaron conversiones de unidades para transformar los valores numéricos de una magnitud física a otro valor numérico equivalente y así expresar los datos en unidades de medida de la misma naturaleza, utilizando factores de conversión, es decir, multiplicando por una o varias fracciones en las que el numerador y el denominador son cantidades iguales expresadas en unidades de medida distintas.

Debido a la presencia de algunos ensayos con resultados numéricos en rangos se calculó el promedio de estos valores y debido a la diferencia de escalas utilizadas en los diferentes estudios de los artículos en vez de trabajar con los valores numéricos de las variables respuestas, se calcularon las eficiencias de remoción de las variables respuestas, calculadas con las concentraciones iniciales y finales del tratamiento O<sub>3</sub>-BAC, para obtener la eficiencia del tratamiento y así poder observar tendencias en los datos a pesar de la diferencia de escala entre los estudios.

Además, se dio importancia en el presente informe a aquellas variables con mayor cantidad de datos recopilados, con el objetivo de incluir en el análisis los datos que presentan observaciones más completas, por lo que se observó la ausencia de datos en las variables, eliminando aquellas variables en las cuales la ausencia de datos era alta.

## **5.2. Objetivo específico 2: Identificar las variables operacionales relevantes de ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular y sus interacciones.**

Con los datos ordenados en una base de datos, se seleccionaron las variables numéricas con mayor cantidad de datos disponibles en los artículos recopilados, creando una nueva base de datos más acotada con las variables seleccionadas, por lo que de los “N” artículos anteriores, se crea una nueva base de datos con “M” artículos, excluyendo aquellos estudios que no contenían alguna variable seleccionada para estudiar.

Tomando la nueva base de datos se realizó un análisis de datos exploratorios que incluyó estadística descriptiva, distribución de datos y creación de gráficos. Esto para analizar el comportamiento de los datos, incluyendo el uso de Excel para crear gráficos de dispersión 2D para observar frecuencias de utilización de parámetros y la existencia de tendencias del uso de un parámetro operacional con respecto a una variable respuesta.

Además, se utilizó el programa informático Origin para crear gráficos interactivos y analizar los datos, creando gráficos de dispersión y superficie 3D, y gráficos de contorno, para analizar la posible existencia de tendencias entre el comportamiento de dos variables operacionales y las variables respuestas del proceso O<sub>3</sub>-BAC y sus interacciones.

## **5.3. Objetivo específico 3: Analizar la capacidad de remoción de variables respuesta del tratamiento de ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular con diferentes condiciones de las variables operacionales y sus interacciones**

Finalmente se analizaron las variables operacionales con las variables de respuesta para conocer las variables operacionales más relevantes y las interacciones de estas que proporcionan una mejor remoción de las variables respuesta en el tratamiento O<sub>3</sub>-BAC. Esto se realizó analizando los gráficos creados en Excel y

Origin, mencionados en la metodología del objetivo específico 2, además de comparar esta información analizada de los gráficos con información encontrada en la literatura.

Es decir, se buscó información de las variables seleccionadas a estudiar, tanto en los estudios seleccionados para recopilar datos, como en otros artículos que entregan información relevante sobre ellos y se analizó, para observar si existe concordancia en las tendencias seguidas por datos numéricos encontrados en los estudios recopilados de los artículos y mostrados en gráficos e información en la literatura sobre las variables, probando si las tendencias existentes o no existentes de las variables y entre ellas en función de los datos recolectados, concuerdan con lo expuesto en la literatura.

## **6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **6.1. Resultados asociados al objetivo específico 1 (Establecer una base de datos de variables operacionales y eficiencias de ozonización seguida de un biofiltro de carbón activado granular).**

#### **6.1.1. Búsqueda bibliométrica**

La fase de identificación comenzó con una búsqueda inicial, utilizando la combinación de palabras claves “biological activated carbon in drinking water” en la base de datos Web of Science. Esta búsqueda entregó una cantidad considerable de resultados, que dan una visualización global de la amplitud de la temática, lo que permitió comprobar a simple vista que se podía realizar una revisión.

Luego de esto se realizó una búsqueda sistemática en Web of Science, esta se llevó a cabo mediante dos búsquedas, para encontrar una mayor cantidad de datos de manera más específica. La primera utilizando las palabras claves “O<sub>3</sub>-BAC”, y la segunda utilizando las palabras claves “biological activated carbon” y utilizando la herramienta de refinado de resultados utilizando la palabra “ozonation”, obteniendo 91 y 588 resultados respectivamente en cada búsqueda, resultando en un total de 679 publicaciones.

Antes de proceder a la selectividad de los artículos, se definieron criterios de inclusión y exclusión.

#### **Criterios de inclusión**

- Tratarse de investigaciones cuantitativas, es decir, investigaciones de laboratorio, piloto o reales, con resultados numéricos.
- Que contengan parámetros operacionales y de respuesta de O<sub>3</sub>-BAC.
- Que el tratamiento de agua sea destinado para producir agua potable.

## **Criterios de exclusión**

-Se excluyen los estudios de tratamientos de aguas residuales, lixiviados, lodos y todo estudio que tengo un tratamiento de agua con un fin que no sea producir agua potable.

-Se excluyen los estudios de tratamiento que hablan sobre BAC con arena u otro medio granular juntos en el mismo biofiltro.

-Estudios que solo tienen información cualitativa o no definen de forma clara y numérica los resultados.

-Artículos que no son posibles descargar ni leer.

-Artículos con procesos de tratamiento de agua potable diferentes y que no incluyen al proceso O<sub>3</sub>-BAC en su tren de tratamiento.

-Artículos que estudian el proceso de O<sub>3</sub>-BAC junto con otros procesos, que informan resultados de eficiencia global, es decir, indican la eficiencia del tratamiento completo aplicado (otros procesos + O<sub>3</sub>-BAC).

A continuación, observa la Figura 3 que consiste en un diagrama de flujo siguiendo el modelo PRISMA en cuatro niveles de búsqueda bibliométrica, en el cual se resume los resultados de la búsqueda bibliométrica y como esta se llevó a cabo con los diferentes criterios de exclusión e inclusión mencionados anteriormente.

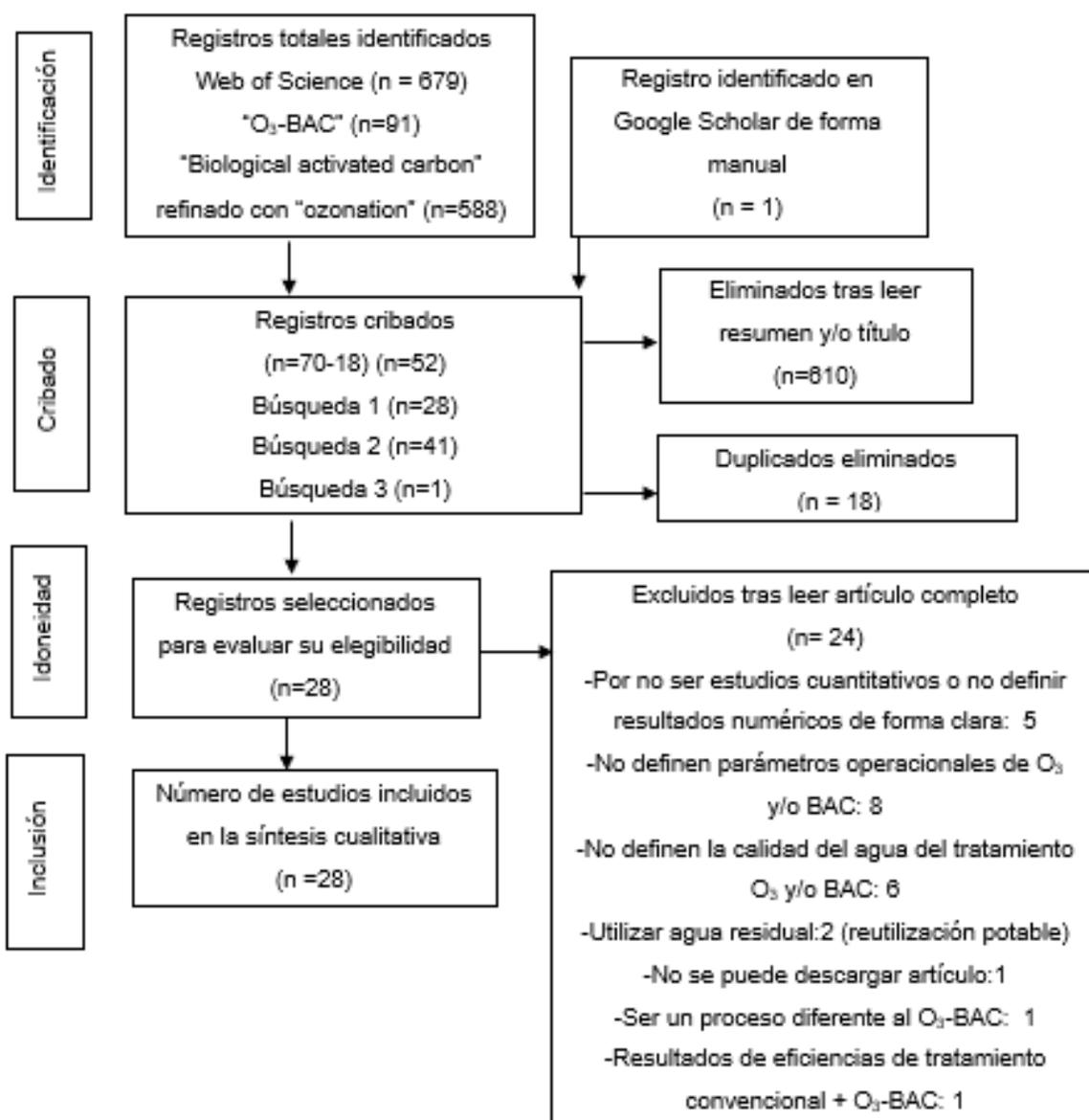


Figura 3. Diagrama de flujo siguiendo el modelo PRISMA en cuatro niveles de búsqueda bibliométrica.

Los registros irrelevantes para el tema se eliminaron manualmente según estos criterios, junto a lectura de títulos, resúmenes y del artículo completo en caso de que no se descartaran por ninguna de las dos anteriores. Se descartaron un total de 610 artículos solo con la lectura de títulos y resúmenes. Se procedió a descartar

los duplicados, los cuales fueron 18 y a leer los artículos completos, a partir de esta lectura se descartaron 24 artículos, principalmente por que los artículos no definían los parámetros operacionales de O<sub>3</sub> y/o BAC (8) y por no definir la calidad del agua del tratamiento O<sub>3</sub> y/o BAC (6). Otros artículos fueron descartados por no ser estudios cuantitativos o no definir resultados numéricos de forma clara (5), utilizar agua residual para reutilización potable (2), por no estar disponible texto completo para su lectura (1), por ser un proceso diferente al O<sub>3</sub>-BAC (1) y por tener resultados globales de la calidad del agua, es decir, las eficiencias de remoción de otros tratamientos más O<sub>3</sub>-BAC juntos (1).

Finalmente 27 artículos cumplieron los criterios de inclusión y se seleccionaron para llevar a cabo la revisión sistemática.

Por último, se utilizó Google Scholar con distintas combinaciones de los términos de búsqueda mencionados al principio. Esta búsqueda revela un nuevo estudio que no se encontraba en Web of Science, pero cumplía con los criterios de inclusión, por lo que fue considerado para esta investigación. Finalizando con un total de 28 artículos para realizar la revisión sistemática.

### **6.1.2. Análisis cuantitativo**

El análisis cuantitativo se realizó con los 27 artículos extraídos de Web of Science, excluyendo el artículo buscado de forma manual, mediante la herramienta de Web of Science “análisis de datos”. Analizando autores, años de publicación, categoría de los artículos, países colaboradores y palabras claves.

#### **6.1.2.1. Autores**

Se analizó la participación de los autores en la redacción de los artículos seleccionados, el número total de autores que participan en los 27 artículos analizados fue de 103. En la Figura 4 se muestran los principales autores con respecto a la cantidad de artículos en los que participaron (aquellos que participaron en más de 1 artículo). Existen 2 autores con la mayor participación en artículos, con

un total de 5 artículos cada uno, los cuales fueron Chen C. y Zhang XJ., seguidos de Nishijima W. y Okada M con participación en 4 artículos.

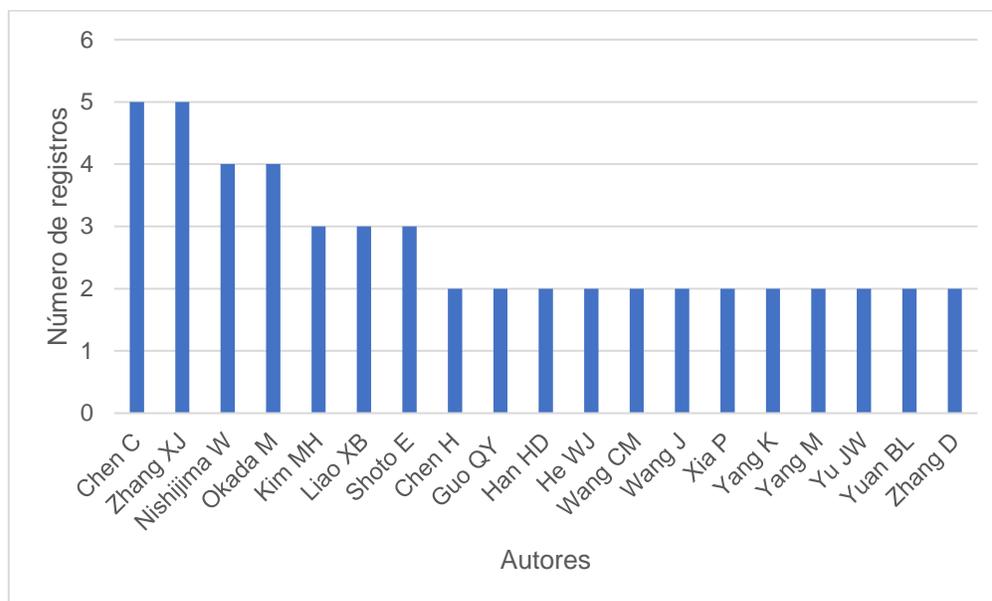


Figura 4. Registro de autores que participan en artículos seleccionados.

### 6.1.2.2. Años de publicación

Se analizaron los años de publicación de cada artículo seleccionado. Se registraron 15 años distintos, los cuales se encuentran entre los años 1996 a 2020, la mayor cantidad de artículos fueron publicados en el año 2018, por lo que este año se puede observar un mayor interés sobre la temática de estudio con un total de 4 artículos, seguido por el año 2013 con un total de 3 artículos publicados, como se puede ver en el gráfico de dispersión de la Figura 5 que muestra la tendencia temporal del número de publicaciones, no existe una correlación entre los años y los números de artículos publicados anualmente sobre el tema investigado. Por lo que se evidencia que el interés de la comunidad científica en evaluar el tratamiento de O<sub>3</sub>-BAC y sus parámetros operacionales no ha cambiado de manera relevante en el tiempo, con excepción a los años 2018 y 2013, pero no se observa un aumento significativo.

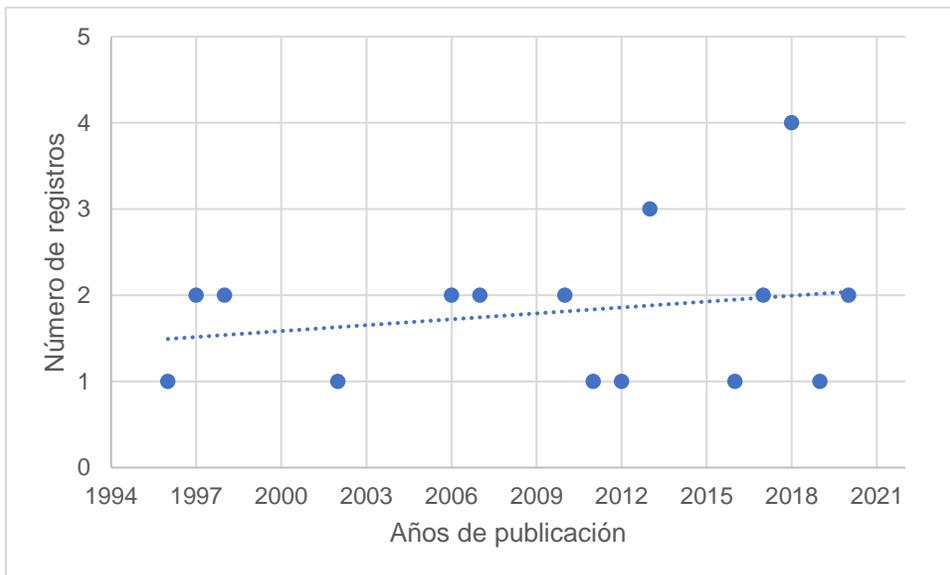


Figura 5. Registro de artículos según año de publicación de los artículos seleccionados.

### 6.1.2.3. Categorías

Se analizaron las categorías de Web of Science de los artículos seleccionados, se encontraron 9 categorías de Web of Science distintas, como se puede observar en la Figura 6, la categoría de Web of Science que ha cubierto la mayoría de las publicaciones fue la de ciencias ambientales con 18 registros (66,67%), seguida de Ingeniería ambiental con 15 registro (55,56%) y Recursos hídricos con 13 registros (48,15%). A estas le siguen Ingeniería química con 6 artículos (22,22%) y otras categorías con 1 artículo cada una (3,7%).

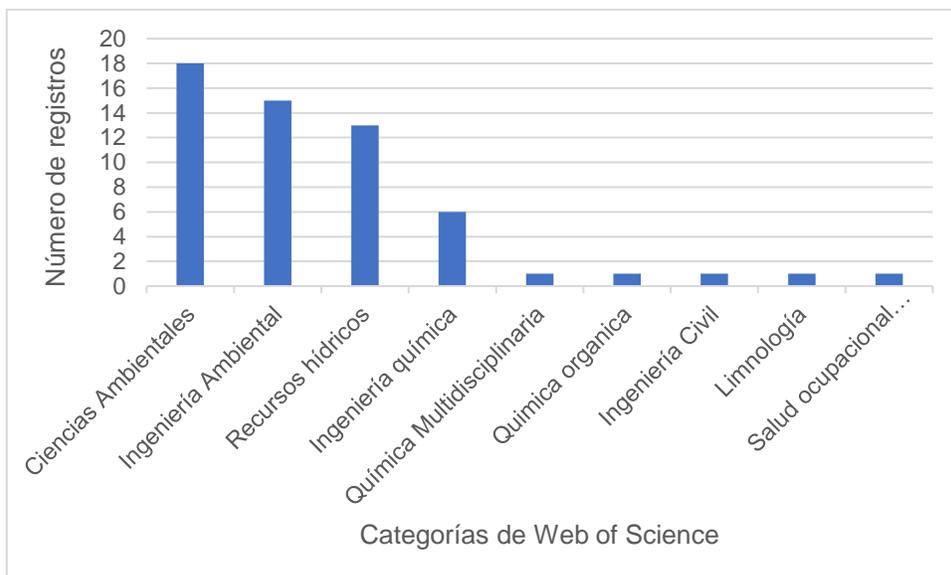


Figura 6. Registro de artículos según categorías de Web of Science

#### 6.1.2.4. Países

Se analizaron los artículos seleccionados según los países colaboradores, se puede observar en la Figura 7, que según la base de datos Web of Science el país más activo en la producción de estudios relacionados con el tratamiento O<sub>3</sub>-BAC y sus parámetros operacionales con el mayor número de artículo corresponde a la República popular de China aportando 15 artículo, lo que corresponde al 55,56%. Además, los investigadores de Japón aportaron con 5 artículo, representando al 18,52%; y Estados Unidos con 3 artículos (11,11%). Otros países que aportan a este tema son: Polonia, Taiwán, Francia, Alemania, India y Tailandia.

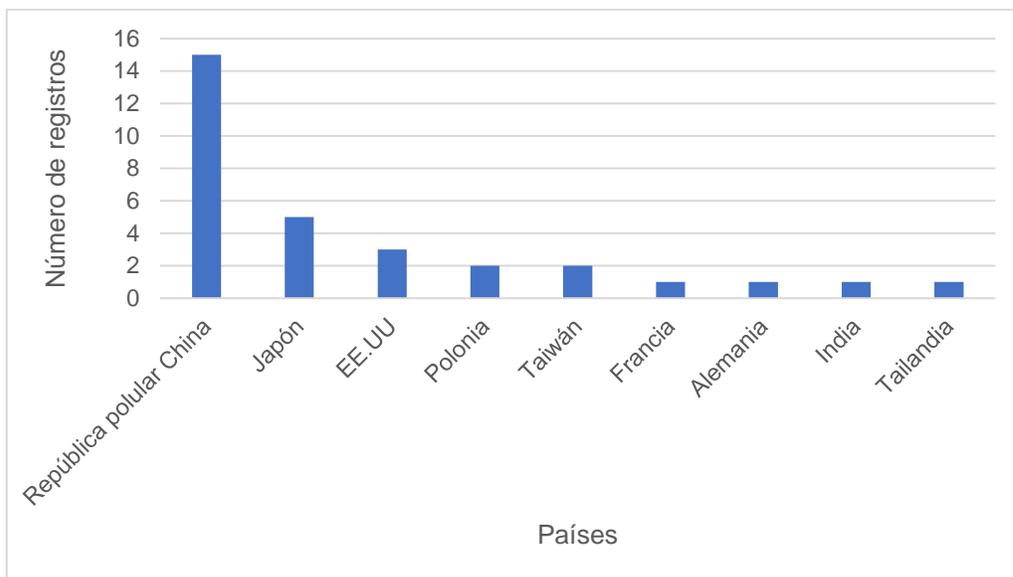


Figura 7. Registros de artículos según países en artículos seleccionados.

#### 6.1.2.5. Palabras claves

En un artículo científico, las palabras clave expresan la idea principal y el concepto temático. Las palabras clave pueden resumir las características generales del contenido de la investigación, permitiendo establecer la relación entre los contenidos de la investigación y la definición de la dirección general de la investigación científica (Zhu et al., 2019).

Analizando las palabras clave de los artículos seleccionados, en la Figura 8 se puede observar el análisis de co-ocurrencia de palabras clave realizado con el software VosViewer, en el cual se identificaron un total de 195 palabras clave.

Las principales palabras clave según las ocurrencias y la fuerza total del enlace se muestran en la Figura 9, fijando el número mínimo de ocurrencias en 5, lo que produjo 9 palabras clave del total de 195 palabras clave. Con base en la fuerza de enlace total más alta, las cinco palabras clave principales son “ozonización”, “remoción”, “ozono”, “agua potable”, y “subproductos de desinfección”, con ocurrencias de 14, 12, 9, 9 y 7 respectivamente.



entre ellos. Existen 3 clústeres principales observando la Figura 9, los que son: (a) el primer clúster se relaciona con el campo de estudio del proceso de tratamiento ozonización seguido de biofiltración con carbón activado y relaciona términos como: adsorción, carbón activado biológico, ozonización y ozono (color rojo); (b) el segundo clúster gira en torno a la palabra “remoción” e incluye términos como agua potable, precursores, subproductos de desinfección, remoción (color verde). (c) el tercer clúster está compuesto de una sola palabra la cual es biofiltración (color azul). Estos clústeres de palabras concurren entre ellos, por lo que presentan una estrecha vinculación conceptual.

### **6.1.3. Sistematización de los datos**

La información extraída de los artículos se recopiló en una base de datos tipo Excel. De los 28 artículos encontrados se extrajeron 44 estudios, estos 28 artículos se recopilaron mediante los criterios de exclusión e inclusión mencionados en el capítulo 6.1.1. “Búsqueda bibliométrica”, en algunos artículos seleccionados se realizaban más de un experimento con diferentes datos en parámetros operacionales y/o en variables respuestas, por lo que se recopiló cada experimento como un estudio diferente los cuales también debían cumplir con los criterios de inclusión e inclusión, finalizando con un total de 44 estudios (la información completa extraída de cada uno de los estudios se puede observar en ANEXO 2: fichas resúmenes).

En los siguientes gráficos se puede visualizar un resumen del número de datos encontrados en los 44 estudios seleccionados por cada variable recopilada.

La Figura 10 ilustra el número de variables respuesta en afluente del proceso de ozonización, es decir, la calidad del agua que entra al proceso de ozonización, reportadas en los estudios seleccionados para investigación bibliométrica.

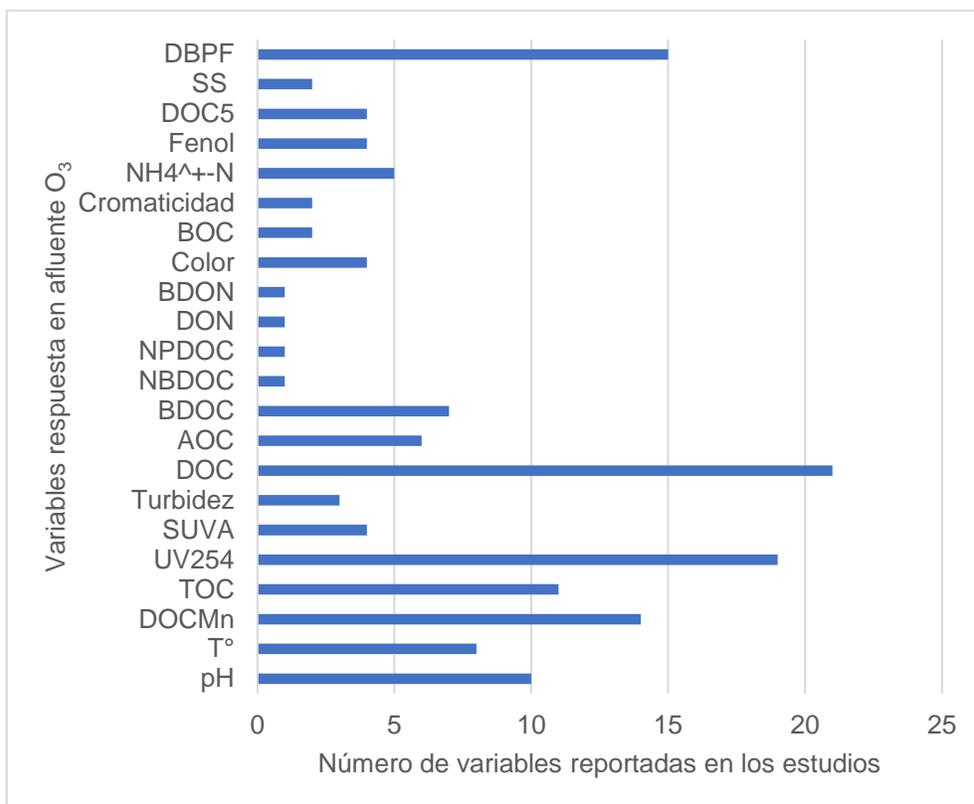


Figura 10. Número de variables respuesta en afluente del proceso de ozonización reportadas en los estudios seleccionados para investigación bibliométrica.

Las variables respuesta en afluente del proceso de ozonización reportadas con mayor frecuencia fueron DOC, UV254, DBPF, DOC<sub>Mn</sub>, TOC, y pH, los cuales se registraron con frecuencias de 21, 19, 15, 14, 11 y 10 veces respectivamente en el total de datos de los estudios de los artículos seleccionados.

La Figura 11 presenta el número de variables respuesta en afluente del proceso BAC reportadas en los estudios seleccionados para la investigación bibliométrica.

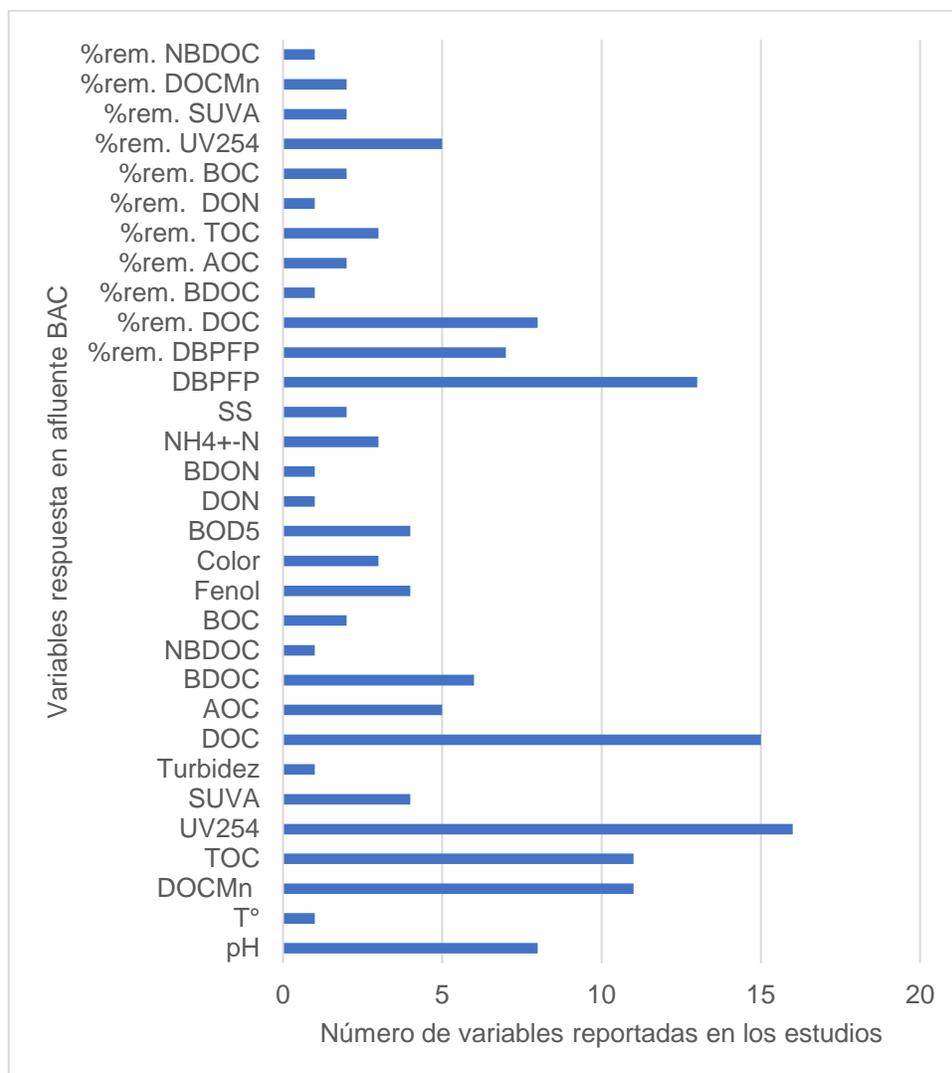


Figura 11. Número de variables respuesta en afluente del proceso de biofiltración con carbón activado granular reportadas en los estudios seleccionados para la investigación bibliométrica.

Las variables respuesta en afluente del proceso de biofiltración con carbón activado granular reportadas con mayor frecuencia fueron UV254, DOC, DBPFP, TOC y DOC<sub>Mn</sub>, los cuales se registraron 16, 15, 13, 11 y 11 veces respectivamente en el total de los estudios de los artículos seleccionados.

Y la Figura 12 muestra el número de variables respuesta en efluente del proceso biofiltración con carbón activado granular, es decir, la calidad del agua que sale del proceso BAC, reportadas en los estudios de los artículos seleccionados.

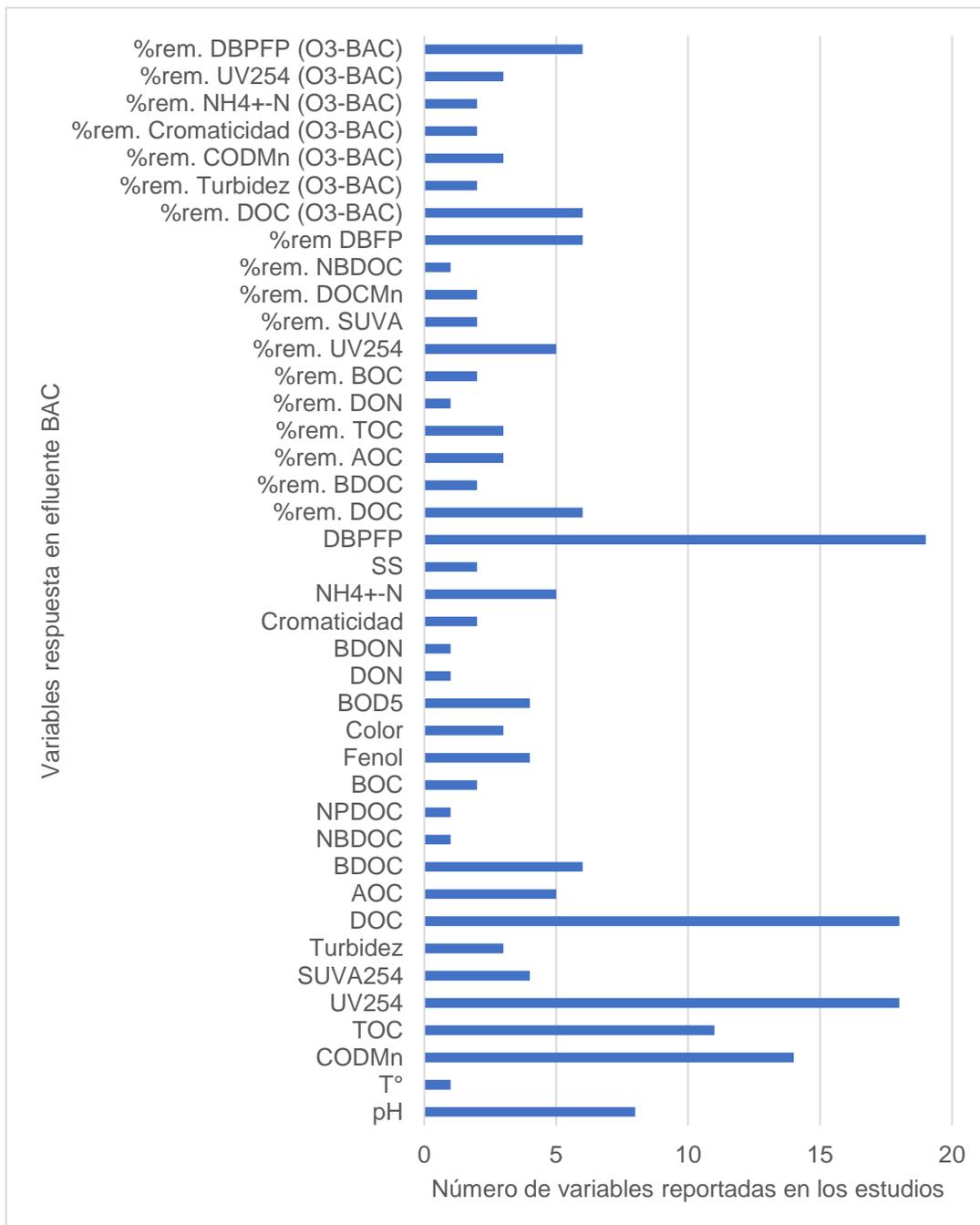


Figura 12. Número de variables respuesta en efluente del proceso biofiltración con carbón activado granular reportadas en los estudios de los artículos seleccionados.

Las variables respuesta en efluente del proceso de biofiltración con carbón activado granular reportadas con mayor frecuencia fueron los DBFP, DOC, UV254,  $DOC_{Mn}$  y TOC los cuales se registraron 19, 18, 18, 14 y 11 veces respectivamente en el total de los datos de los estudios de los artículos seleccionados.

En Figura 13 se observa número de parámetros operacionales del proceso ozonización reportadas en los estudios de los artículos seleccionados.

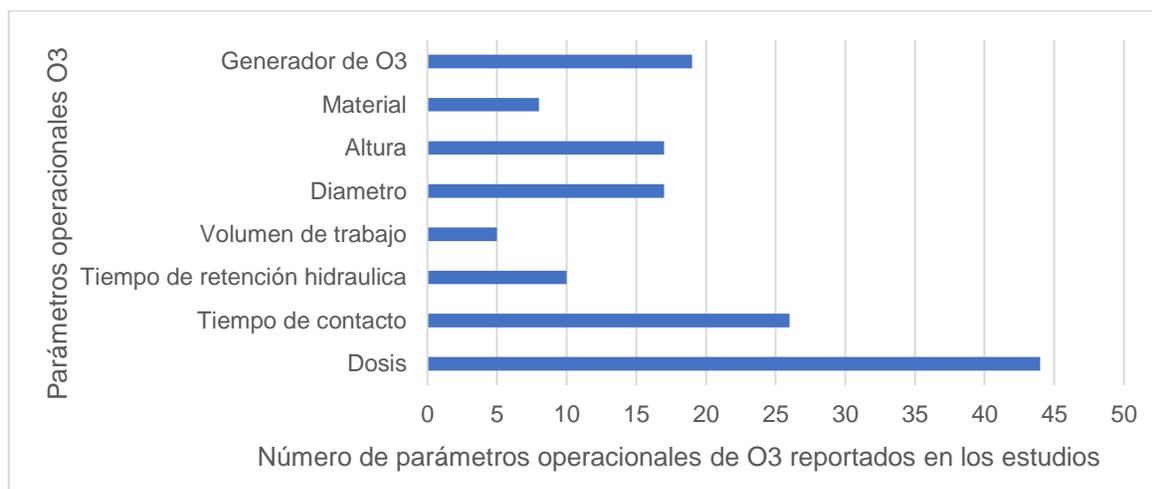


Figura 13. Número de parámetros operacionales del proceso ozonización reportadas en los estudios de los artículos seleccionados.

El parámetro operacional del proceso de ozonización reportado con mayor frecuencia fue la dosis de ozono aplicada, la cual se registró 44 veces en el total de los datos recopilados en los estudios de los artículos seleccionados.

Figura 14 muestra el número de parámetros operacionales del proceso biofiltración con carbón activado granular reportados en los estudios de los artículos seleccionados.

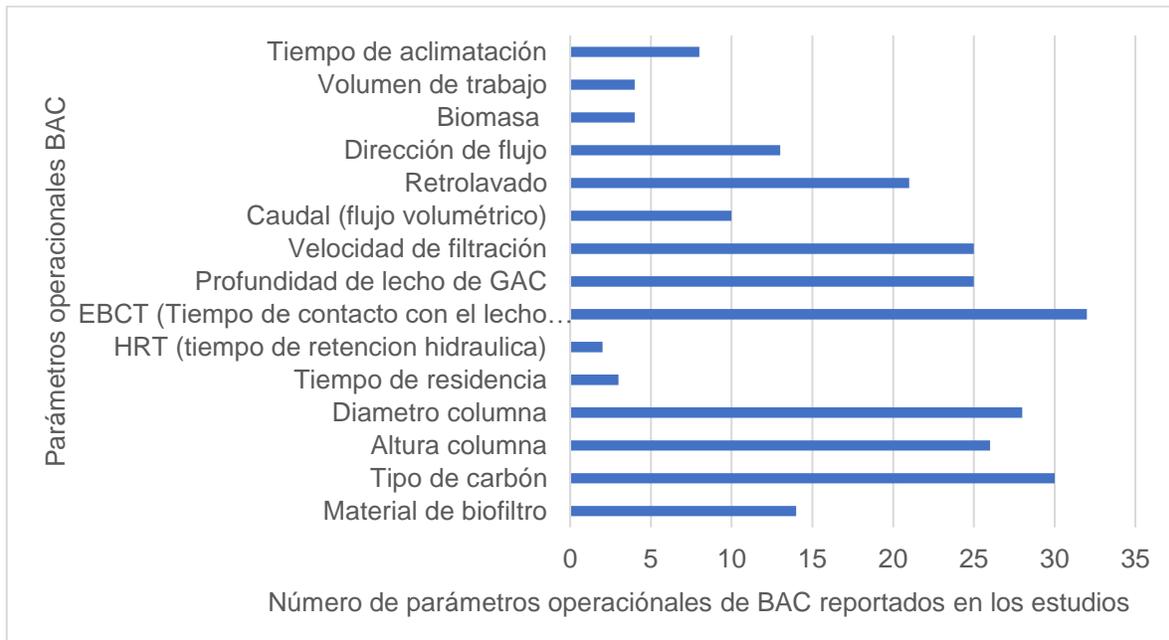


Figura 14. Número de parámetros operacionales del proceso biofiltración con carbón activado granular reportados en los estudios de los artículos seleccionados.

Los parámetros operacionales del proceso de biofiltración con carbón activado granular reportados con mayor frecuencia fueron los EBCT, tipo de carbón, diámetro y altura de la columna del BAC, velocidad de filtración, profundidad del lecho GAC y retrolavado, los cuales se registraron 32, 30, 28, 26, 25, 25 y 21 veces respectivamente en el total de los estudios de los artículos seleccionados.

#### 6.1.4. Homogeneización de datos

Para la transformación de datos debido al amplio rango de valores numéricos, múltiples unidades de medida y escalas, se utilizaron distintas ecuaciones y conversiones de unidades de medida, para las distintas variables, las ecuaciones utilizadas se encuentran en anexo 1 (ANEXO 1: ecuaciones y conversiones de medidas).

Se usaron ecuaciones de conversión para que unidades de medidas concordaran y ecuaciones para calcular algunas variables como las eficiencias de remoción de las variables respuesta y calcular parámetros operacionales BAC como EBCT y velocidad de filtración.

## **6.2. Resultados asociados al objetivo específico 2 Identificar las variables operacionales relevantes de ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular y sus interacciones).**

### **6.2.1. Análisis de datos exploratorios**

En este análisis se utilizaron las variables numéricas que se consideraron más relevantes y aquellas que contenían el mayor número de datos en los estudios de los artículos seleccionados.

Se escogieron las variables respuestas DOC o TOC y UV254 para estudiarlas, se seleccionaron debido a que en el punto 6.1.3. de sistematización de datos de la presente investigación, se puede observar en las Figuras 10, 11 y 12 que las variables respuestas con mayor número de datos fueron DOC, TOC, UV254, DBFP y  $DOC_{Mn}$ . Sin embargo, el valor de DBFP contenía la presencia de distintos tipos de DBFP como potencial de formación de trihalometanos (THMFP), ácidos haloacéticos (HAAFP), dicloroacetamida (DCAcAmFP), N-cloro-2,2-dicloroacetamida (N-CL-DCAMFP) y tricloronitrometano (TCNMFP), por lo que no se permite realizar una comparación directa entre estos y el  $DOC_{Mn}$ , no se seleccionó debido a que es una forma común pero menos precisa que el TOC de determinar la cantidad de materia orgánica en el agua (Albrektiene et al., 2012).

De esta misma forma, los parámetros operacionales de  $O_3$ -BAC seleccionados para el análisis de datos exploratorio fueron: dosis de ozono aplicada, EBCT, profundidad de lecho GAC, velocidad de filtración y caudal (flujo volumétrico) en BAC. Los parámetros operacionales con mayor número de datos recopilados de los artículos bibliográficos observando las figuras 13 y 14, fueron EBCT, tipo de carbón, diámetro y altura de la columna del BAC, velocidad de filtración, profundidad del lecho GAC

y retrolavado. De estos el tipo de carbón y el retrolavado no son datos cuantitativos por lo que fueron excluidos para este análisis, y se agregó flujo volumétrico en BAC, en este informe nombrado como caudal por ser considerados importante en el proceso del BAC y debido a que se calcularon en alguno de los estudios seleccionados, resultando en una mayor cantidad de datos encontrados.

Luego de haber seleccionado las variables respuestas DOC, TOC y UV254 y los parámetros operacionales dosis de ozono aplicada, EBCT, profundidad de lecho GAC, velocidad de filtración y caudal en BAC para el análisis de datos exploratorio por ser las variables consideradas de importancias para el proceso y con mayor número de datos en los 44 estudios recopilados de los 28 artículos, se aplicaron nuevos criterios de exclusión e inclusión a estos 44 estudios, los cuales fueron la exclusión de aquellos estudios que no contenían ningún parámetro operacional de BAC mencionados anteriormente, y aquellos estudios que contenían datos de otras variables respuestas y no contenían información numérica sobre la eficiencia de remoción de las variables respuestas DOC, TOC o UV254. Por lo que se creó una nueva base de datos tipo Excel con los valores de las variables seleccionadas para estudiar en el análisis exploratorio, por lo que se acoto la base de datos de 28 artículos y 44 estudios a una base de datos de 18 artículos con 30 estudios recolectados.

Con el propósito de obtener mayor cantidad de información en el estudio de análisis de datos, se unificaron los variables DOC y TOC, es decir, si los estudios informaban estas dos variables respuesta, se dio preferencia y se incluía la variable DOC en la base de datos, y si el estudio no informaba la variable DOC se utilizó la variable TOC en lugar de DOC. Por lo que, se estudian estas variables como “DOC o TOC” en vez de DOC y TOC como variables por separado. Esto se realizó debido a que el DOC corresponde a una parte del TOC, que es aquella que queda presente en el agua luego de pasar por un filtro de 0,45  $\mu\text{m}$  y es la parte mayoritaria del TOC (Campos et al., 2016).

En Figura 15 se puede observar el total de parámetros operacionales del proceso O<sub>3</sub>-BAC obtenidos mediante los 30 estudios recopilados.

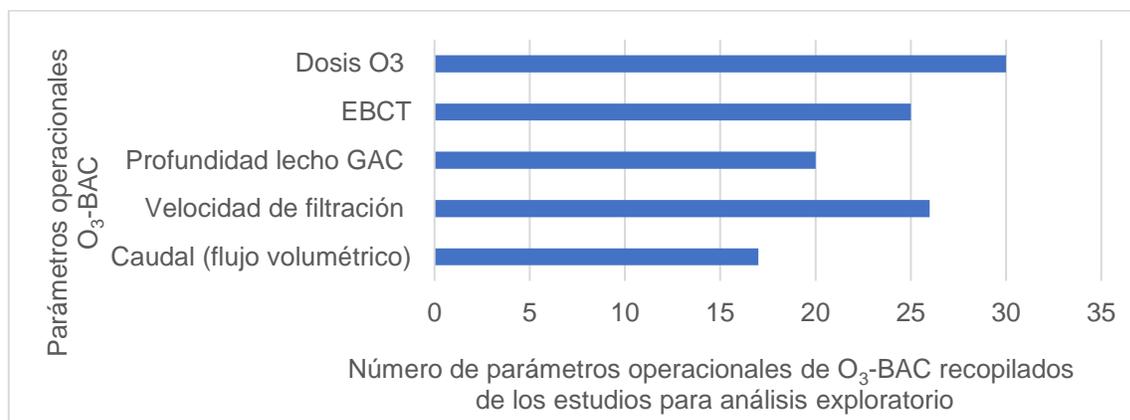


Figura 15. Número de parámetros operacionales de O<sub>3</sub>-BAC recopilados de los 30 estudios seleccionados para análisis exploratorio.

El total de datos recopilados para realizar el análisis exploratorio de datos de parámetros operacionales de dosis O<sub>3</sub>, EBCT, profundidad de lecho GAC, velocidad de filtración y caudal (flujo volumétrico) fueron: 30, 25, 20, 26 y 17, respectivamente.

El total de datos recopilados para realizar el análisis exploratorio de datos de variables respuesta de DOC o TOC fueron 30 y de UV254 19, representadas por el porcentaje de remoción de DOC o TOC y UV254 del proceso O<sub>3</sub>-BAC. De los 30 datos recopilados de DOC o TOC, 9 corresponden a TOC.

### 6.2.2. Tendencias de parámetros operacionales con respecto a la remoción de variables respuesta en bibliografía recopilada

Para establecer la existencia de tendencias de los datos obtenidos en la bibliografía recopilada de los parámetros operacionales seleccionados dosis de ozono, EBCT, profundidad de lecho GAC, velocidad de filtración y caudal con respecto a las variables respuestas seleccionadas DOC o TOC y UV254, se realizaron gráficos de dispersión 2D, gráficos de dispersión y superficie 3D y gráficos de contorno.

### **Tendencias en datos de literatura recopilados de dosis O<sub>3</sub>**

Para observar las tendencias en los datos de literatura recopilados de dosis de ozono con respecto a la remoción de las variables respuestas DOC o TOC y UV254 se realizaron gráficos de dispersión 2D.

En Figura 16 muestra un gráfico de dispersión de dosis de ozono aplicada en proceso de ozonización previo a la biofiltración con carbón activado granular con respecto a el porcentaje de remoción de DOC o TOC del proceso O<sub>3</sub>-BAC.

Figura 17 ilustra un gráfico de dispersión de dosis de ozono aplicada en proceso de ozonización previo a la biofiltración con carbón activado granular con respecto a el porcentaje de remoción de del proceso O<sub>3</sub>-BAC.

Comparando estas dos Figuras (Figura 16 y 17), se observa que, la cantidad de datos recopilados de porcentajes de remoción de DOC o TOC (30 datos) es mayor que la cantidad de datos recopilados de porcentajes de remoción de UV254 (19 datos), con respecto a la dosis de ozono aplicada en el proceso de ozonización.

Debido a la combinación de las variables respuestas DOC y TOC, es importante mencionar que entre las variables DOC o TOC, 9 correspondían a TOC.

Para los datos recolectados de la literatura de porcentaje de remoción de DOC o TOC con dosis de ozono aplicada como tratamiento previo a la biofiltración de carbón activado (Figura 16), se encuentra una tendencia en la literatura recopilada que indica que, a mayor dosis de ozono aplicada en el proceso de ozonización previo a la biofiltración de carbón activado, mayor remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC, esto se puede observar mediante la línea de tendencia de este grafico de dispersión. El R cuadrado del grafico de dispersión indica que el 28% de la variación en la variable respuesta DOC o TOC se puede explicar con la variable dosis de ozono, evaluando la fuerza de la relación lineal entre estas dos variables, esta fuerza de relación lineal, aunque es baja (aproximadamente 30%) y por lo tanto de alta variabilidad, puede tener una tendencia significativa mostrada por la línea de

tendencia a pesar de que los puntos de datos se ubican más lejos de la línea de regresión.

La tendencia cambia para los datos recopilados de remoción de UV254 (Figura 17) con los que se encontró que, a mayor dosis de ozono aplicada menor es la remoción de UV254 por el proceso O<sub>3</sub>-BAC, lo que se puede observar mediante la línea de tendencia. El R cuadrado del grafico de dispersión es cercano a cero ( $R^2:0,0682$ ), lo que indica que variable respuesta UV254 no puede explicarse por la variable de dosis de ozono, y que los puntos en el diagrama se encuentran alejados unos de otros y no siguen un patrón.

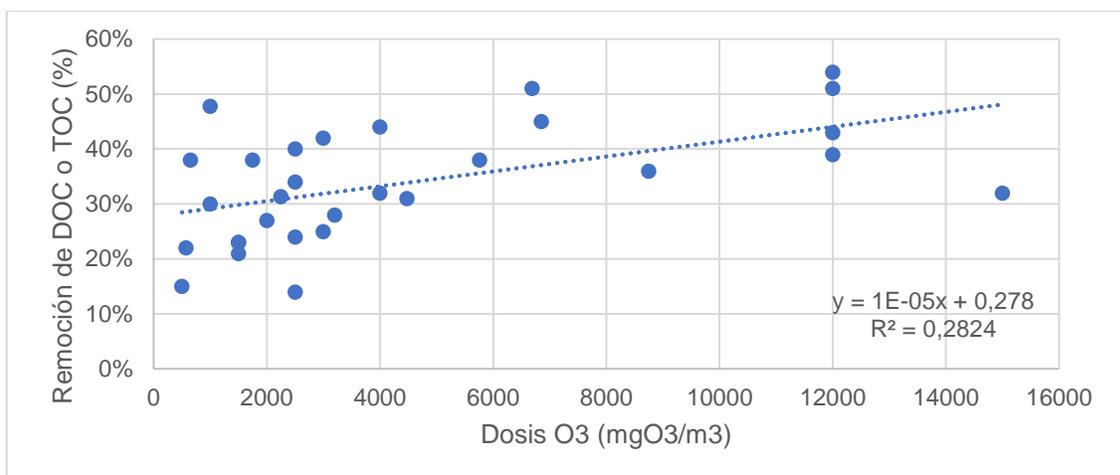


Figura 16. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de DOC o TOC del proceso O<sub>3</sub>-BAC vs dosis de ozono aplicada en proceso de ozonización previo a la biofiltración con carbón activado granular.

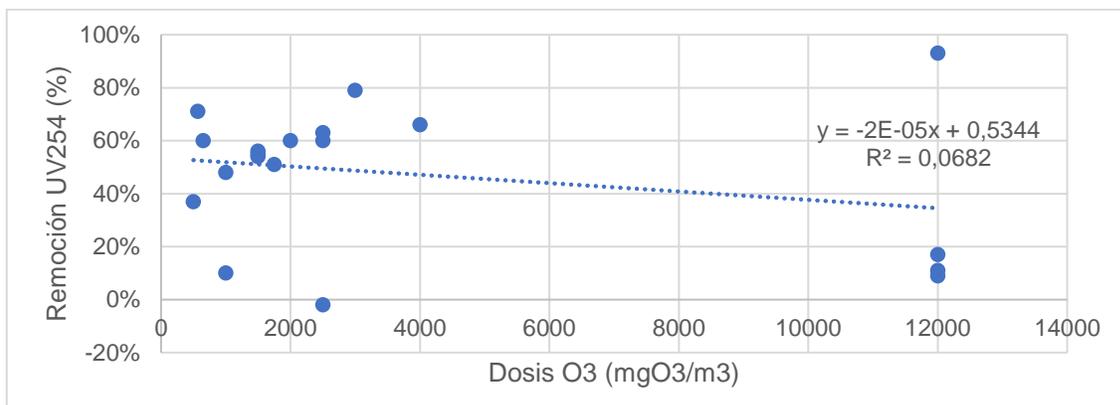


Figura 17. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de UV254 del proceso O<sub>3</sub>-BAC vs dosis de ozono aplicada en proceso de ozonización previo a la biofiltración con carbón activado granular.

En los datos de literatura recopilados se encontraron dosis de ozono utilizadas desde los 500 a 15000 mgO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> (0,5 a 15 mgO<sub>3</sub>/L). De estos datos la mayoría utilizaban dosis de ozono bajas que iban desde 500 a 4000 mgO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>, es decir, de 0,5 a 4,0 mgO<sub>3</sub>/L.

En modo de ejercicio académico se realizó otro grafico de dispersión, Figura 18, que ilustra la dosis de ozono aplicada en proceso de ozonización previo a la biofiltración con carbón activado granular con respecto al porcentaje de remoción de UV254 sin valores que se supusieron como atípicos. Para este ejercicio no se realizó ningún análisis estadístico para eliminar valores anómalos, se realizó con el propósito de entregar una mejor visualización del comportamiento de los datos recopilados de dosis de ozono con respecto a el porcentaje de remoción de U254.

La Figura 18 muestra los mismos datos que la Figura 17, pero eliminando los datos anómalos, es decir, valores del conjunto de datos que son muy diferentes de los otros valores, debido a que la tendencia de los datos cambiaba significativamente por la presencia de estos puntos, por lo que se eliminaron cinco puntos del gráfico de dispersión, estos fueron los puntos de dosis de O<sub>3</sub> de 2500 mgO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> con remoción UV254 -2% y los puntos con dosis O<sub>3</sub> de 12000 mgO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> con remociones UV254 de 9, 11, 17 y 93%.

Se considero la posibilidad de eliminar estos valores debido a que el primero valor mencionado (dosis  $O_3$ :  $2500 \text{ mgO}_3/\text{m}^3$  y remoción UV254: -2%) es un dato recopilado del artículo de Chen et al. (2007) que consiste en un estudio a escala piloto donde se utiliza como tratamiento antes del proceso  $O_3$ -BAC, pre-ozonización, coagulación, floculación por aire y filtración, este es el único estudio de los artículos seleccionados que estudia la remoción de UV254 con un pretratamiento de pre-ozonización, por lo que se supone que es la causa de este valor extremo, debido a que la pre-ozonización modificaría la estructura de la materia orgánica en el agua debido a la despolimerización de las moléculas y pérdida de aromaticidad (Ortiz, 2015), por lo que el agua que entra luego al proceso  $O_3$ -BAC sería agua con baja aromaticidad por lo que no se removería UV254 en grandes cantidad o como en este caso incluso podría llevar a un aumento de UV254 en el agua.

Los otros puntos que se eliminaron pertenecían al artículo de Seredynska-Sobecka et al., (2006) (dosis  $O_3$  de  $12000 \text{ mgO}_3/\text{m}^3$ ; remociones UV254: 9, 11, 17 y 93%) se consideraron puntos extremos debido a que este estudio a escala laboratorio en el cual se realizan cuatro experimentos y utiliza agua cruda de un río con una concentración de fenol; los autores atribuyen la baja remoción de UV254 por ozonización a la descomposición parcial del fenol y el valor más alto de remoción de UV254 se atribuyó a un aumento de pH, debido a que los compuestos orgánicos se oxidan de manera indirecta reaccionando con los hidroxilos radicales generados por el ozono y estas reacciones son favorecidas a pH alto (Ortiz, 2015). Además, de los distintos EBCT utilizados en BAC, siendo la remoción más alta aquella con mayor EBCT utilizado.

Por lo tanto, de la Figura 18, con los datos recolectados de la literatura de porcentaje de remoción de UV254 con dosis de ozono aplicada como tratamiento previo a la biofiltración de carbón activada se encuentra una tendencia en la literatura recopilada de a mayor dosis de ozono aplicada en el proceso de ozonización previo a la biofiltración de carbón activado, mayor remoción de UV254 en el proceso  $O_3$ -BAC, al igual que el comportamiento de los datos de remoción de DOC o TOC.

Además, R cuadrado indica que la variación de la variable respuesta UV254 explicado en el modelo lineal corresponde a un 22,73%, es decir, aproximadamente un 23% de la variable respuesta UV254 se puede explicar con la variable dosis de ozono, aunque el R cuadrado es bajo debido a que los puntos de datos se encuentran lejanos entre sí.

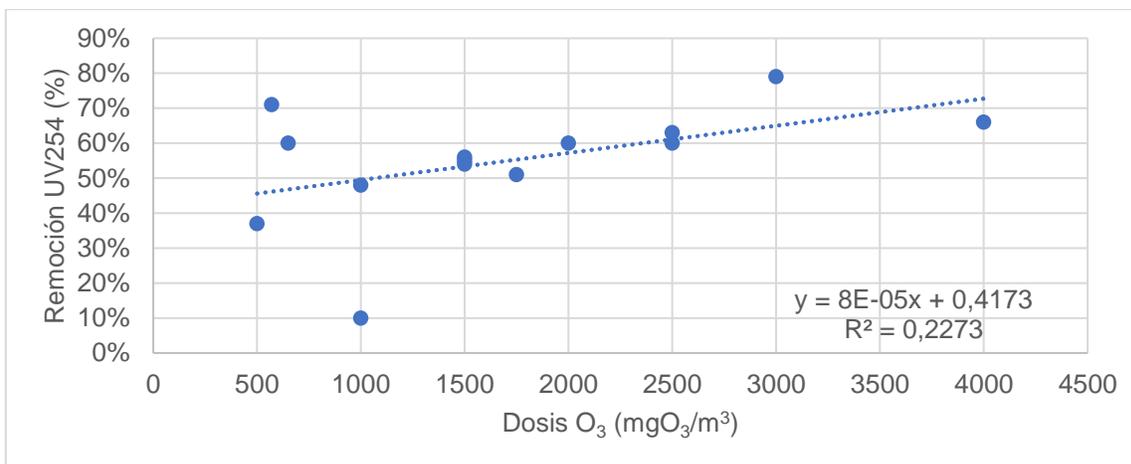


Figura 18. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de UV254 del proceso O<sub>3</sub>-BAC vs dosis de ozono aplicada en proceso de ozonización previo a la biofiltración con carbón activado granular, sin valores supuestos como atípicos.

### Tendencias en datos de literatura recopilados de otros parámetros operacionales

Para observar las tendencias en los datos de literatura recopilados de parámetros operacionales EBCT, profundidad de lecho GAC, velocidad de filtración y caudal (flujo volumétrico) con respecto a la remoción de las variables respuestas DOC o TOC y UV254 se realizaron gráficos de dispersión 2D, los cuales se pueden observar en ANEXO 3: Tendencias en datos de literatura recopilados de parámetros operacionales vs parámetros respuesta.

A continuación, se observa la Tabla 5 de resumen de tendencias de gráficos de dispersión de los datos de literatura recopilados de parámetros operacionales

EBCT, profundidad de lecho GAC, velocidad de filtración y caudal con respecto a la remoción de las variables respuesta DOC o TOC y UV254.

Tabla 5. Resumen de tendencias de parámetros operacionales con respecto a variables respuestas.

Parámetros operacionales	Rangos	Rango de mayor frecuencia	Variable respuesta	Tendencia
<b>EBCT</b>	0,04 - 0,66 horas (2,4 a 40 min)	0,15 - 0,3 horas (9 a 18 min)	DOC o TOC	No se observa una tendencia
			UV254	Mayor EBCT, mayor remoción UV254
<b>Profundidad de lecho GAC</b>	0,2 - 2,4 m	1,2 - 1,8 m	DOC o TOC	Mayor profundidad de lecho GAC, menor remoción de DOC o TOC
			UV254	Mayor profundidad de lecho GAC, mayor remoción de UV254
<b>Velocidad de filtración</b>	0,5 - 15 m/h	7 - 8,7 m/h	DOC o TOC	Mayor velocidad de filtración, menor remoción de DOC o TOC
			UV254	Mayor velocidad de filtración, mayor remoción de UV254
<b>Caudal</b>	0,048 - 1,25 m <sup>3</sup> /h	0,0048 - 0,0116 m <sup>3</sup> /h	DOC o TOC	Mayor caudal, menor remoción de DOC o TOC
			UV254	No se observa una tendencia

Se puede observar por Tabla 5 de resumen de tendencias de parámetros operacionales con respecto a variables respuestas, que la mayoría de parámetros se comportan de manera similar y a mayores los valores de los parámetros ya sea profundidad de lecho GAC, velocidad de filtración o caudal, menor es la remoción de DOC o TOC, en cuando a EBCT con DOC o TOC, no se encuentra una tendencia. Con respecto a los parámetros operacionales EBCT, profundidad de lecho GAC y velocidad de filtración cuando mayor son estos parámetros mayor es la remoción de UV254, excepto con el parámetro operacional caudal y UV254 con el cual no se encuentra una tendencia en los datos recopilados de los estudios.

## **Tendencias en datos de literatura recopilados de dosis O<sub>3</sub> y EBCT**

Para examinar las tendencias en los datos de literatura recopilados de dos parámetros operacionales, dosis de ozono y tiempo de contacto con lecho vacío con respecto a la remoción de las variables respuesta DOC o TOC y UV254 se realizaron gráficos de dispersión con superficie 3D y un gráfico de contorno para cada variable respuesta.

Gráficos se visualizan en Figura 19 con información de los parámetros operacionales dosis O<sub>3</sub> y EBCT con respecto a las variables respuesta DOC o TOC y UV254.

Aunque la Figura 19 no muestra que los datos recolectados en la literatura sigan una tendencia entre los parámetros operacionales dosis de ozono, EBCT y porcentaje de remoción de DOC o TOC por el proceso O<sub>3</sub>-BAC, lo mismo sucede con porcentaje de remoción de UV254.

Juntando los datos recolectados de estos dos parámetros operacionales se encontró en literatura un máximo de remoción de DOC o TOC de 54% cuando la dosis de O<sub>3</sub> era de 12000 mgO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> y el EBCT era de 0,4 h. La máxima remoción de UV254 encontrada fue de 93% y ocurría con los mismos valores de parámetros operacionales.

Según la Figura 19 b) se acerca a este porcentaje de remoción de DOC o TOC entre 50 y 54% cuando la dosis de O<sub>3</sub> se encuentra entre 10000-12500 mgO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> con EBCT 0,2-0,5 h y cercanos a dosis O<sub>3</sub> 6500 mgO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> y EBCT 0,3h.

Y en Figura 19 d), se observan mayores remociones de UV254 (70-94%) cuando los parámetros operacionales se encuentran cercanos a dosis de O<sub>3</sub> 6000-12000 mgO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> y EBCT 0,33-0,6 h.

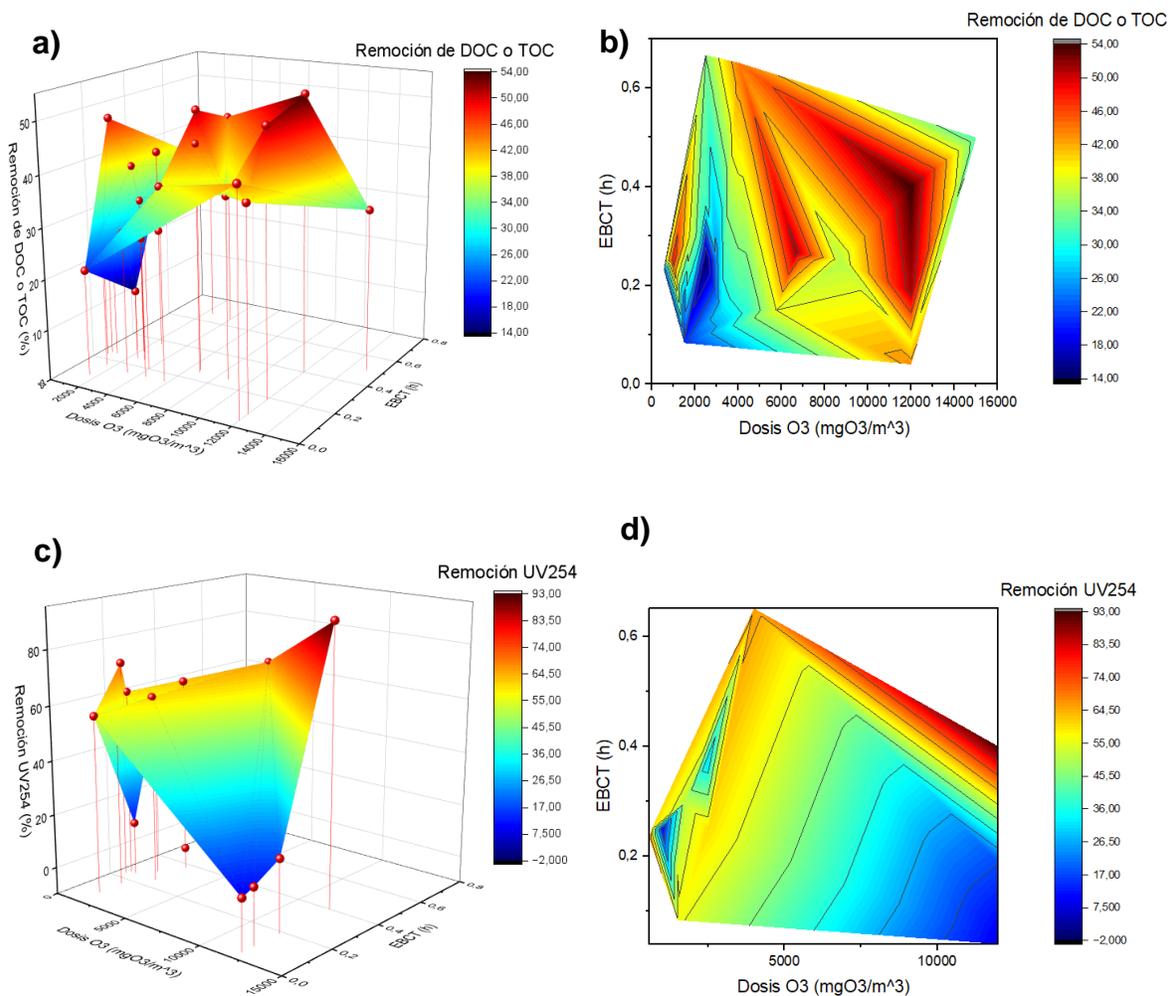


Figura 19. **a)** gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs tiempo de contacto con lecho vacío vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **b)** gráfico de contorno de dosis de ozono vs tiempo de contacto con lecho vacío vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **c)** gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs tiempo de contacto con lecho vacío vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **d)** gráfico de contorno de dosis de ozono vs tiempo de contacto con lecho vacío vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O<sub>3</sub>-BAC.

## Tendencias en datos de literatura recopilados de interacción entre dos parámetros operacionales y variables respuestas

Se realizaron gráficos de dispersión con superficie 3D y gráficos de contorno, para las interacciones entre parámetros operacionales y cada variable respuesta encontrados en ANEXO 4: Tendencias en datos de literatura recopilados de interacción entre dos parámetros operacionales y variables respuestas.

A continuación, se observa la Tabla 6 de resumen de tendencias de dos parámetros operacionales con respecto a variables respuesta, donde resume lo analizado por gráficos de dispersión con superficie 3D y gráficos de contorno entre dos parámetros operacionales y una variable respuesta.

Tabla 6. Resumen de tendencias de dos parámetros operacionales con respecto a variables respuestas.

Parámetros operacionales	Variable respuesta	Tendencia sugerida con literatura recopilada
<b>Dosis O<sub>3</sub> y profundidad de lecho GAC</b>	DOC o TOC	Mayor dosis de O <sub>3</sub> y menor profundidad de lecho de GAC, mayor remoción de DOC o TOC
	UV254	Mayor dosis de O <sub>3</sub> y mayor profundidad de lecho, mayor remoción de UV254
<b>Dosis O<sub>3</sub> y velocidad de filtración</b>	DOC o TOC	Mayor dosis de O <sub>3</sub> y menor velocidad de filtración, mayor remoción de DOC o TOC
	UV254	No se observa tendencia
<b>Dosis O<sub>3</sub> y caudal</b>	DOC o TOC	Mayor dosis O <sub>3</sub> y menor caudal, mayor remoción de DOC o TOC
	UV254	Mayor dosis O <sub>3</sub> y menor caudal, mayor remoción de UV254
<b>EBCT y profundidad de lecho GAC</b>	DOC o TOC	No se observa tendencia
	UV254	No se observa tendencia
<b>EBCT y velocidad de filtración</b>	DOC o TOC	No se observa tendencia
	UV254	No se observa tendencia
<b>EBCT y caudal</b>	DOC o TOC	No se observa tendencia

	UV254	Mayor EBCT y menor caudal, mayor la remoción de UV254.
<b>Profundidad de lecho GAC y velocidad de filtración</b>	DOC o TOC	No se observa tendencia
	UV254	No se observa tendencia
<b>Profundidad de lecho GAC y caudal</b>	DOC o TOC	Menor profundidad de lecho GAC y menor caudal, mayor remoción de DOC o TOC
	UV254	Poca información para observar tendencia
<b>Velocidad de filtración y caudal</b>	DOC o TOC	No se observa tendencia
	UV254	No se observa tendencia

Es posible analizar por Tabla 6 sobre resumen de tendencias de dos parámetros operacionales con respecto a variables respuestas lo siguiente:

Datos que contenían información sobre parámetros operacional dosis de ozono indica que a mayor dosis de ozono este tiende a una mayor remoción de las variables respuestas ya sean porcentajes de remoción de DOC o TOC o de UV254, cuando el otro parámetro operacional era menor, ya sean los parámetros profundidad de lecho GAC, velocidad de filtración o cauda (flujo volumétrico). Excepto cuando se estudió los datos de dosis de O<sub>3</sub> y profundidad de lecho GAC con respecto a la remoción de UV254, donde se observó que, a mayor dosis O<sub>3</sub> y mayor profundidad de lecho GAC, mayor es la remoción de UV254.

Tendencias encontradas con respecto al parámetro operacional EBCT fueron que, cuando el parámetro operacional EBCT es mayor y el parámetro operacional caudal (flujo volumétrico) es menor existe una tendencia de mayor remoción de UV254 en los datos recopilados.

Y en cuanto a el parámetro operacional profundidad de lecho y caudal (fujo volumétrico) con respecto al porcentaje de remoción de DOC o TOC, se encontró que, a menor profundidad de lecho GAC y menor caudal, los datos recopilados tienen a una mayor remoción de DOC o TOC.

Otras combinaciones e interacciones entre parámetros operacionales y variables respuestas no se mencionan, debido a que, por como se muestra en Tabla 6 no se observan tendencias o como en caso de profundidad de lecho de GAC y caudal con respecto a la remoción de UV254 se encuentra poca información como para observar tendencias.

### **6.3. Resultados asociados al objetivo específico 3 (Analizar la capacidad de remoción de variables respuesta del tratamiento de ozonización seguida de biofiltro de carbón activado granular con diferentes condiciones de las variables operacionales y sus interacciones).**

En el siguiente apartado se realizó un análisis comparando los resultados obtenidos del objetivo específico 2, es decir, las tendencias que siguen los datos recolectados de los artículos seleccionados del análisis exploratorio de este estudio con información en la literatura.

#### **Variables respuestas DOC, TOC y UV254**

Como se expuso anteriormente, las variables respuestas seleccionadas a estudiar fueron DOC, TOC y UV254, por ser variables que proporcionan una medición de la materia orgánica (OM) en el agua, de interés debido a que concentraciones de OM generan color, actúa como precursor de subproductos de desinfección, además, la medición de la OM es importante para establecer las condiciones físicas y los índices de contaminación del agua y permite supervisar la efectividad de los procesos de tratamiento. Otra razón por la que se escogieron estas variables respuesta (DOC, TOC y UV254) fue por ser las variables con mayor número de datos disponibles literatura en la seleccionada.

Estudios determinan una buena correlación entre TOC y DOC con UV254, lo que sugiere que se puede usar este parámetro de medición simple y económico como sustituto de la medición del carbono orgánico (Jiménez-Antillón et al., 2021; Albrektiene et al., 2012). Sin embargo, la relación exacta entre la absorbancia de UV y la concentración de carbono orgánico total es única para cada fuente de agua

cruda, y las mediciones de la absorbancia UV no tienen en cuenta toda la materia orgánica presente, ya que la materia orgánica sin anillos o enlaces dobles no se medirá, y el procedimiento analítico requiere la filtración de la muestra, por lo que los resultados están relacionados con la concentración de DOC en lugar de la concentración de TOC. (Leguizamón y Sarmiento, 2020). Por lo que los datos de DOC, TOC y UV254 no necesariamente tienen un comportamiento similar.

### **Comparación entre tendencias de datos recopilados de dosis O<sub>3</sub> e interacción con otros parámetros operacionales con información en literatura**

En literatura se encuentran diferente información respecto a lo establecido en las Figuras 16 y 18 de remoción de DOC o TOC y dosis de ozono, que mostraron tendencias de a mayor dosis de ozono, mayor remoción de DOC o TOC y UV254.

Existen artículos que no concuerdan con los resultados expuestos anteriormente, estas son particularidades, como los resultados de Nishijima y Okada (1998) que relata que la ozonización no solo transforma las sustancias no biodegradables en materia biodegradable, sino también el carbono orgánico particulado (POC) en carbono orgánico disuelto (DOC). Por lo que la ozonización afectaría la remoción de DOC.

También se encuentra el estudio de Liao et al. (2013), el cual concluye que la ozonización no produce una eliminación significativa, sino un ligero aumento del DOC.

Incluso Vasyukova et al. (2013) muestra resultados en el que el tratamiento con ozono por sí solo no afecta la remoción de DOC.

En cambio, existen artículos que concuerdan con las tendencias seguidas por los datos de artículos recopilados de a mayor dosis de ozono, mayor remoción de DOC o TOC y UV254.

Según Lin et al. (2020), el porcentaje de remoción de DOC mejora después del tratamiento de ozonización, lo que concuerda con otros autores como Wu et al.

(2013) y Swiderska-Broz y Wolska (2012), concordando al igual con lo observado en las gráficas de dispersión con la tendencia de los datos recolectados.

Además, varios autores han documentado que el uso de ozonización mejora la eficiencia de remoción mediante la posterior filtración con carbón activado biológico (Yang et al. 2010; Liao et al. 2018; Chen et al. 2007 y Terry y Summers 2018).

Rittmann et al. (2002) concluyeron que, a mayores dosis de ozono, mejor es la remoción de DOC, debido a que en su estudio las remociones de DOC fueron de hasta un 38%, esta remoción se produjo en los biofiltros, especialmente cuando las dosis de ozono eran altas. Concordando con lo concluido por otros autores como Van der Helm et al. (2007) según Van der Aa et al. (2011) y Liao et al. (2017).

Esto se atribuye a que el proceso de ozonización provoca una reducción de las concentraciones de carbono orgánico total y de carbono orgánico disuelto, debido a la transformación de sustancias no biodegradables en compuestos de menor peso molecular (Swiderska-Broz y Wolska, 2012), mejorando la biodegradabilidad de las sustancias orgánicas y facilitando la remoción en el tratamiento posterior del BAC (Wu et al., 2013; Vasyukova et al., 2013).

Con respecto a la literatura encontrada sobre la remoción de UV254 y ozono, según Li et al. (2018), el ozono contribuye a una mayor remoción de UV254, reduciendo la concentración de UV254 en el proceso, esto concuerda con información dada por otros autores como Klevens et al. (1996), Vasyukova et al. (2013), Xu et al. (2007) y Kim et al. (1997), los cuales atribuyen esta reducción de la concentración de UV254 a la ruptura de los dobles enlaces de compuestos conjugados o aromáticos por el ozono, como el enlace  $-C=O$ .

La mayoría de la información literaria de distintos autores encontrada concuerdan con lo sugerido por los gráficos de dispersión siguiendo las tendencias de a mayor dosis de  $O_3$ , mayor remoción de DOC o TOC y de UV254.

Además, Siddiqui et al. (1997) encontraron que el aumento de la relación ozono/DOC convertía más DOC en BDOC, pero no aumentaba la remoción de DOC

después de una relación ozono/DOC de 1 mg/mg, es decir, dando lugar a reducciones de DOC del 40-50%. Siendo en este estudio las dosis de ozono óptimas para la remoción de DOC de 3 a 6 mgO<sub>3</sub>/L, lo que es mayor a la tendencia de dosis de ozono más utilizadas por los estudios recolectados de la literatura encontrados entre 0,05 a 4 mgO<sub>3</sub>/L, logrando remociones desde 15 a 48%.

Otras tendencias encontradas con relación a la dosis de ozono se comparan a continuación.

La tendencia entre parámetros operacionales dosis de ozono y profundidad de lecho GAC es una de estas, en los datos bibliográficos recopilados y los gráficos de dispersión con superficie 3D con gráficos de contorno realizados, se encontró la tendencia de a mayor dosis de ozono y menor profundidad de lecho GAC, se obtiene una mayor remoción de DOC o TOC, según los datos recopilados, por lo que se esperaba que en literatura se expresara la misma tendencia, sin embargo, esto no sucede.

La literatura no concuerda con estos resultados, debido que esta expresa que una profundidad de lecho mayor, produce una mejor remoción de materia orgánica y remoción de TOC y profundidades de lecho poco profundas, es decir, profundidades de lecho menores, conllevan a remociones menores en el biofiltro (Hoang et al. 2008).

Se sugiere que el desacuerdo entre literatura y datos bibliográficos recopilados sucede debido a que los datos bibliográficos recopilados con mayores dosis de ozono son aquellos estudios que tienen una profundidad de lecho menor, por lo que la dosis de ozono predomina en esta remoción de DOC o TOC, lo que indicaría que existe una cantidad de agua con compuestos biodegradables más disponibles, pasando a ser la profundidad de lecho de GAC un parámetro secundario, con menos influencia en la remoción.

También se observa una tendencia en los datos recopilados de a mayor dosis de ozono y menores velocidades de filtración, mayor remoción de DOC o TOC. Esto

concuerta con la literatura encontrada, desde el punto operacionales de los biofiltros que, velocidades de filtración más lentas permiten una mejor formación de la capa biológica del biofiltro, permitiendo un mejor funcionamiento del BAC y una mayor remoción (Arango, 2004).

Desde el punto de la dosis de O<sub>3</sub>, en los datos recopilados, sigue predominando la remoción debido a los estudios con altas dosis, que son los mismos que contienen bajas velocidades de filtración, como ocurre con las profundidades de lecho. Las tendencias de dosis de ozono y caudal encontradas son de a mayor dosis de ozono y menor caudal, mayor remoción de DOC o TOC y UV254, y estas se comportan de manera similar a lo discutido de velocidades de filtración.

### **Comparación entre tendencias de datos recopilados de EBCT e interacción con otros parámetros operacionales con información en literatura**

El tiempo de contacto con el lecho vacío (EBCT) ha sido aceptado como uno de los parámetros más comunes para ayudar a predecir la eliminación de materia orgánica en biofiltros, sin embargo, aún existe cierta discrepancia sobre el tiempo óptimo para mejorar la eficiencia de remoción de materia orgánica en el biofiltro (Basu et al., 2016).

En la literatura se encuentran diversas conclusiones sobre este parámetro y no se ha llegado a un acuerdo sobre el tiempo necesario, lo que concuerda con lo supuesto por la Figura 19 de EBCT y remoción de DOC o TOC, donde se expone que no existe una tendencia en los datos recopilados sobre el EBCT y la remoción de DOC o TOC. En diferentes artículos de la literatura se han utilizado diferentes EBCT, logrando diversos resultados como se resume en la Tabla 7.

Tabla 7. Información de la literatura de diversos valores de EBCT utilizados y resultados obtenidos.

<b>EBCT</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>Referencias</b>
3,5-9 min	Remoción de DOC de 40%	Rittmann et al. (2002)
15-20 min	Remoción de TOC >50%	LeChevallier et al. (1991)
16 min	Óptimo para remoción de OM	Tak y Vellanki (2020)
Hasta 30 min	Aumenta la remoción de OM, EBCT más largos no tienen impacto adicional para el biofiltro	Moona et al. (2021)
>30	Tienen ventajas para el biofiltro	Moona et al. (2021)

Si bien en los estudios de EBCT recopilados no se observa un acuerdo entre estos para conocer un EBCT óptimo para la remoción de materia orgánica, se sabe que el EBCT es la duración en la que los compuestos orgánicos se difunden en la capa biológica y se biodegradan por la biomasa adherida a la superficie de BAC, y la biodegradación es un fenómeno lento, por lo que aumentar el valor de EBCT mejorará la eficiencia de la biodegradación (Tak y Vellanki, 2020; Terry y Summers, 2018). Esto no se ve demostrado por la Figura 19 de EBCT y remoción de DOC o TOC, sin embargo, si concuerda con la tendencia demostrada en Figura 20 de EBCT y remoción de UV254 y con diferentes estudios previamente informados donde indican que al aumentar los EBCT, aumenta la remoción de materia orgánica biodegradable (Moona et al., 2021; Tak y Vellanki 2020). Como Urfer et al. (1997) que resumieron que los estudios han demostrado que la eliminación de DOC aumenta con la EBCT, pero concluye que la relación no es lineal (Terry y Summers, 2018).

Otras tendencias encontradas con relación al EBCT e interacción con otros parámetros operacionales como caudal y profundidad de lecho se comparan con la literatura a continuación.

Comparando la tendencia encontrada en datos recopilados entre parámetros operacionales EBCT y caudal (fluido volumétrico) con respecto a la variable respuesta UV254, de a mayor EBCT y menor caudal, mayor es la remoción de UV254. Esta tendencia mencionada concuerda con la literatura.

La información de la literatura que concuerda con la tendencia de a mayor EBCY y menor caudal, mayor sería la remoción de UV254, define el tiempo de contacto con el lecho vacío (EBCT) como una medida de tiempo de residencia del agua en el biofiltro y es un parámetro de diseño crucial para el funcionamiento de los biofiltros, el cual se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$\text{EBCT} = \frac{\text{Profundidad del medio filtrante}}{\text{HLR}} = \frac{\text{Volumen del medio filtrante}}{\text{Caudal}}$$
  
(Terry y Summers, 2018).

Con esta ecuación se puede observar que, al disminuir el caudal, aumentaría el EBCT y en información en la literatura se expresa que al aumentar el EBCT aumentaría la remoción de materia orgánica, aunque no se llega a un acuerdo del tiempo específica necesario.

Además, teniendo en cuenta la ecuación anterior, se puede observar que EBCT, puede depender de otros parámetros como profundidad de lecho, tasa de carga hidráulica y volumen del medio filtrante. No obstante, los datos recopilados de la bibliografía no contienen la disponibilidad necesaria de datos para observar tendencias de estos parámetros.

Por otro lado, se conoce que el EBCT es el tiempo de residencia del fluido en el filtro calculado como si todo el volumen del medio filtrante estuviera ocupado por agua. Desde una perspectiva operativa, los EBCT largos requieren filtros grandes que contengan más medio filtrante, por lo tanto, mayor profundidad de lecho, debido a que grandes cantidades de agua pasan a través de estos (Moona et al., 2021).

Si bien se ve en la literatura que a EBCT más largas, mayor remoción, debe haber un límite práctico, ya que el aumento de la EBCT produce profundidades de lecho GAC más largas, por lo tanto, más área de filtrado (Terry y Summers, 2018).

## 7. CONCLUSIONES

La base de datos creada (de variables operacionales y eficiencias de ozonización seguida de biofiltración con carbón activado granular) no permite visualizar los patrones en comportamiento de los parámetros, por ser estudios independientes entre sí que no incluyen todas las mismas variables, realizados con diferentes metodologías (reactores, dosis de ozono inicial, entre otras condiciones experimentales). En este estudio solo se logró un análisis preliminar de las variables operacionales que influyen en el proceso del tratamiento para producción de agua potable O<sub>3</sub>-BAC.

Los parámetros operacionales del tratamiento O<sub>3</sub>-BAC con mayor cantidad de datos encontrada en literatura y observados como relevantes en la recopilación de datos para el tratamiento fueron la dosis de ozono y el tiempo de contacto con el lecho vacío (EBCT).

- La dosis de ozono influye en la degradación de la materia orgánica del proceso O<sub>3</sub>-BAC, debido a que datos recopilados muestran tendencias de que, a mayor dosis de ozono, mayor remoción de materia orgánica. Debido a que la ozonización aumenta la biodegradabilidad de la materia orgánica, facilitando la degradación biológica de esta en la siguiente etapa del proceso BAC.
- El EBCT influye en la remoción de materia orgánica, debido a que datos recopilados muestran tendencias de a mayor EBCT, mayor remoción de materia orgánica.

Teniendo en consideración que la eficiencia dependerá de las características del agua a tratar, de la biodegradabilidad de los compuestos orgánicos y la actividad biológica en el BAC. Además, de que a mayores EBCT, se necesitan biofiltros de mayor tamaño, por lo que el aumento de BAC debería tener un límite práctico. En la literatura encontrada existen desacuerdos en el tiempo de contacto con el lecho vacío (EBCT) óptimo a utilizar, lo que puede indicar que otros parámetros

operacionales aún necesitan mayor investigación para ayudar a predecir la remoción de materia orgánica en biofiltros.

La capacidad de remoción de las variables respuestas seleccionadas y recopiladas de DOC o TOC y UV254 van desde 14 a 54% y -2 a 93% respectivamente, donde las remociones máximas se encontraban con dosis de ozono más altos y distintos valores de EBCT.

Por lo tanto, el proceso de tratamiento de agua potable ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular es eficaz para la remoción de la materia orgánica, pero se requiere mayor investigación en la optimización de los parámetros operacionales para lograr una máxima remoción, debido a que estos influyen en la eficiencia del biofiltro, en especial la dosis de ozono que influye en aumentar la biodegradabilidad de la materia orgánica para ser eliminada por el siguiente proceso de biofiltración con carbón activado y el tiempo de contacto con el lecho vacío. Esto último es de relevancia porque este será el tiempo que tienen los microorganismos del biofiltro para biodegradar la materia orgánica que anteriormente aumento su biodegradabilidad por el proceso de ozonización.

De la literatura encontrada se reconoce la falta de investigaciones que examinen parámetros operacionales del proceso O<sub>3</sub>-BAC que pueden influir en el valor del EBCT tales como, profundidad del lecho GAC, tiempo de retención hidráulico, y volumen del medio filtrante, además, de las características de biomasa que se encuentra dentro del BAC y la composición del agua entrante al proceso, debido a su relación con la biodegradación.

## **8. CONTRIBUCIÓN A LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE**

La contribución a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) del presente informe sobre análisis de variables operacionales de la ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular en la producción de agua potable son:

- Objetivo 3 de Salud y Bienestar, particularmente en la meta del objetivo “para 2030, reducir sustancialmente el número de muertes y enfermedades causadas por productos químicos peligrosos y la contaminación y contaminación del aire, el agua y el suelo”.
- Objetivo 6 de Agua Limpia y Saneamiento, particularmente en la meta del objetivo “de aquí a 2030, lograr el acceso universal y equitativo al agua potable a un precio asequible para todos”. Debido a que el conocimiento de los parámetros del proceso O<sub>3</sub>-BAC y como influyen en la remoción de materia orgánica, crea la posibilidad de implementar con mayor facilidad el proceso en las plantas de tratamiento reduciendo costos y maximizando la eficiencia del proceso de remoción de contaminantes en el agua.

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Akcay, M.U., Avdan, Z.Y. and Inan, H. 2016. Effect of biofiltration process on the control of THMs and HAAs in drinking water. *Desalination and Water Treatment* 57(6), 2546-2554.

Albrektiene, R., Rimeika, M., Zalieckiene, E., Saulys, V. and Zagorskis, A. 2012. Determination of organic matter by UV absorption in the ground water. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 20(2), 163-167.

Arango, Á., 2004. La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua. *Revista Lasallista de Investigación*, 1(2), 61-66.

Archer, A.D. and Singer, P.C. 2006. An evaluation of the relationship between SUVA and NOM coagulation using the ICR database. *Journal American Water Works Association* 98(7), 110-123.

Asami, T., Katayama, H., Torrey, J.R., Visvanathan, C. and Furumai, H. 2016. Evaluation of virus removal efficiency of coagulation-sedimentation and rapid sand filtration processes in a drinking water treatment plant in Bangkok, Thailand. *Water Research* 101, 84-94.

Basu, O.D., Dhawan, S. and Black, K. 2016. Applications of biofiltration in drinking water treatment - a review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 91(3), 585-595.

Benner, J., Helbling, D.E., Kohler, H.P.E., Wittebol, J., Kaiser, E., Prasse, C., Ternes, T.A., Albers, C.N., Amand, J., Horemans, B., Springael, D., Walravens, E. and Boon, N. 2013. Is biological treatment a viable alternative for micropollutant removal in drinking water treatment processes? *Water Research* 47(16), 5955-5976.

Boccelli, D.L., Small, M.J. and Diwekar, U.M. 2004. Treatment plant design for particulate removal: Effects of flow rate and particle characteristics. *Journal American Water Works Association* 96(11), 77-90.

Bradford, S.M., Palmer, C.J. and Olson, B.H. 1994. Assimilable organic-carbon concentrations in southern california surface and groundwater. *Water Research* 28(2), 427-435.

Camel, V. and Bermond, A. 1998. The use of ozone and associated oxidation processes in drinking water treatment. *Water Research* 32(11), 3208-3222.

Campos, A., Corção, G., and Domingues, A. 2016. Use of biological activated carbon for drinking water treatment. *Eng Sanit Ambien* 425-436.

Charnock, C. and Kjonno, O. 2000. Assimilable organic carbon and biodegradable dissolved organic carbon in Norwegian raw and drinking waters. *Water Research* 34(10), 2629-2642.

Chaukura, N., Moyo, W., Ingwani, T., Ndiweni, S.N., Gwenzi, W. and Nkambule, T.I. 2021. Comparative removal efficiencies of natural organic matter by conventional drinking water treatment plants in Zimbabwe and South Africa. *Water Environment Research* 93(4), 570-581.

Chen, C., Zhang, X.J., He, W.J., Lu, W. and Han, H.D. 2007. Comparison of seven kinds of drinking water treatment processes to enhance organic material removal: A pilot test. *Science of the Total Environment* 382(1), 93-102.

Chen, C., Zhang, X.J., Zhu, L.X., He, W.J. and Han, H.D. 2011. Changes in different organic matter fractions during conventional treatment and advanced treatment. *Journal of Environmental Sciences* 23(4), 582-586.

Chen, H., Lin, T., Chen, W., Tao, H. and Xu, H. 2019. Removal of disinfection byproduct precursors and reduction in additive toxicity of chlorinated and chloraminated waters by ozonation and up-flow biological activated carbon process. *Chemosphere* 216, 624-632.

Chew, C.M., Aroua, M.K., Hussain, M.A. and Ismail, W. 2016. Evaluation of ultrafiltration and conventional water treatment systems for sustainable

development: an industrial scale case study. *Journal of Cleaner Production* 112, 3152-3163.

Chien, I.C., Wu, S.P., Ke, H.C., Lo, S.L. and Tung, H.H. 2018. Comparing Ozonation and Biofiltration Treatment of Source Water with High Cyanobacteria-Derived Organic Matter: The Case of a Water Treatment Plant Followed by a Small-Scale Water Distribution System. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15(12), 12.

Escobar, I.C. and Randall, A.A. 2001. Assimilable organic carbon (AOC) and biodegradable dissolved organic carbon (BDOC): Complementary measurements. *Water Research* 35(18), 4444-4454.

Ge, M.Q., Lin, T., Zhou, K.M., Chen, H., Xu, H., Tao, H. and Chen, W. 2020. Characteristics and removal mechanism of the precursors of N-chloro-2,2-dichloroacetamide in a drinking water treatment process at Taihu Lake. *Frontiers of Environmental Science & Engineering* 15(5), 13.

Greenstein, K.E., Lew, J., Dickenson, E.R.V. and Wert, E.C. 2018. Investigation of biotransformation, sorption, and desorption of multiple chemical contaminants in pilot-scale drinking water biofilters. *Chemosphere* 200, 248-256.

Hammes, F., Berger, C., Koster, O. and Egli, T. 2010. Assessing biological stability of drinking water without disinfectant residuals in a full-scale water supply system. *Journal of Water Supply Research and Technology-Aqua* 59(1), 31-40.

Han, L.N., Liu, W.J., Chen, M., Zhang, M.L., Liu, S.M., Sun, R.L. and Fei, X.Q. 2013. Comparison of NOM removal and microbial properties in up-flow/down-flow BAC filter. *Water Research* 47(14), 4861-4868.

Hoang, T.T.L., Vigneswaran, S., Ngo, H.H., Kandasamy, J., Shim, W.G., Chaudhary, D.S., Gotety, P. and Peiris, P. 2008. Performance evaluation and mathematical modelling of granular activated carbon biofiltration in wastewater treatment. *Korean Journal of Chemical Engineering* 25(2), 259-267.

Homem, V. and Santos, L. 2011. Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices - A review. *Journal of Environmental Management* 92(10), 2304-2347.

Jimenez-Antillon, J., Quesada-Delgado, S. and Romero-Esquivel, L.G. 2022. Natural organic matter removal by conventional water treatment in a tropical river. *Tecnologia En Marcha* 35(2), 48-60.

Kim, W.H., Nishijima, W., Shoto, E. and Okada, M. 1997a. Competitive removal of dissolved organic carbon by adsorption and biodegradation on biological activated carbon. *Water Science and Technology* 35(7), 147-153.

Kim, W.H., Nishijima, W., Shoto, E. and Okada, M. 1997b. Pilot plant study on ozonation and biological activated carbon process for drinking water treatment. *Water Science and Technology* 35(8), 21-28.

Klevens, C.M., Collins, M.R., Negm, R., Farrar, M.F., Fulton, G.P. and Mastronardi, R. (1996) *Water Disinfection and Natural Organic Matter: Characterization and Control*. Minear, R.A. and Amy, G.L. (eds), pp. 211-250, Amer Chemical Soc, Washington.

Korotta-Gamage, S.M. and Sathasivan, A. 2017. A review: Potential and challenges of biologically activated carbon to remove natural organic matter in drinking water purification process. *Chemosphere* 167, 120-138.

Lechevallier, M.W., Schulz, W. and Lee, R.G. 1991. Bacterial nutrients in drinking-water. *Applied and Environmental Microbiology* 57(3), 857-862.

Leguizamón, M. y Sarmiento, L. 2020. Propuesta para un método de reducción de carbono orgánico total para el sistema de distribución de agua potable. [Proyecto integral de grado. Fundación Universidad de América] Repositorio institucional Lumieres de la Universidad de América. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8198/1/6102478-2020-2-IQ.pdf>.

- Li, G., Ben, W.W., Ye, H., Zhang, D. and Qiang, Z.M. 2018. Performance of ozonation and biological activated carbon in eliminating sulfonamides and sulfonamide-resistant bacteria: A pilot-scale study. *Chemical Engineering Journal* 341, 327-334.
- Li, L.S., Zhu, W.P., Zhang, P.Y., Zhang, Q.Y. and Zhang, Z.L. 2006. AC/O-3-BAC processes for removing refractory and hazardous pollutants in raw water. *Journal of Hazardous Materials* 135(1-3), 129-133.
- Liao, X.B., Chen, C., Yuan, B.L., Wang, J. and Zhang, X.J. 2017. Control of Nitrosamines, THMs, and HAAs in Heavily Impacted Water With O-3-BAC. *Journal American Water Works Association* 109(6), E215-E225.
- Liao, X.B., Zhang, X.J., Wang, J., Li, X.B., Wang, C.K. and Chen, C. 2013. Application of conventional and O-3-BAC processes to treat organic matter and antibiotic pollutants in a lake in East China. *Water Science and Technology-Water Supply* 13(6), 1470-1477.
- Liao, X.B., Zou, R.S., Chen, C., Yuan, B.L., Zhou, Z.M. and Zhang, X.J. 2018. Evaluating the biosafety of conventional and O-3-BAC process and its relationship with NOM characteristics. *Environmental Technology* 39(2), 221-230.
- Lin, Q.F., Dong, F.L., Miao, Y.X., Li, C. and Fei, W.C. 2020. Removal of disinfection by-products and their precursors during drinking water treatment processes. *Water Environment Research* 92(5), 698-705.
- Lou, J.C., Chang, T.W. and Huang, C.E. 2009. Effective removal of disinfection by-products and assimilable organic carbon: An advanced water treatment system. *Journal of Hazardous Materials* 172(2-3), 1365-1371.
- Lu, Z.D., Sun, W.J., Li, C., Cao, W.F., Jing, Z.B., Li, S.M., Ao, X.W., Chen, C. and Liu, S.M. 2020. Effect of granular activated carbon pore-size distribution on biological activated carbon filter performance. *Water Research* 177, 13.

Matilainen, A., Vepsäläinen, M. and Sillanpää, M. 2010. Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. *Advances in Colloid and Interface Science* 159(2), 189-197.

Mingo, J.O. 2018. Organic matter removal in bio-filters to achieve biologically stable water downstream of the process. *Water Practice and Technology* 13(1), 45-51.

Molins, F., Serrano, M.A. 2019. Bases neurales de la aversión a las pérdidas en contextos económicos: revisión sistemática según las directrices PRISMA. *Rev Neurol* 68: 47-58.

Moona, N., Holmes, A., Wunsch, U.J., Pettersson, T.J.R. and Murphy, K.R. 2021. Full-Scale Manipulation of the Empty Bed Contact Time to Optimize Dissolved Organic Matter Removal by Drinking Water Biofilters. *Acs Es&T Water* 1(5), 1117-1126.

Nishijima, W. and Okada, M. 1998. Particle separation as a pretreatment of an advanced drinking water treatment process by ozonation and biological activated carbon. *Water Science and Technology* 37(10), 117-124.

Nishijima, W., Kim, W.H., Shoto, E. and Okada, M. 1998. The performance of an ozonation biological activated carbon process under long term operation. *Water Science and Technology* 38(6), 163-169.

ONU. 2019. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás. París, UNESCO.

Ortiz, J., 2015. Tratamientos avanzados de agua potable para eliminación de materia orgánica disuelta: aplicación del BAC [Tesis doctoral]. Universidad politécnica de Madrid, Madrid. [http://oa.upm.es/37280/1/Jesus\\_Ortiz\\_Mingo.pdf](http://oa.upm.es/37280/1/Jesus_Ortiz_Mingo.pdf).

Phungsai, P., Kurisu, F., Kasuga, I. and Furumai, H. 2018. Changes in Dissolved Organic Matter Composition and Disinfection Byproduct Precursors in Advanced

Drinking Water Treatment Processes. *Environmental Science & Technology* 52(6), 3392-3401.

Prest, E.I., Hammes, F., van Loosdrecht, M.C.M. and Vrouwenvelder, J.S. 2016. Biological Stability of Drinking Water: Controlling Factors, Methods, and Challenges. *Frontiers in Microbiology* 7, 24.

Rahmanian, N., Ali, S.H.B., Homayoonfard, M., Ali, N.J., Rehan, M., Sadeq, Y. and Nizami, A.S. 2015. Analysis of Physiochemical Parameters to Evaluate the Drinking Water Quality in the State of Perak, Malaysia. *Journal of Chemistry* 2015, 10.

Rittmann, B.E., Stilwell, D., Garside, J.C., Amy, G.L., Spangenberg, C., Kalinsky, A. and Akiyoshi, E. 2002. Treatment of a colored groundwater by ozone-biofiltration: pilot studies and modeling interpretation. *Water Research* 36(13), 3387-3397.

Seredynska-Sobecka, B., Tomaszewska, M., Janus, M. and Morawski, A.W. 2006. Biological activation of carbon filters. *Water Research* 40(2), 355-363.

Siddiqui, M.S., Amy, G.L. and Murphy, B.D. 1997. Ozone enhanced removal of natural organic matter from drinking water sources. *Water Research* 31(12), 3098-3106.

Song, A.A., Liu, X., Liu, Y., Lyu, L.H. and Ma, L.M. 2015. Fate of Organic Pollutants in a Full-Scale Drinking Water Treatment Plant Using O-3-BAC. *Ozone-Science & Engineering* 37(3), 257-268.

Swiderska-Broz, M. and Wolska, M. 2012. Efficiency of ozonation followed by filtration through a biologically active adsorption bed at removing biogenic organic substances from surface water. *Environment Protection Engineering* 38(2), 19-28.

Tak, S. and Vellanki, B.P. 2020. Comparison of O-3-BAC, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-BAC, and O-3/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-BAC treatments for limiting the formation of disinfection byproducts during drinking water treatment in India. *Journal of Environmental Chemical Engineering* 8(5), 9.

Terry, L.G. and Summers, R.S. 2018. Biodegradable organic matter and rapid-rate biofilter performance: A review. *Water Research* 128, 234-245.

Tian, C.A., Liu, F., Bai, Y.H., Liu, R.P., Chen, H., Wang, B. and Qu, J.H. 2016. Comparison of Fe-Mn enhanced coagulation and O<sub>3</sub>-BAC for removing natural organic matter from source waters: a case study. *Desalination and Water Treatment* 57(20), 9101-9114.

Trequer, R., Tatin, R., Couvert, A., Wolbert, D. and Tazi-Pain, A. 2010. Ozonation effect on natural organic matter adsorption and biodegradation - Application to a membrane bioreactor containing activated carbon for drinking water production. *Water Research* 44(3), 781-788.

Tubic, A., Agbaba, J., Dalmacija, B., Perovic, S.U., Klasnja, M., Roncevic, S. and Ivancev-Tumbas, I. 2011. Removal of Natural Organic Matter from Groundwater Using Advanced Oxidation Processes at a Pilot Scale Drinking Water Treatment Plant in the Central Banat Region (Serbia). *Ozone-Science & Engineering* 33(4), 267-278.

Urfer, D., Huck, P.M., Booth, S.D.J. and Coffey, B.M. 1997. Biological filtration for BOM and particle removal: a critical review. *Journal American Water Works Association* 89(12), 83-98.

Uyak, V., Ozdemir, K. and Toroz, I. 2008. Seasonal variations of disinfection by-product precursors profile and their removal through surface water treatment plants. *Science of the Total Environment* 390(2-3), 417-424.

Van der Aa, L. T. J., Rietveld, L.C., van Dijk, J.C. 2011. Effects of ozonation and temperature on the biodegradation of natural organic matter in biological granular activated carbon filters. *Drinking water engineering and science* 4, 25-35.

Vasyukova, E., Proft, R., Jousten, J., Slavik, I. and Uhl, W. 2013. Removal of natural organic matter and trihalomethane formation potential in a full-scale drinking water treatment plant. *Water Science and Technology-Water Supply* 13(4), 1099-1108.

Velten, S., Boller, M., Koster, O., Helbing, J., Weilenmann, H.U. and Hammes, F. 2011. Development of biomass in a drinking water granular active carbon (GAC) filter. *Water Research* 45(19), 6347-6354.

Volk, C.J. and Lechevallier, M.W. 2002. Effects of conventional treatment on AOC and BDOC levels. *Journal American Water Works Association* 94(6), 112-123.

von Gunten, U. 2003. Ozonation of drinking water: Part I. Oxidation kinetics and product formation. *Water Research* 37(7), 1443-1467.

Wu, Y.F., Zhu, G.C. and Lu, X.W. 2013. Characteristics of DOM and Removal of DBPs Precursors across O-3-BAC Integrated Treatment for the Micro-Polluted Raw Water of the Huangpu River. *Water* 5(4), 1472-1486.

Xiang, H., Lu, X.W., Yin, L.H., Yang, F., Zhu, G.C. and Liu, W.P. 2013. Microbial community characterization, activity analysis and purifying efficiency in a biofilter process. *Journal of Environmental Sciences* 25(4), 677-687.

Xu, B., Gao, N.Y., Sun, X.F., Xia, S.J., Simonnot, M.O., Causserand, C., Rui, M. and Wu, H.F. 2007. Characteristics of organic material in Huangpu River and treatability with the O-3-BAC process. *Separation and Purification Technology* 57(2), 348-355.

Yan, M.Q., Wang, D.S., Ma, X.N., Ni, J.R. and Zhang, H.S. 2010. THMs precursor removal by an integrated process of ozonation and biological granular activated carbon for typical Northern China water. *Separation and Purification Technology* 72(3), 263-268.

Yang, J.S., Yuan, D.X. and Weng, T.P. 2010. Pilot study of drinking water treatment with GAC, O-3/BAC and membrane processes in Kinmen Island, Taiwan. *Desalination* 263(1-3), 271-278.

Yang, K., Yu, J.W., Guo, Q.Y., Wang, C.M., Xia, P., Yang, Y.J. and Yang, M. 2019. Treatment performance comparison between regular O-3-BAC and O-3-BAC with rear sand filtration: verification in a full-scale study. *Environmental Sciences Europe* 31, 9.

- Yang, K., Yu, J.W., Guo, Q.Y., Wang, C.M., Yang, M., Zhang, Y., Xia, P., Zhang, D. and Yu, Z.Y. 2017. Comparison of micropollutants' removal performance between pre-ozonation and post-ozonation using a pilot study. *Water Research* 111, 147-153.
- Zhang, D.Y., Li, W.G., Zhang, S.M., Liu, M., Zhao, X.Y. and Zhang, X.C. 2011. Bacterial Community and Function of Biological Activated Carbon Filter in Drinking Water Treatment. *Biomedical and Environmental Sciences* 24(2), 122-131.
- Zhang, X.X., Zhang, Z.Y., Ma, L.P., Liu, N., Wu, B., Zhang, Y., Li, A.M. and Cheng, S.P. 2010. Influences of hydraulic loading rate on SVOC removal and microbial community structure in drinking water treatment biofilters. *Journal of Hazardous Materials* 178(1-3), 652-657.
- Zheng, J., Lin, T., Chen, W., Tao, H., Tan, Y.W. and Ma, B.W. 2018. Removal of precursors of typical nitrogenous disinfection byproducts in ozonation integrated with biological activated carbon (O-3/BAC). *Chemosphere* 209, 68-77.
- Zhu, Y.N., Jiang, S., Han, X.X.Q., Gao, X.R., He, G.H., Zhao, Y. and Li, H.H. 2019. A Bibliometrics Review of Water Footprint Research in China: 2003-2018. *Sustainability* 11(18), 16.
- Zularisam, A.W., Ismail, A.F., Salim, M.R., Sakinah, M. and Ozaki, H. 2007. The effects of natural organic matter (NOM) fractions on fouling characteristics and flux recovery of ultrafiltration membranes. *Desalination* 212(1-3), 191-208.

## 10. ANEXOS

### ANEXO 1: Ecuaciones y conversiones de medidas

A continuación, se detallan los factores de conversión de unidades de medida para cada variable, utilizados para homogeneizar la base de datos obtenida con los valores recolectados de los diferentes estudios de artículos seleccionados que tenían información sobre el proceso O<sub>3</sub>-BAC.

Dosis O<sub>3</sub>:

- $\text{mgO}_3/\text{mgTOC o DOC a mgO}_3/\text{L} = (\text{Dosis mgO}_3/\text{mgTOC o DOC}) * (\text{AfluenteO}_3 \text{ mgTOC o DOC}/\text{L})$
- $\text{mgO}_3/\text{L a mgO}_3/\text{mgTOC o DOC} = (\text{Dosis mgO}_3/\text{L}) / (\text{AfluenteO}_3 \text{ mgTOC o DOC}/\text{L})$
- $\text{mgO}_3/\text{L a mgO}_3/\text{m}^3 = (\text{mgO}_3/\text{L}) * (100\text{L}/1\text{m}^3)$

Tiempo de contacto con O<sub>3</sub>, tiempo de retención hidráulica O<sub>3</sub>, tiempo de residencia, tiempo de retención hidráulica (HRT) y tiempo de contacto con el lecho vacío (EBCT):

- $\text{Minutos (min) a horas (h)} = x_{\text{min}} * (1\text{h}/60\text{min})$

Volumen de trabajo O<sub>3</sub>:

- $\text{Litros (L) a metros cúbicos (m}^3) = x_{\text{L}} * (1\text{m}^3/1000\text{L})$
- $\text{Mililitros (mL) a metros cúbicos (m}^3) = x_{\text{mL}} * (1\text{m}^3/1000000\text{mL})$

Diámetros y altura O<sub>3</sub> y BAC y profundidad de lecho GAC:

- $\text{Centímetros (cm) a metros (m)} = x_{\text{cm}} * (1\text{m}/100\text{cm})$
- $\text{Milímetros (mm) a metros (m)} = x_{\text{mm}} * (1\text{m}/1000\text{mm})$
- $\text{Minutos (min) a hora (h)} = x_{\text{min}} * (1\text{h}/60\text{min})$

Velocidad de filtración BAC:

- Metros por segundo (m/s) a metros por hora (m/h) =  $(xm/s) * (360s/1h)$
- Metros por día (m/día) a metros por hora (m/h) =  $(xm/día) * (1día/24h)$

Caudal BAC (flujo volumétrico):

- Litros por minuto (L/min) a metros cúbicos por hora ( $m^3/h$ ) =  $(xL/min) * (60min/1h) * (1m^3/100L)$
- Litros por hora (L/h) a metros cúbicos por hora ( $m^3/h$ ) =  $(xL/h) * (1m^3/1000L)$
- Metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) a metros cúbicos por hora ( $m^3/h$ ) =  $(xm^3/s) * (3600s/1h)$

Tiempo de uso GAC (antes de experimento) y tiempo de aclimatación GAC:

- Mes (mes) a horas (h) =  $xmes * (730h/1mes)$
- Años (año) a horas (h) =  $xaño * (8760h/1año)$
- Días (día) a horas (h) =  $xdía * (24h/1día)$

Además, se detallan las ecuaciones utilizadas para calcular la eficiencia de remoción de las variables respuesta y algunas variables operacionales del proceso O<sub>3</sub>-BAC (EBCT, volumen de cama, velocidad de filtración y caudal) para obtener mayor información para la base de datos obtenida con los valores recolectados de los diferentes estudios de artículos seleccionados que tenían información sobre el proceso O<sub>3</sub>-BAC.

Eficiencia de remoción de variables respuesta:

- $E = ((S_0 - S) / (S_0)) * 100$

Tiempo de contacto con el lecho vacío (EBCT):

- $EBCT = \text{volumen de cama} / \text{tasa de flujo}$

Volumen de cama:

- $\text{Volumen de cama} = \text{Área del tanque} * \text{profundidad}$

Velocidad de filtración:

- Velocidad de filtración = Caudal del filtro / Área del filtro

Caudal:

- Caudal= Volumen / tiempo

## **ANEXO 2: Fichas resúmenes**

En este anexo se encuentran las fichas resumen de la base de datos, que contienen la información y valores recopilados de cada estudio recopilado de los artículos seleccionados para la revisión bibliográfica del tratamiento de agua potable ozonización seguida de biofiltración de carbón activado granular (O<sub>3</sub>-BAC) y glosario general que se utilizó para la creación de toda la base de datos y fichas resúmenes que se pueden observar a continuación.

### **GLOSARIO BASE DE DATOS GENERAL**

<b>AOC</b>	Carbono orgánico asimilable
<b>BAC</b>	Biofiltración con carbón activado granular
<b>BDOC</b>	Carbono orgánico disuelto biodegradable
<b>BDON</b>	Nitrógeno orgánico disuelto biodegradable
<b>BOC</b>	Carbón orgánico biodegradable
<b>BOD<sub>5</sub></b>	Demanda biológica de oxígeno (dentro de 5 días)
<b>DCAcAm FP</b>	Potencial de formación de dicloroacetamida
<b>DOC</b>	Carbono orgánico disuelto
<b>DOC<sub>5</sub></b>	Demanda química de oxígeno (dentro de 5 días)
<b>DOC<sub>Mn</sub></b>	Demanda química de oxígeno por titulación de KMnO <sub>4</sub>
<b>DON</b>	Nitrógeno orgánico disuelto
<b>EBCT</b>	Tiempo de contacto con el lecho vacío granular
<b>GAC</b>	Carbón activado granular
<b>HAA FP</b>	Potencial de formación de ácidos haloacéticos

<b>HANFP</b>	Potencial de formación de Haloacetanitrilos
<b>HLR</b>	Tasa de carga hidráulica
<b>N-CL-DCAM FP</b>	Potencial de formación de N-cloro-2,2-dicloroacetamida
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N</b>	Amonio
<b>NPDOC</b>	Carbono orgánico disuelto no purgable
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozono
<b>O<sub>3</sub>-BAC</b>	Ozonización seguida de biofiltración de carbón activado
<b>Rem.</b>	Remoción
<b>SDS</b>	Sistema de distribución simulado
<b>SS</b>	Solidos suspendidos
<b>SUVA</b>	Absorbancia UV específica
<b>T°</b>	Temperatura
<b>TCNM FP</b>	Potencial de formación de tricloronitrometano
<b>TDS</b>	Solidos totales disueltos
<b>THM FP</b>	Potencial de formación de trihalometanos
<b>TOC</b>	Carbono orgánico total
<b>UV254</b>	Absorbancia ultravioleta a 254 nm de longitud de onda

## FICHA 1

<b>TITULO:</b> Comparación de siete tipos de procesos de tratamiento de agua potable para mejorar la eliminación de material orgánico: una prueba piloto								
<b>GENERAL</b>								
Autores:		C Chen, XJ Zhang, WJ He, W Lu, HD Han						
Referencia:		Chen, et al., 2007						
Escala de estudio:		Piloto						
Tipo de agua tratada:		Río Amarillo						
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		Coagulación, floculación por aire, filtración						
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
Ph	<input checked="" type="checkbox"/>	8,62	<input checked="" type="checkbox"/>	7,75	<input checked="" type="checkbox"/>	7,71	<input checked="" type="checkbox"/>	7,65
DOC <sub>Mn</sub> (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	6	<input checked="" type="checkbox"/>	4,98	<input checked="" type="checkbox"/>	3,87	<input checked="" type="checkbox"/>	2,79
TOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	6,3	<input checked="" type="checkbox"/>	5,81	<input checked="" type="checkbox"/>	4,36	<input checked="" type="checkbox"/>	3,48
UV254 (1/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	12,8	<input checked="" type="checkbox"/>	11,1	<input checked="" type="checkbox"/>	6,6	<input checked="" type="checkbox"/>	4,1
AOC (ug/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	183	<input checked="" type="checkbox"/>	55	<input checked="" type="checkbox"/>	203	<input checked="" type="checkbox"/>	35
BDOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	1,05	<input checked="" type="checkbox"/>	0,25	<input checked="" type="checkbox"/>	0,72	<input checked="" type="checkbox"/>	0,18
THMFP (ug/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	347	<input checked="" type="checkbox"/>	202	<input checked="" type="checkbox"/>	193	<input checked="" type="checkbox"/>	63
HAAFP (ug/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	239	<input checked="" type="checkbox"/>	55	<input checked="" type="checkbox"/>	203	<input checked="" type="checkbox"/>	35
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		2,5 mg/L						
Generador:		OZONIA						
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:		CJ15						
Altura de columna:		4 m						
Diámetro columna:		0,6 m						
Velocidad de filtración:		4 m/h						
Profundidad de lecho:		1500 mm						

## FICHA 1.B

<b>TITULO:</b> Comparación de siete tipos de procesos de tratamiento de agua potable para mejorar la eliminación de material orgánico: una prueba piloto								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			C Chen, XJ Zhang, WJ He, W Lu, HD Han					
Referencia:			Chen, et al., 2007					
Escala de estudio:			Piloto					
Tipo de agua tratada:			Río Amarillo					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Pre-ozonización, coagulación, floculación por aire, filtración					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
Ph	<input checked="" type="checkbox"/>	8,6	<input checked="" type="checkbox"/>	7,75	<input checked="" type="checkbox"/>	7,6	<input checked="" type="checkbox"/>	7,72
DOC <sub>Mn</sub> (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	5,6	<input checked="" type="checkbox"/>	4,71	<input checked="" type="checkbox"/>	4	<input checked="" type="checkbox"/>	4,04
TOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	6,45	<input checked="" type="checkbox"/>	5,37	<input checked="" type="checkbox"/>	4,5	<input checked="" type="checkbox"/>	4,08
UV254 (17m)	<input checked="" type="checkbox"/>	11,6	<input checked="" type="checkbox"/>	8,7	<input checked="" type="checkbox"/>	6,5	<input checked="" type="checkbox"/>	8,9
AOC (ug/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	178	<input checked="" type="checkbox"/>	72	<input checked="" type="checkbox"/>	152	<input checked="" type="checkbox"/>	62
BDOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	0,97	<input checked="" type="checkbox"/>	0,1	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5	<input checked="" type="checkbox"/>	0,4
THMFP (ug/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	407	<input checked="" type="checkbox"/>	177	<input checked="" type="checkbox"/>	167	<input checked="" type="checkbox"/>	107
HAAFP (ug/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	236	<input checked="" type="checkbox"/>	72	<input checked="" type="checkbox"/>	152	<input checked="" type="checkbox"/>	62
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:			2,5 mg/L					
Generador:			AZONIA					
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:			CJ15					
Altura de columna:			4 m					
Diámetro columna:			0,6 m					
Velocidad de filtración:			4 m/h					
Profundidad de lecho:			1500 mm					

## FICHA 2

<b>TITULO:</b> Eliminación competitiva de carbón orgánico disuelto por adsorción y biodegradación en carbón activado biológico.				
<b>GENERAL</b>				
Autores:		Woo Hang Kim Wataru Nishijima Eiji Shoto Mitsumasa Okada		
Referencia:		Kim, et al., 1997		
Escala de estudio:		Laboratorio		
Tipo de agua tratada:		Solución de ácido fúlvico + agua de grifo declarada		
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		No tiene		
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>				
PARÁMETRO	AGUA CRUDA	AFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE BAC
DOC (mg/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 10	<input checked="" type="checkbox"/> 9,6	<input checked="" type="checkbox"/> 6,8
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>				
<b>OZONIZACIÓN</b>				
Dosis:		1,5 mgO <sub>3</sub> /mgDOC		
Tiempo de contacto:		15 min		
Volumen de trabajo:		110 ml		
<b>BAC</b>				
Tipo de GAC:		Calgon Filtrasorb 400		
EBCT:		30 min		
Tiempo de aclimatación:		84 días		
Volumen de trabajo:		220 ml, que incluyen 110 ml de GAC a granel		

### FICHA 3

<b>TÍTULO:</b> Caracterización y tratabilidad de la materia orgánica natural mediante filtración biológica de carbón activado - Estudio de caso del yacimiento de Crotón								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Klevens, CM, Collins, MR, Negm, R, Farrar, MF, Fulton, GP, Mastronardi, R.					
Referencia:			Klevens, et al., 1996					
Escala de estudio:			Piloto					
Tipo de agua tratada:			Embalse de Crotón					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			No tiene					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
T° (°C)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 10±6,9 Rango: 3,3-23	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
TOC (mg/L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 3,18±0,7 Rango: 2,25-5,07	<input checked="" type="checkbox"/>	2,85±0.37	<input checked="" type="checkbox"/>	2,451
UV254 (1/m)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 8,6±1,0 Rango: 6,9-10,8	<input checked="" type="checkbox"/>	4,1±0,6	<input checked="" type="checkbox"/>	3,854
SUVA (L/mg*m)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2,78±0,72	<input checked="" type="checkbox"/>	1,44±0,26	<input checked="" type="checkbox"/>	1,5696
BOC (mg/L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	0,47±0,15	<input checked="" type="checkbox"/>	1,05±0,28	<input checked="" type="checkbox"/>	0,567
THMFP (ug/L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	79±21	<input checked="" type="checkbox"/>	49±23	<input checked="" type="checkbox"/>	36,75
HAAFP (ug/L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	67±10	<input checked="" type="checkbox"/>	39±6	<input checked="" type="checkbox"/>	28,86
Rem. TOC (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input checked="" type="checkbox"/>	14
Rem. BOC (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	123 <sup>a</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	46
Rem. UV254 (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	52	<input checked="" type="checkbox"/>	6
Rem. SUVA (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	48	<input checked="" type="checkbox"/>	9 <sup>a</sup>
Rem. THMFP (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	38	<input checked="" type="checkbox"/>	25
Rem. HAAFP (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	42	<input checked="" type="checkbox"/>	26
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		1,5+0,5 mgO <sub>3</sub> /L (0,5 mgO <sub>3</sub> /mgDOC)						
Generador de ozono:		Alimentado de aire 1kg/día, Griffin Technies, Lodi, NJ.						

BAC	
Tipo de GAC:	BPL 4x10 (Calgon Carbón Corp., Pittsburgh, PA)
Material:	PVC
Altura de columna:	5,5 m
Diámetro columna:	30 cm
EBCT:	10 min
Profundidad de lecho:	1,2 m
Caudal:	9L/min (7,3m/h)
Retrolavado:	Si, semanal

<sup>a</sup>: Aumento

### FICHA 3.B

<b>TITULO:</b> Caracterización y tratabilidad de la materia orgánica natural mediante filtración biológica de carbón activado - Estudio de caso del yacimiento de Crotón								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Klevens, CM, Collins, MR, Negm, R, Farrar, MF, Fulton, GP, Mastronardi, R.					
Referencia:			Klevens, et al., 1996					
Escala de estudio:			Piloto					
Tipo de agua tratada:			Embalse de Crotón					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			No tiene					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
T° (°C)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 10±6,9 Rango: 3,3-23	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
TOC (mg/L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 3,18± 0,7 Rango: 2,25-5,07	<input checked="" type="checkbox"/>	2,85±0.37	<input checked="" type="checkbox"/>	2,508
UV254 (1/m)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 8,6± 1,0 Rango: 6,9-10,8	<input checked="" type="checkbox"/>	4,1±0,6	<input checked="" type="checkbox"/>	3,813
SUVA (L/mg*m)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2,78±0,72	<input checked="" type="checkbox"/>	1,44±0,26	<input checked="" type="checkbox"/>	1,5408
BOC (mg/L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	0,47±0,15	<input checked="" type="checkbox"/>	1,05±0,28	<input checked="" type="checkbox"/>	0,64
THMFP (ug/L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	79±21	<input checked="" type="checkbox"/>	49±23	<input checked="" type="checkbox"/>	44,1
HAAFP (ug/L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	67±10	<input checked="" type="checkbox"/>	39±6	<input checked="" type="checkbox"/>	30,03
Rem. TOC (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input checked="" type="checkbox"/>	12
Rem. BOC (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	123 <sup>a</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	39
Rem. UV254 (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	52	<input checked="" type="checkbox"/>	7
Rem. SUVA (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	48	<input checked="" type="checkbox"/>	7 <sup>a</sup>
Rem. THMFP (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	38	<input checked="" type="checkbox"/>	10
Rem. HAAFP (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	42	<input checked="" type="checkbox"/>	23
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		1,5+-0,5 mgO <sub>3</sub> /L (0,5 mgO <sub>3</sub> /mgDOC)						
Generador de O <sub>3</sub> :		Alimentado de aire 1kg/día, Griffin Technies, Lodi, NJ.						

BAC	
Tipo de GAC:	BPL 4x10 (Calgon Carbón Corp., Pittsburgh, PA)
Material:	PVC
Altura de columna:	5,5 m
Diámetro columna:	30 cm
EBCT:	5 min
Profundidad de lecho:	1,2 m
Retrolavado:	Si, semanal

<sup>a</sup>: Aumento

## FICHA 4

<b>TITULO:</b> Separación de partículas como pretratamiento de un proceso avanzado de tratamiento de agua potable por ozonización y carbón activado biológico								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Nishijima, W. y Okada, M.					
Referencia:			Nishijima y Okada, 1998					
Escala de estudio:			Piloto					
Tipo de agua tratada:			Lago eutrofizado, con alta concentración de partículas orgánicas (fitoplancton)					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Microfiltración (MF)					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
DOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 2,74 Rango: 2,10-3,10	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 2,74 Rango: 2,10-3,10	<input checked="" type="checkbox"/>	2,39	<input checked="" type="checkbox"/>	1,5
SS (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 17,3 Rango: 11,3-25,4	<input checked="" type="checkbox"/>	poco (ya que se eliminó casi todo el ss. por MF)	<input checked="" type="checkbox"/>	Poco	<input checked="" type="checkbox"/>	Poco
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:			2,5 mgO <sub>3</sub> /mgDOC					
Tiempo de retención:			24 min					
Volumen de trabajo			3,9 L					
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:			Calgon Filtrasorb 400 (d:1mm)					
Altura de columna:			100 cm					
EBCT:			15 min					
Profundidad de lecho:			50 cm					
Retrolavado:			Si, aire y agua cuando la pérdida de carga era superior a 50 cm					
Dirección de flujo:			Ascendente					
Volumen de trabajo:			2,9 L					

## FICHA 4.B

<b>TÍTULO:</b> Separación de partículas como pretratamiento de un proceso avanzado de tratamiento de agua potable por ozonización y carbón activado biológico								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Nishijima, W; Okada, M					
Referencia:			Nishijima y Okada, 1998					
Escala de estudio:			Piloto					
Tipo de agua tratada:			Lago eutrofizado, con alta concentración de partículas orgánicas (fitoplancton)					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Biofiltración (BF)					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
DOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 1,94 Rango: 1,71-2,27	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 1,94 Rango: 1,71-2,27	<input checked="" type="checkbox"/>	2,17	<input checked="" type="checkbox"/>	1,46
SS (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 16,2 Rango: 10,2-21,6	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 5,2 Rango: 1,4-12,4	<input checked="" type="checkbox"/>	3,6	<input checked="" type="checkbox"/>	1,5
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:			3,0 mg/L (para mantener ozono residual en 0,2 mg/L)					
Tiempo de retención:			24 min					
Volumen de trabajo:			3,9 L					
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:			Calgon Filtrasorb 400 (d:1mm)					
Altura de columna:			100 cm					
EBCT:			15 min					
Profundidad de lecho:			50 cm					
Retrolavado:			Si, aire y agua cuando la pérdida de carga era superior a 50 cm					
Dirección de flujo:			Ascendente					
Volumen de trabajo:			2,9 L					

## FICHA 5

<b>TITULO:</b> Activación biológica de filtros de carbón									
<b>GENERAL</b>									
Autores:					Bożena Seredyńska-Sobecka Maria Tomaszewska, Magdalena Janus, Antoni W. Morawski				
Referencia:					Seredyńska-Sobecka, et al., 2006				
Escala de estudio:					Laboratorio				
Tipo de agua tratada:					Río Plonia				
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:					ajuste de T° y aireación con una bomba de acuario				
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>									
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC		
TOC (mgC/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	7,76-11,62	<input checked="" type="checkbox"/>	7,32	<input checked="" type="checkbox"/>	5,47	<input checked="" type="checkbox"/>	4,18	
Ph	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	7,02	<input checked="" type="checkbox"/>	4,22	<input checked="" type="checkbox"/>	6,9	
UV254 (l=5cm)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	0,727	<input checked="" type="checkbox"/>	0,599	<input checked="" type="checkbox"/>	0,660	
Fenol (mg/L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	9,5	<input checked="" type="checkbox"/>	0,13	<input checked="" type="checkbox"/>	0,05	
DOC <sub>Mn</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	14,2	<input checked="" type="checkbox"/>	10,0	<input checked="" type="checkbox"/>	4,9	
BOD <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	11,2	<input checked="" type="checkbox"/>	4,0	<input checked="" type="checkbox"/>	5,6	
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>									
<b>OZONIZACIÓN</b>									
Dosis:		1,64 mgO <sub>3</sub> /mgTOC							
Tiempo de contacto:		5 min							
Diámetro y altura:		5 cm; 25 cm							
<b>BAC</b>									
Tipo de GAC:		WG-12 (Gryfskand, Polonia), de origen bituminoso							
Material:		Vidrio							
EBCT:		2,4 min							
Diámetro columna:		3,5 cm							
Profundidad de lecho:		20 cm							
Caudal:		15 L/h							
Retrolavado:		Si, lavado a contracorriente; durante 15 min, repetido cada 7-14 días.							
Dirección de flujo:		Descendente							
Biomasa:		70nmolPO <sub>4</sub> /g (equivalente a 70x10 <sup>8</sup> bacterias del tamaño de E. coli)							
Tiempo de aclimatación:		8 meses							

## FICHA 5.B

<b>TITULO:</b> Activación biológica de filtros de carbón									
<b>GENERAL</b>									
Autores:					Bożena Seredyńska-Sobecka Maria Tomaszewska, Magdalena Janus, Antoni W. Morawski				
Referencia:					Seredyńska-Sobecka, et al., 2006				
Escala de estudio:					Laboratorio				
Tipo de agua tratada:					Río Plonia				
Pretratamiento antes de O3-BAC:					ajuste de T° y aireación con una bomba de acuario				
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>									
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC		
TOC (mgC/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	7,76-11,62	<input checked="" type="checkbox"/>	7,32	<input checked="" type="checkbox"/>	5,47	<input checked="" type="checkbox"/>	4,48	
Ph	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	7,02	<input checked="" type="checkbox"/>	4,22	<input checked="" type="checkbox"/>	6,93	
UV254 (l=5cm)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	0,727	<input checked="" type="checkbox"/>	0,599	<input checked="" type="checkbox"/>	0,648	
Fenol (mg/L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	9,5	<input checked="" type="checkbox"/>	0,13	<input checked="" type="checkbox"/>	0,01	
DOC <sub>Mn</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	14,2	<input checked="" type="checkbox"/>	10,0	<input checked="" type="checkbox"/>	6,0	
BOD <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	11,2	<input checked="" type="checkbox"/>	4,0	<input checked="" type="checkbox"/>	3,6	
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>									
<b>OZONIZACIÓN</b>									
Dosis:		1,64 mgO <sub>3</sub> /mgTOC							
Tiempo de contacto:		5 min							
Diámetro y altura:		5 cm; 25 cm							
<b>BAC</b>									
Tipo de GAC:		WG-12 (Gryfskand, Polonia), de origen bituminoso							
Material:		Vidrio							
EBCT:		5,1 min							
Diámetro columna:		3,5 cm							
Profundidad de lecho:		20 cm							
Caudal:		15 L/h							
Retrolavado:		Si, lavado a contracorriente; durante 15 min, repetido cada 7-14 días							
Dirección de flujo:		Descendente							
Biomasa:		70nmolPO <sub>4</sub> /g (equivalente a 70x10 <sup>8</sup> bacterias del tamaño de E. coli)							
Tiempo de aclimatación:		8 meses							

## FICHA 5.C

<b>TITULO:</b> Activación biológica de filtros de carbón								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Bożena Seredyńska-Sobecka Maria Tomaszewska, Magdalena Janus, Antoni W. Morawski					
Referencia:			Seredyńska-Sobecka, et al., 2006					
Escala de estudio:			Laboratorio					
Tipo de agua tratada:			Río Plonia					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			ajuste de T° y aireación con una bomba de acuario					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA	AFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE BAC				
TOC (mgC/L)	<input checked="" type="checkbox"/> 7,76-11,62	<input checked="" type="checkbox"/> 7,32	<input checked="" type="checkbox"/> 5,47	<input checked="" type="checkbox"/> 3,60				
Ph	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 7,02	<input checked="" type="checkbox"/> 4,22	<input checked="" type="checkbox"/> 7,05				
UV254 (l=5cm)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 0,727	<input checked="" type="checkbox"/> 0,599	<input checked="" type="checkbox"/> 0,606				
Fenol (mg/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 9,5	<input checked="" type="checkbox"/> 0,13	<input checked="" type="checkbox"/> no detectable				
DOC <sub>Mn</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 14,2	<input checked="" type="checkbox"/> 10,0	<input checked="" type="checkbox"/> 5,7				
BOD <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 11,2	<input checked="" type="checkbox"/> 4,0	<input checked="" type="checkbox"/> 1,6				
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		1,64 mgO <sub>3</sub> /mgTOC						
Tiempo de contacto:		5 min						
Diámetro y altura:		5 cm; 25 cm						
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:		WG-12 (Gryfskand, Polonia), de origen bituminoso						
Material:		Vidrio						
EBCT:		11,2 min						
Diámetro columna:		3,5 cm						
Profundidad de lecho:		20 cm						
Caudal:		15 L/h						
Retrolavado:		Si, lavado a contracorriente; durante 15 min, repetido cada 7-14 días						
Dirección de flujo:		Descendente						
Biomasa:		70nmolPO <sub>4</sub> /g (equivalente a 70x10 <sup>8</sup> bacterias del tamaño de E. coli)						
Tiempo de aclimatación:		8 meses						

## FICHA 5.D

<b>TITULO:</b> Activación biológica de filtros de carbón								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Bożena Seredyńska-Sobecka Maria Tomaszewska, Magdalena Janus, Antoni W. Morawski					
Referencia:			Seredyńska-Sobecka, et al., 2006					
Escala de estudio:			Laboratorio					
Tipo de agua tratada:			Río Plonia					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			ajuste de T° y aireación con una bomba de acuario					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
TOC (mgC/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	7,76-11,62	<input checked="" type="checkbox"/>	7,32	<input checked="" type="checkbox"/>	5,47	<input checked="" type="checkbox"/>	3,34
Ph	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	7,02	<input checked="" type="checkbox"/>	4,22	<input checked="" type="checkbox"/>	7,2
UV254 (l=5cm)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	0,727	<input checked="" type="checkbox"/>	0,599	<input checked="" type="checkbox"/>	0,050
Fenol (mg/L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	9,5	<input checked="" type="checkbox"/>	0,13	<input checked="" type="checkbox"/>	no detectable
DOC <sub>Mn</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	14,2	<input checked="" type="checkbox"/>	10,0	<input checked="" type="checkbox"/>	3,5
BOD <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> /L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	11,2	<input checked="" type="checkbox"/>	4,0	<input checked="" type="checkbox"/>	5,0
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		1,64 mgO <sub>3</sub> /mgTOC						
Tiempo de contacto:		5 min						
Diámetro y altura:		5 cm; 25 cm						
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:		WG-12 (Gryfskand, Polonia), de origen bituminoso						
Material:		Vidrio						
EBCT:		24 min						
Diámetro columna:		3,5 cm						
Profundidad de lecho:		20 cm						
Caudal:		15 L/h						
Retrolavado:		Si, lavado a contracorriente; durante 15 min, repetido cada 7-14 días						
Dirección de flujo:		Descendente						
Biomasa:		70nmolPO <sub>4</sub> /g (equivalente a 70x10 <sup>8</sup> bacterias del tamaño de E. coli)						
Tiempo de aclimatación:		8 meses						

## FICHA 6

<b>TITULO:</b> Efectos de la ozonización y la temperatura sobre la biodegradación de la materia orgánica natural en filtros biológicos de carbón activado granular								
<b>GENERAL</b>								
Autores:		Van der Aa LTJ, Rietveld LC, van Dijk JC						
Referencia:		Van der Aa, et al., 2011						
Escala de estudio:		Piloto						
Tipo de agua tratada:		Agua de infiltración del polder Bethune, con una alta concentración de sustancias húmicas						
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		Coagulación, sedimentación, depósito de tiempo de residencia media de 100 días, Filtración rápida de arena						
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
T° (°C)	<input checked="" type="checkbox"/>	Rango: 3-21	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 11,6 Rango: 3,8-20,6	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
DOC (gC/m <sup>3</sup> )	<input checked="" type="checkbox"/>	Rango: 8-10	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 5,8 Rango: (4,9-6,7)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Ph	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 7,7 Rango: 7,6-7,8	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
UV254 (1/m)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 8,5 Rango: 6,4-10,4	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
AOC [10 <sup>-3</sup> gacetato-C/m <sup>3</sup> ]	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 114,1 Rango: 42-265	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Rem.DOC (%) [gC/m <sup>3</sup> ]	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	(3%) [0,17]	<input checked="" type="checkbox"/>	(30%) [1,8]
Rem. AOC (%) [10 <sup>-3</sup> gacetato-C/m <sup>3</sup> ]	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	[35] <sup>a</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	(68%) [85,4]
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		2,5 [gO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> ]						
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:		Norit GAC830, con una densidad de 450×10 <sup>3</sup> gACm <sup>-3</sup>						
Profundidad de lecho:		2,1 m						

Diámetro columna:	0,25 m
EBCT:	40 min
Velocidad de filtración:	$8,8 \times 10^{-4}$ m/s
Caudal:	$4,3 \times 10^{-5}$ (m <sup>3</sup> /s)
Retrolavado:	Si, Lavado a contracorriente con aire y agua cada 4 a 20 días
Dirección de flujo:	Descendente
Tiempo de aclimatación:	6 meses

<sup>a</sup>: Aumento

## FICHA 7

<b>TITULO:</b> Remoción de la materia orgánica y potencial de formación de trihalometanos en una planta de tratamiento de agua potable a gran escala								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Ekaterina Vasyukova, René Proft, Johanna Jousten, Irene Slavik and Wolfgang Uhl					
Referencia:			Vasyukova, et al., 2013					
Escala de estudio:			Gran escala					
Tipo de agua tratada:			Embalse de Galgentich (Sajonia, Alemania); agua rica en materia orgánica					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Coagulación/floculación, sedimentación, filtración rápida por arena					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
UV254 (1/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	40±2,0	<input checked="" type="checkbox"/>	5,5±0,4	<input checked="" type="checkbox"/>	2,8±0,2	<input checked="" type="checkbox"/>	2,2±0,3
SUVA (L/mg*m)	<input checked="" type="checkbox"/>	5,1±0,64	<input checked="" type="checkbox"/>	2,1±0,17	<input checked="" type="checkbox"/>	1,1±0,17	<input checked="" type="checkbox"/>	1,3±0,15
Turbidez (NTU)	<input checked="" type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
DOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	7,9 ±0,2	<input checked="" type="checkbox"/>	2,6±0,2	<input checked="" type="checkbox"/>	2,5±0,2	<input checked="" type="checkbox"/>	1,6±0,1
AOC (ugAcet-C/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	12,9	<input checked="" type="checkbox"/>	7,3	<input checked="" type="checkbox"/>	22,5	<input checked="" type="checkbox"/>	10
BDOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	2±0,3	<input checked="" type="checkbox"/>	0,3±0,3	<input checked="" type="checkbox"/>	0,7±0,4	<input checked="" type="checkbox"/>	0,2±0,3
DON (ug/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	296±32	<input checked="" type="checkbox"/>	35±10	<input checked="" type="checkbox"/>	35±5	<input checked="" type="checkbox"/>	26±5
BDON (ug/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	60±19	<input checked="" type="checkbox"/>	11±4	<input checked="" type="checkbox"/>	19±4	<input checked="" type="checkbox"/>	1±4
Rem. THMFP (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	29	<input checked="" type="checkbox"/>	1
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		0,65±0,05 mgO <sub>3</sub> /L (corresponde a 0,25 mgO <sub>3</sub> /mgDOC en relación con el agua de alimentación de O <sub>3</sub> )						
<b>BAC</b>								
EBCT:		15 min						

## FICHA 8

<b>TITULO:</b> Características de los materiales orgánicos en el río Huangpu y tratabilidad con el proceso O <sub>3</sub> -BAC								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			B. Xu, NY Gao, XF Sun, SJ Xia, MD Simonnot, C. Causserand, M. Rui, HH Wu					
Referencia:			Xu, et al., 2007					
Escala de estudio:			Piloto					
Tipo de agua tratada:			Rio Huangpu, Shanghai					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Pre-ozonización, mezcla rápida, floculación, sedimentación, filtración de arena					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
UV254 (1/cm)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 0,134 Rango:0,099-0,192	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Turbidez (NTU)	<input checked="" type="checkbox"/>	Rango: 17,5-130	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
DOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	5, 75	<input checked="" type="checkbox"/>	3,86	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2,65
Rem. DOC (%)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	31,40	<input checked="" type="checkbox"/>	4,5	<input checked="" type="checkbox"/>	60 (O <sub>3</sub> -BAC)
Rem. UV254 (%)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	40	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	75 (O <sub>3</sub> -BAC)
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		2-2,5 mg/L						
Tiempo de contacto:		10 min						
Diámetro:		20 mm						
Altura:		6 m						
Material:		Acero inoxidable						
Otro:		Flujo a contracorriente						
<b>BAC</b>								
Altura de columna:		4,5 m						
Diámetro columna:		250 mm						
Profundidad de lecho:		2,4 m						
Velocidad de filtración:		8 m/h						

## FICHA 9

<b>TITULO:</b> Eliminación de precursores de THM mediante un proceso integrado de ozonización y carbón activado granular biológico para agua típica del norte de China							
<b>GENERAL</b>							
Autores:		MQ Yan, DS Wang, XN Ma, JR Ni, HS Zhang					
Referencia:		Yan, et al., 2010					
Escala de estudio:		Piloto					
Tipo de agua tratada:		Rio Amarillo de Tianjin, China					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		Coagulación, floculación por aire disuelto (DAF), filtro de arena					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>							
PARÁMETRO	AGUA CRUDA	AFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE BAC			
Ph	<input checked="" type="checkbox"/> 8,4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Turbidez (NTU)	<input checked="" type="checkbox"/> 8,20	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
DOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/> 3,80	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
THMFP (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/> 201,3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 163,6	<input checked="" type="checkbox"/>	140,3		
Rem. DOC (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 0,93%	<input checked="" type="checkbox"/>	38% (38% (1,4 mg/L) O <sub>3</sub> -BAC)		
Rem. UV254 (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 38%	<input checked="" type="checkbox"/>	13% (51% O <sub>3</sub> -BAC)		
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>							
<b>OZONIZACIÓN</b>							
Dosis:		1,5-2,0 mg/L					
Tiempo de retención:		12 min					
Generador:		Ozonizador Özat ® CFS-1 (Suiza).					
<b>BAC</b>							
Tipo de GAC:		ZJ15, suministrado por Shenhua Co., Ningxia, China					
Tiempo de residencia:		15-20 min					
Profundidad de lecho:		1,5 m					
Velocidad de filtración:		5 m/h					
Caudal:		1,25 m <sup>3</sup> /h					

## FICHA 10

<b>TÍTULO:</b> Características de la DOM y eliminación de precursores de DBPs a través del tratamiento integrado O <sub>3</sub> -BAC para el agua bruta microcontaminada del río Huangpu								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Yifeng Wu, Guangcan Zhu y Xiwu Lu					
Referencia:			Wu, et al., 2013					
Escala de estudio:			Piloto					
Tipo de agua tratada:			Rio Huangpu, en Shanghai (China)					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Coagulación, floculación, sedimentación, filtración de arena de varios pasos					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
T° (°C)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 6,2 Rango: 4-27,5	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Ph	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 7,4 Rango: 7,1-7,7	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Turbidez (NTU)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 44 Rango: 20-127	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
DOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	6,712 ±0,055	<input checked="" type="checkbox"/>	4,929 ±0,082	<input checked="" type="checkbox"/>	4,544±0,057	<input checked="" type="checkbox"/>	3,363±0,084
THMFP (ug/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	472,91±4,63	<input checked="" type="checkbox"/>	211,89 ±4,58	<input checked="" type="checkbox"/>	169,52±4,55	<input checked="" type="checkbox"/>	124,54±4,27
Rem. DOC (%)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	26	<input checked="" type="checkbox"/>	8	<input checked="" type="checkbox"/>	26
Rem. THMFP (%)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	28	<input checked="" type="checkbox"/>	9	<input checked="" type="checkbox"/>	27
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		4 mg/L						
Tiempo de contacto:		10 min						
Diámetro:		0,2 m						
Altura:		2,7 m						
Material:		Acero inoxidable						
Generador:		Ozonizador HMY-F, Huangming, Nanjing, China						

BAC	
Tipo de GAC:	ZJ-15, Zhuojun Chemical Ltd, Liyang, China, diámetro 0,6-2,0 mm
Material:	Polimetilmetacrilato
Altura de columna:	2,85 m
Diámetro columna:	0,3 m
EBCT:	12 min
Profundidad de lecho:	1,5 m
Velocidad de filtración:	7 m/h

**FICHA 11**

<b>TITULO:</b> Cambios en diferentes fracciones de materia orgánica durante el tratamiento convencional y el tratamiento avanzado.							
<b>GENERAL</b>							
Autores:		Chao Chen, Xiaojian Zhang, Lingxia Zhu, Wenjie He, Hongda Han					
Referencia:		Chen, et al., 2011					
Escala de estudio:		Piloto					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		Pre-ozonización, coagulación, sedimentación, flotación por aire, filtración					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>							
PARÁMETRO	AGUA CRUDA	AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
Rem. THMFP (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	18% (O <sub>3</sub> -BAC)	
Rem. HAAFP (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	61% (O <sub>3</sub> -BAC)	
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>							
<b>OZONIZACIÓN</b>							
Dosis:		2,5 mg/L					
Generador:		Ozonizador AZONIA					
<b>BAC</b>							
Tipo de GAC:		GAC CJ15; GAC: Φ1,5 mm × 5 mm					
Profundidad de lecho		1500 mm					
Velocidad de filtración:		4 m/h					

## FICHA 12

<b>TITULO:</b> Comparación del rendimiento del tratamiento entre O <sub>3</sub> -BAC regular y O <sub>3</sub> -BAC con filtración trasera de arena: verificación en un estudio a gran escala				
<b>GENERAL</b>				
Autores:		Kai Yang, Jianwei Yu, Qingyuan Guo, Chunmiao Wang, Ping Xia, Y. Jeffrey Yang & Min Yang		
Referencia:		Yang, et al., 2019		
Escala de estudio:		Gran escala		
Tipo de agua tratada:		Rio Huangpu		
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		Pre-ozonización, coagulación, sedimentación, filtración en arena		
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>				
PARÁMETRO	AGUA CRUDA	AFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE BAC
DOC <sub>Mn</sub> (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/> 4,5-6,84	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Rem. DOC <sub>Mn</sub> (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 3,18	<input checked="" type="checkbox"/> 15,40
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>				
<b>OZONIZACIÓN</b>				
Dosis:	1 mg/L			
Tiempo de contacto:	15 min			
<b>BAC</b>				
EBCT:	16 min			
Velocidad de filtración:	8,3 m/h			

## FICHA 12.B

<b>TITULO:</b> Comparación del rendimiento del tratamiento entre O <sub>3</sub> -BAC regular y O <sub>3</sub> -BAC con filtración trasera de arena: verificación en un estudio a gran escala								
<b>GENERAL</b>								
Autores:		Kai Yang, Jianwei Yu, Qingyuan Guo, Chunmiao Wang, Ping Xia, Y. Jeffrey Yang & Min Yang						
Referencia:		Yang, et al., 2019						
Escala de estudio:		Gran escala						
Tipo de agua tratada:		Río Huangpu						
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		Pre-ozonización, coagulación, sedimentación						
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
DOC <sub>Mn</sub> (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	4,5-6,84	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Rem. DOC <sub>Mn</sub> (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	5	<input checked="" type="checkbox"/>	16,23
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		1 mg/L						
Tiempo de contacto:		15 min						
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:								
EBCT:		16 min						
Velocidad de filtración:		8,3 m/h						

### FICHA 13

<b>TITULO:</b> Comparación de la coagulación mejorada con Fe-Mn y O <sub>3</sub> -BAC para eliminar la materia orgánica natural de las fuentes de agua: un estudio de caso								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Chuan Tian, Feng Liu, Yaohui Bai, Ruiping Liu, Hu Chen, Bin Wang & Jiuwei Qu					
Referencia:			Tian, et al., 2016					
Escala de estudio:			Escala de planta					
Tipo de agua tratada:			Río Xiayin, aguas debajo de la cuenca del lago Hongze, China; periodo normal					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Precloración, coagulación, sedimentación, filtración con arena					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
DOC <sub>Mn</sub> (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	4,74	<input checked="" type="checkbox"/>	3,3	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	1,9
Turbidez (NTU)	<input checked="" type="checkbox"/>	19	<input checked="" type="checkbox"/>	1,2	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	0,4
Cromaticidad	<input checked="" type="checkbox"/>	23,8	<input checked="" type="checkbox"/>	11,4	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	0,6	<input checked="" type="checkbox"/>	0,31	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	0,27
Rem. DOC <sub>Mn</sub> (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	42,4 (O <sub>3</sub> -BAC)
Rem. Turbidez (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	66,7 (O <sub>3</sub> -BAC)
Rem. Cromaticidad (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	73,7 (O <sub>3</sub> -BAC)
Elim. NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	12,9 (O <sub>3</sub> -BAC)
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		0,5-2,5 mg/L						
<b>BAC</b>								
EBCT:		0,2 h						
Tiempo de residencia:		12 min						
Profundidad de lecho:		2,2 m						
Velocidad de filtración:		10,9 m/h						
Tiempo de uso de GAC antes de estudio:		6 meses						

### FICHA 13.B

<b>TITULO:</b> Comparación de la coagulación mejorada con Fe-Mn y O <sub>3</sub> -BAC para eliminar la materia orgánica natural de las fuentes de agua: un estudio de caso							
<b>GENERAL</b>							
Autores:			Chuan Tian, Feng Liu, Yaohui Bai, Ruiping Liu, Hu Chen, Bin Wang & Jiuhui Qu				
Referencia:			Tian, et al., 2016				
Escala de estudio:			Escala de planta				
Tipo de agua tratada:			Río Xiayin, aguas debajo de la cuenca del lago Hongze, China; periodo contaminado				
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Precloración, coagulación, sedimentación, filtración con arena				
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>							
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC
DOC <sub>Mn</sub> (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	9,4	<input checked="" type="checkbox"/>	5,2	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 2,8
Turbidez (NTU)	<input checked="" type="checkbox"/>	56	<input checked="" type="checkbox"/>	0,7	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 0,5
Cromaticidad	<input checked="" type="checkbox"/>	40	<input checked="" type="checkbox"/>	16	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	3,13	<input checked="" type="checkbox"/>	2,13	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 0,93
Rem. DOC <sub>Mn</sub> (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 46,2% (O <sub>3</sub> -BAC)
Rem. Turbidez (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 28,6% (O <sub>3</sub> -BAC)
Rem. Cromaticidad (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 62,5% (O <sub>3</sub> -BAC)
Rem. NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 56,3% (O <sub>3</sub> -BAC)
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>							
<b>OZONIZACIÓN</b>							
Dosis:		3-4 mg/L					
<b>BAC</b>							
EBCT:		0,2 h					
Tiempo de residencia:		12 min					
Profundidad de lecho:		2,2 m					
Velocidad de filtración:		10,9 m/h					
Tiempo de uso de GAC antes de estudio:		6 meses					

## FICHA 14

<b>TITULO:</b> Cambios en la Composición de Materia Orgánica Disuelta y Precursores de Subproductos de Desinfección en Procesos Avanzados de Tratamiento de Agua Potable								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Phanwatt Phungsai, futoshi kurisu, Ikuro Kyosuke, y Hiroaki Furumai					
Referencia:			Phungsai, et al., 2018					
Escala de estudio:			Real					
Tipo de agua tratada:			Río Edo, Tokio, Japón					
Pretratamiento antes de O3-BAC:			Coagulación/sedimentación					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARAMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
Ph	<input checked="" type="checkbox"/>	6,8	<input checked="" type="checkbox"/>	6,8	<input checked="" type="checkbox"/>	6,9	<input checked="" type="checkbox"/>	6,8
TOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	1,17	<input checked="" type="checkbox"/>	1,06	<input checked="" type="checkbox"/>	1,07	<input checked="" type="checkbox"/>	0,86
SUVA (L/mg*m)	<input checked="" type="checkbox"/>	2,5	<input checked="" type="checkbox"/>	1,36	<input checked="" type="checkbox"/>	0,63	<input checked="" type="checkbox"/>	0,50
DOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	1,04	<input checked="" type="checkbox"/>	1,03	<input checked="" type="checkbox"/>	0,96	<input checked="" type="checkbox"/>	0,80
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		0,57 mgO <sub>3</sub> /L						
Tiempo de contacto:		15 min						
<b>BAC</b>								
EBCT:		14 min						

## FICHA 15

<b>TÍTULO:</b> Comparación del rendimiento de eliminación de microcontaminantes entre pre-ozonización y post-ozonización mediante un estudio piloto								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Kai Yang, Jianwei Yu, Qingyuan Guo, Chunmiao Wang, Min Yang, Yu Zhang, Ping Xia, Dong Zhang, Zhiyong Yu					
Referencia:			Yang, et al., 2017					
Escala de estudio:			Piloto					
Tipo de agua tratada:			Río Huangpu, Shanghai					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Coagulación, sedimentación, filtración de arena					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
DOC <sub>Mn</sub> (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	5,88	<input checked="" type="checkbox"/>	3,18	<input checked="" type="checkbox"/>	2,74	<input checked="" type="checkbox"/>	2,23
UV254 (1/cm)	<input checked="" type="checkbox"/>	0,126	<input checked="" type="checkbox"/>	0,076	<input checked="" type="checkbox"/>	0,056	<input checked="" type="checkbox"/>	0,048
DOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	4,19	<input checked="" type="checkbox"/>	3,75	<input checked="" type="checkbox"/>	3,53	<input checked="" type="checkbox"/>	3,2
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		0,5 mg/L						
Tiempo de contacto:		15 min						
Diámetro:		200 mm						
Altura:		4300 mm						
Material:		Acero inoxidable						
Generador:		Ozonizador 3S-OW-20, Tonglin Technology Co. China						
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:		Grupo de carbón activado Shanxi Huaqing, China, tamaño de partícula promedio de 1,25 mm						
Material:		Acero inoxidable						
Altura de columna:		4500 mm						
Diámetro columna:		300 mm						
Velocidad de filtración:		8 m/h						
Retrolavado:		Sí, cada 7 días						
Tiempo de uso de GAC antes del estudio:		1 año						

## FICHA 15.B

<b>TITULO:</b> Comparación del rendimiento de eliminación de microcontaminantes entre pre-ozonización y post-ozonización mediante un estudio piloto								
<b>GENERAL</b>								
Autores:				Kai Yang, Jianwei Yu, Qingyuan Guo, Chunmiao Wang, Min Yang, Yu Zhang, Ping Xia, Dong Zhang, Zhiyong Yu				
Referencia:				Yang, et al., 2017				
Escala de estudio:				Piloto				
Tipo de agua tratada:				Río Huangpu, Shanghai				
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:				Coagulación, sedimentación, filtración de arena				
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
DOC <sub>Mn</sub> (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	5,97	<input checked="" type="checkbox"/>	3,19	<input checked="" type="checkbox"/>	2,64	<input checked="" type="checkbox"/>	2,16
UV254 (1/cm)	<input checked="" type="checkbox"/>	0,109	<input checked="" type="checkbox"/>	0,082	<input checked="" type="checkbox"/>	0,048	<input checked="" type="checkbox"/>	0,043
DOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	3,64	<input checked="" type="checkbox"/>	3,36	<input checked="" type="checkbox"/>	2,42	<input checked="" type="checkbox"/>	2,34
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		1,0 mg/L						
Tiempo de contacto:		15 min						
Diámetro:		200 mm						
Altura:		4300 mm						
Material:		Acero inoxidable						
Generador:		Ozonizador 3S-OW-20, Tonglin Technology Co. China						
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:		Grupo de carbón activado Shanxi Huaqing, China, tamaño de partícula promedio de 1,25 mm						
Material:		Acero inoxidable						
Altura de columna:		4500 mm						
Diámetro columna:		300 mm						
Velocidad de filtración:		8 m/h						
Retrolavado:		Sí, cada 7 días						
Tiempo de uso de GAC antes del estudio:		1 año						

## FICHA 15.C

<b>TITULO:</b> Comparación del rendimiento de eliminación de microcontaminantes entre pre-ozonización y post-ozonización mediante un estudio piloto								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Kai Yang, Jianwei Yu, Qingyuan Guo, Chunmiao Wang, Min Yang, Yu Zhang, Ping Xia, Dong Zhang, Zhiyong Yu					
Referencia:			Yang, et al., 2017					
Escala de estudio:			Piloto					
Tipo de agua tratada:			Río Huangpu, Shanghai					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Coagulación, sedimentación, filtración de arena					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
DOC <sub>Mn</sub> (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	5.24	<input checked="" type="checkbox"/>	2.90	<input checked="" type="checkbox"/>	2.40	<input checked="" type="checkbox"/>	1.80
UV254 (1/cm)	<input checked="" type="checkbox"/>	0.116	<input checked="" type="checkbox"/>	0,076	<input checked="" type="checkbox"/>	0,042	<input checked="" type="checkbox"/>	0,035
DOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	4,10	<input checked="" type="checkbox"/>	3,36	<input checked="" type="checkbox"/>	2,92	<input checked="" type="checkbox"/>	2,59
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		1,5 mg/L						
Tiempo de contacto:		15 min						
Diámetro:		200 mm						
Altura:		4300 mm						
Material:		Acero inoxidable						
Generador:		Ozonizador 3S-OW-20, Tonglin Technology Co. China						
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:		Grupo de carbón activado Shanxi Huaqing, China, tamaño de partícula promedio de 1,25 mm						
Material:		Acero inoxidable						
Altura de columna:		4500 mm						
Diámetro columna:		300 mm						
Velocidad de filtración:		8 m/h						
Retrolavado:		Sí, cada 7 días						
Tiempo de uso de GAC antes del estudio:		1 año						

## FICHA 15.D

<b>TITULO:</b> Comparación del rendimiento de eliminación de microcontaminantes entre pre-ozonización y post-ozonización mediante un estudio piloto								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Kai Yang, Jianwei Yu, Qingyuan Guo, Chunmiao Wang, Min Yang, Yu Zhang, Ping Xia, Dong Zhang, Zhiyong Yu					
Referencia:			Yang, et al., 2017					
Escala de estudio:			Piloto					
Tipo de agua tratada:			Río Huangpu, Shanghai					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Coagulación, sedimentación, filtración de arena					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
DOC <sub>Mn</sub> (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	5,59	<input checked="" type="checkbox"/>	2,57	<input checked="" type="checkbox"/>	2,07	<input checked="" type="checkbox"/>	1,59
UV254 (1/cm)	<input checked="" type="checkbox"/>	0,119	<input checked="" type="checkbox"/>	0,080	<input checked="" type="checkbox"/>	0,039	<input checked="" type="checkbox"/>	0,032
DOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	5,11	<input checked="" type="checkbox"/>	4,63	<input checked="" type="checkbox"/>	3,90	<input checked="" type="checkbox"/>	3,4
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		2,0 mg/L						
Tiempo de contacto:		15 min						
Diámetro:		200 mm						
Altura:		4300 mm						
Material:		Acero inoxidable						
Generador:		Ozonizador 3S-OW-20, Tonglin Technology Co. China						
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:		Grupo de carbón activado Shanxi Huaqing, China, tamaño de partícula promedio de 1,25 mm						
Material:		Acero inoxidable						
Altura de columna:		4500 mm						
Diámetro columna:		300 mm						
Velocidad de filtración:		8 m/h						
Retrolavado:		Sí, cada 7 días						
Tiempo de uso de GAC antes del estudio:		1 año						

## FICHA 15.E

<b>TITULO:</b> Comparación del rendimiento de eliminación de microcontaminantes entre pre-ozonización y post-ozonización mediante un estudio piloto								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Kai Yang, Jianwei Yu, Qingyuan Guo, Chunmiao Wang, Min Yang, Yu Zhang, Ping Xia, Dong Zhang, Zhiyong Yu					
Referencia:			Yang, et al., 2017					
Escala de estudio:			Piloto					
Tipo de agua tratada:			Río Huangpu, Shanghai					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Coagulación, sedimentación, filtración de arena					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
DOC <sub>Mn</sub> (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	6,33	<input checked="" type="checkbox"/>	3,25	<input checked="" type="checkbox"/>	2,48	<input checked="" type="checkbox"/>	1,86
UV254 (1/cm)	<input checked="" type="checkbox"/>	0,128	<input checked="" type="checkbox"/>	0,076	<input checked="" type="checkbox"/>	0,032	<input checked="" type="checkbox"/>	0,027
DOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	5,27	<input checked="" type="checkbox"/>	4,36	<input checked="" type="checkbox"/>	3,47	<input checked="" type="checkbox"/>	3,08
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		3,0 mg/L						
Tiempo de contacto:		15 min						
Diámetro:		200 mm						
Altura:		4300 mm						
Material:		Acero inoxidable						
Generador:		Ozonizador 3S-OW-20, Tonglin Technology Co. China						
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:		Grupo de carbón activado Shanxi Huaqing, China, tamaño de partícula promedio de 1,25 mm						
Material:		Acero inoxidable						
Altura de columna:		4500 mm						
Diámetro columna:		300 mm						
Velocidad de filtración:		8 m/h						
Retrolavado:		Sí, cada 7 días						
Tiempo de uso de GAC antes del estudio:		1 año						

## FICHA 16

<b>TITULO:</b> Eficiencia de la ozonización seguida por filtración a través de un biológicamente activo lecho de adsorción al eliminar biogénico sustancias orgánicas del agua superficial								
<b>GENERAL</b>								
Autores:		Swiderska-Broz, Maria y Wolska, Malgorzata						
Referencia:		Swiderska-Broz, M y Wolska, M, 2012						
Escala de estudio:		Real						
Tipo de agua tratada:		Agua superficial						
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		Coagulación volumétrica, sedimentación, filtración rápida en arena						
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
pH	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	6.8–7.8	<input checked="" type="checkbox"/>	6.8–7.8	<input checked="" type="checkbox"/>	6.7–7.6
T° (°C)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	0,6–21,6	<input checked="" type="checkbox"/>	0,4–21,7	<input checked="" type="checkbox"/>	0,5–21,7
TOC (gC/m <sup>3</sup> )	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	1.62–6.91	<input checked="" type="checkbox"/>	0,80–4,32	<input checked="" type="checkbox"/>	0,80–4,32
UV254 (1/m)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	4.06–15.62	<input checked="" type="checkbox"/>	2,74–9,44	<input checked="" type="checkbox"/>	1.16–6.68
DOC (gC/m <sup>3</sup> )	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	1.45–5.88	<input checked="" type="checkbox"/>	1.15–5.70	<input checked="" type="checkbox"/>	0,75–3,82
AOC (mgC/m <sup>3</sup> )	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	20–180	<input checked="" type="checkbox"/>	70–280	<input checked="" type="checkbox"/>	20–100
BDOC (mgC/m <sup>3</sup> )	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	111–442	<input checked="" type="checkbox"/>	230–770	<input checked="" type="checkbox"/>	98–345
NBDOC (gC/m <sup>3</sup> )	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	1.27–5.48	<input checked="" type="checkbox"/>	0,82–4,93	<input checked="" type="checkbox"/>	0,62–3,70
Rem. DOC (%) [g/m <sup>3</sup> ]	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	(2.1–30.8%) [0,08–1,45]	<input checked="" type="checkbox"/>	(9.0–55.5%) [0.32–2.49]
Rem. BDOC (%) [g/m <sup>3</sup> ]	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	(4.7–181.1%) [0.014–0.370] <sup>a</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	(30.4–84.4%) [0.07–0.529]
Rem. AOC (%) [g/m <sup>3</sup> ]	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	(33.3–350.0%) [0.023–0.100] <sup>a</sup>	<input checked="" type="checkbox"/>	(50.0–77.3%) [0.040–0.180]
Rem. TOC (%) [g/m <sup>3</sup> ]	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	(2.6–31.2%) [0,10–1,95]	<input checked="" type="checkbox"/>	(9.2–54.5%) [0.39–2.58]
Rem. UV254 (%) [g/m <sup>3</sup> ]	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	(1.3–60.1%) [0.08–8.18]	<input checked="" type="checkbox"/>	(6.7–72.4%) [0.34–4.90]

Rem. NBD (%) [g/m <sup>3</sup> ]	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	(9.5–49.2%) [0.320–1.650]	<input checked="" type="checkbox"/>	(3.2–54.3%) [0.060–2.065]
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
OZONIZACIÓN								
Dosis:	0,51-4,60 gO <sub>3</sub> /m <sup>3</sup> (0,183-0,726 g O <sub>3</sub> /g C)							
Tiempo de contacto:	48,0-82,3 min							
BAC								
Tipo de GAC:	Carbón activo WG Gryfskand							
EBCT:	27,1-46,5 min							
Profundidad de lecho:	1,5 m							
Velocidad de filtración:	2,1-3,7 m/h							

<sup>a</sup>: Aumento

## FICHA 17

<b>TITULO:</b> Tratamiento de aguas subterráneas coloreadas por biofiltración con ozono: estudios piloto e interpretación de modelos				
<b>GENERAL</b>				
Autores:		Bruce E Rittmann, Douglas Stilwell, Jason C Garside, Gary L Amy, Carl Spangenberg, Arseny Kalinsky, Eric Akiyoshi		
Referencia:		Rittmann, et al., 2002		
Escala de estudio:		Piloto		
Tipo de agua tratada:		Aguas subterráneas, Santa Ana, California		
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		Tanque de mezcla		
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>				
PARÁMETRO	AGUA CRUDA	AFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE BAC
T° (°C)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 22±2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DOC (mg/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 3,2	<input checked="" type="checkbox"/> 2,9	<input checked="" type="checkbox"/> 2,3
Color (cu)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 52	<input checked="" type="checkbox"/> 16	<input checked="" type="checkbox"/> 14
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 0,15	<input checked="" type="checkbox"/> 0,08	<input checked="" type="checkbox"/> 0,06
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>				
<b>OZONIZACIÓN</b>				
Dosis:	1,0 gO <sub>3</sub> /gC (3,2 mgO <sub>3</sub> /L)			
Tiempo de retención:	5 min			
Diámetro y altura:	20,3 cm; 4,9 m			
Generador:	Generador PCI (Caldwell, New Jersey) (3,2 kg/d de capacidad)			
Caudal:	26,5 L/min			
<b>BAC</b>				
Tipo de GAC:	F-300 GAC, tamaño efectivo=0,9 mm			
Altura de columna:	6,1 m			
Diámetro columna:	10,2 cm			
EBCT:	9 min			
Profundidad de lecho:	1,8 m			
Caudal:	1,7 L/min			
Retrolavado:	Si, 1 vez al día, lavado con aire de 1 minuto, seguido de 15 a 20 minutos de flujo de agua (el agua subterránea de bajo color) a una velocidad de fluidización media de 2,5 gpm (9,5 L/min)			
Otro:	HRL: 0,20±0,008 m/min; volumen acumulado de lecho: 243000			

## FICHA 17.B

<b>TITULO:</b> Tratamiento de aguas subterráneas coloreadas por biofiltración con ozono: estudios piloto e interpretación de modelos							
<b>GENERAL</b>							
Autores:		Bruce E Rittmann, Douglas Stilwell, Jason C Garside, Gary L Amy, Carl Spangenberg, Arseny Kalinsky, Eric Akiyoshi					
Referencia:		Rittmann, et al., 2002					
Escala de estudio:		Piloto					
Tipo de agua tratada:		Aguas subterráneas, Santa Ana, California					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		Tanque de mezcla					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>							
PARÁMETRO	AGUA CRUDA	AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
T° (°C)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	22±2	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
DOC (mg/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	3,2	<input checked="" type="checkbox"/>	2,9	<input checked="" type="checkbox"/>	2,2
Color (cu)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	52	<input checked="" type="checkbox"/>	10	<input checked="" type="checkbox"/>	7
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0,15	<input checked="" type="checkbox"/>	0,09	<input checked="" type="checkbox"/>	0,05
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>							
<b>OZONIZACIÓN</b>							
Dosis:		1,4 gO <sub>3</sub> /gC					
Tiempo de retención:		5 min					
Diámetro y altura:		20,3 cm; 4,9 m					
Generador:		Generador PCI (Caldwell, New Jersey) (3,2 kg/d de capacidad)					
Caudal:		26,5 L/min					
<b>BAC</b>							
Tipo de GAC:		F-300 GAC, tamaño efectivo=0,9 mm, profundidad=6,0 pies (1,8 m)					
Altura de columna:		6,1 m					
Diámetro columna:		10,2 cm					
EBCT:		9 min					
Profundidad de lecho:		1,8 m					
Caudal:		1,7 L/min					
Retrolavado:		Si, 1 vez al día, lavado con aire de 1 minuto, seguido de 15 a 20 minutos de flujo de agua (el agua subterránea de bajo color) a una velocidad de fluidización media de 2,5 gpm (9,5 l/min)					
Otro:		HRL: 0,20±0,008 m/min; volumen acumulado de lecho: 243000					

## FICHA 17.C

<b>TÍTULO:</b> Tratamiento de aguas subterráneas coloreadas por biofiltración con ozono: estudios piloto e interpretación de modelos				
<b>GENERAL</b>				
Autores:		Bruce E Rittmann, Douglas Stilwell, Jason C Garside, Gary L Amy, Carl Spangenberg, Arseny Kalinsky, Eric Akiyoshi		
Referencia:		Rittmann, et al., 2002		
Escala de estudio:		Piloto		
Tipo de agua tratada:		Aguas subterráneas, Santa Ana, California		
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		Tanque de mezcla		
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>				
PARÁMETRO	AGUA CRUDA	AFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE BAC
T° (°C)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 22±2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
DOC (mg/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 3,2	<input checked="" type="checkbox"/> 2,9	<input checked="" type="checkbox"/> 2,0
Color (cu)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 52	<input checked="" type="checkbox"/> 9	<input checked="" type="checkbox"/> 5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 0,15	<input checked="" type="checkbox"/> 0,14	<input checked="" type="checkbox"/> <0,1
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>				
<b>OZONIZACIÓN</b>				
Dosis:	1,8 gO <sub>3</sub> /gC			
Tiempo de retención:	5 min			
Diámetro y altura:	20,3 cm; 4,9 m			
Generador:	Generador PCI (Caldwell, New Jersey) (3,2 kg/d de capacidad)			
Caudal:	26,5 L/min			
<b>BAC</b>				
Tipo de GAC:	F-300 GAC, tamaño efectivo=0,9 mm, profundidad=6,0 pies (1,8 m)			
Altura de columna:	6,1 m			
Diámetro columna:	10,2 cm			
EBCT:	9 min			
Profundidad de lecho:	1,8 m			
Caudal:	1,7 L/min			
Retrolavado:	Si, 1 vez al día, lavado con aire de 1 minuto, seguido de 15 a 20 minutos de flujo de agua (el agua subterránea de bajo color) a una velocidad de fluidización media de 2,5 gpm (9,5 l/min).			
Otro:	HRL: 0,20±0,008 m/min; volumen acumulado de lecho: 243000			

## FICHA 18

<b>TITULO:</b> Estudio en planta piloto sobre ozonización y proceso biológico de carbón activado para el tratamiento de agua potable								
<b>GENERAL</b>								
Autores:		Woo Hang Kim, Wataru Nishijima, Eiji Shoto, Mitsumasa Okada						
Referencia:		Kim, et al., 1997						
Escala de estudio:		Piloto						
Tipo de agua tratada:		Agua cruda del embalse de Minaga, Kure Hiroshima						
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		Biofiltración						
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
T° (°C)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 16,1 Rango: 5,1-24	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
pH	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 7,4 Rango: 6,4-8,2	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
DOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 2,3 Rango: 1,7-4,1	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	+0,5 mg/L	<input type="checkbox"/>	
Rem. DOC (mg/L)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	1,10 (concentración eliminada por O <sub>3</sub> -BAC)
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		3 mg/L						
Tiempo de contacto		24 min						
Volumen de trabajo:		3,9 L						
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:		Calgon filtrisorb 400; tamaño medio: 1mm						
EBCT:		15 min						
Volumen de trabajo		2,9 L; empaquetado con 2,5 L de GAC						

## FICHA 19

<b>TITULO:</b> Procesos AC /O <sub>3</sub> -BAC para la eliminación de contaminantes refractarios y peligrosos en agua cruda								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Laisheng L, Wanpeng Zhu, Pengyi Zhang, Qiuyun Zhang, Zulin Zhang					
Referencia:			Li, et al., 2006					
Escala de estudio:			Piloto					
Tipo de agua tratada:			Agua cruda de río, embalse Miyun de la ciudad de Beijing					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Filtro de arena					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
DOC (mg/L)	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	4,94-7,27	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
BDOC (mg/L)				2,31				
Rem. DOC (%) [mgCOD/mgO <sub>3</sub> ]	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	9,7 [0,4]	<input checked="" type="checkbox"/>	11,6
Rem. BDOC [mg/L]								[1,56]
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:			3 mg/L					
Tiempo de contacto:			15 min					
Tiempo de retención:			20 min					
O <sub>3</sub> consumido:			48%					
Generador:			DHX-SS-001 (Harbin Jiujiu Electric Chemical Engineering Ltd.)					
<b>BAC</b>								
Altura de columna:			1000 mm					
Diámetro columna:			60 mm					
EBCT:			15 min					
Tiempo de aclimatación:			6 meses					

## FICHA 20

<b>TITULO:</b> La realización de un proceso de ozonización-carbón activado biológico en operación a largo plazo.							
<b>GENERAL</b>							
Autores:		Wataru Nishijima; Woo Hang Kim; Eiji Shoto; Mitsumasa Okada					
Referencia:		Nishijima, et al., 1998					
Escala de estudio:		Piloto					
Tipo de agua tratada:		Agua bruta procedente de un embalse eutrófico de Minaga, en Hiroshima, Japón.					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		membrana de filtración (MF)					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>							
PARÁMETRO	AGUA CRUDA	AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
Ph	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	6,5-7,7	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
T° (°C)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	5-30	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
DOC (mg/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2,8-4,2	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
THMFP (ug/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	70-156	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Rem. DOC (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	9	<input checked="" type="checkbox"/>	36 (O <sub>3</sub> -BAC)
Rem. THMFP (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	22	<input checked="" type="checkbox"/>	57 (O <sub>3</sub> -BAC)
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>							
<b>OZONIZACIÓN</b>							
Dosis:		2,5 mgO <sub>3</sub> /mg C					
Tiempo de contacto:		24 min					
Tiempo de retención hidráulica:		24 min					
Volumen de trabajo:		3,9 L					
<b>BAC</b>							
Tipo de GAC:		Calgon filtrisorb 400 con un tamaño medio de partícula de 1 mm					
EBCT:		15 min					
Dirección de flujo:		Ascendente					
Volumen de trabajo:		2,9 L; Empaquetados con 2,5 L de GAC					

## FICHA 21

<b>TITULO:</b> Estudio piloto de tratamiento de agua potable con GAC, O <sub>3</sub> / BAC y procesos de membrana en la isla de Kinmen, Taiwán.								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Yang J, Dong-Xing Y Weng T					
Referencia:			Yang, et al., 2010					
Escala de estudio:			Piloto					
Tipo de agua tratada:			Agua cruda con alta concentración de precursores de subproductos de desinfección (DBP) de lago Tai y lago Ron, Kinmen, Taiwán					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Coagulación, floculación por aire disuelto, sedimentación, filtración rápida de arena					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
T° (°C)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 26,54 Rango: 18-33	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
UV254 (1/m)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 15,1 Rango 11,7-19,7	<input checked="" type="checkbox"/>	8,245	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2,8
NPDOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 6,2 Rango: 4,6-8,3	<input checked="" type="checkbox"/>	4,1	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2,3 (aprox. 30% O <sub>3</sub> -BAC)
THMFP (ug/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 326 Rango: 174-571	<input checked="" type="checkbox"/>	266	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	160
HAAFP (ug/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 501 Rango: 164-1036	<input checked="" type="checkbox"/>	241	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	57,1
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
OZONIZACIÓN								
Dosis:		4 mg/L						
Tiempo de retención hidráulica:		20 min						
Diámetro:		0,3 m						
Altura:		2,5 m						
Material:		Acero inoxidable						

Generador:	generado por generador de ozono, utilizando aire como gas de alimentación, burbujeando gas ozono en el contactor continuamente y se usó contraflujo para aumentar la concentración de ozono
BAC	
Tipo de GAC:	Pt. Tanso Putra Asia, Indonesia
Altura de columna:	3 m
Diámetro columna:	0,48 m
EBCT:	39,1 min
Profundidad de lecho:	1,33 m
Velocidad de filtración:	111 m/día

## FICHA 22

<b>TITULO:</b> Comparación de los tratamientos O <sub>3</sub> -BAC, UV / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -BAC y O <sub>3</sub> / H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> -BAC para limitar la formación de subproductos de desinfección durante el tratamiento de agua potable en India							
<b>GENERAL</b>							
Autores:		Surbhi Tak, Bhanu Prakash Vellanki					
Referencia:		Tak y Vellanki, 2020.					
Escala de estudio:		Laboratorio					
Tipo de agua tratada:		Agua de río Yamuna de Mathura de Uttar Pradesh, India					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		No tiene					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>							
PARÁMETRO	AGUA CRUDA	AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE BAC		
BDOC (mg/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1,84	<input checked="" type="checkbox"/>	2,01	<input checked="" type="checkbox"/>	1,11
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>							
<b>OZONIZACIÓN</b>							
Dosis:		3,54 mg/L					
Tiempo de contacto:		4 min					
<b>BAC</b>							
Tipo de GAC:		Norit GAC 1240 W (producido por activación de vapor de carbón, suministrado por Cabot Corporation (India))					
Material:		Acrílico					
Altura de columna:		35 cm					
Diámetro columna:		2 cm					
EBCT:		16 min					
Profundidad de lecho:		25 min					
Retrolavado:		Sí, cada 15 días, con agua destilada en dirección descendente durante 10 min a un caudal similar para evitar la pérdida de la biopelícula adherida.					
Dirección de flujo:		Ascendente					
Tiempo de aclimatación:		4 meses					

## FICHA 23

<b>TÍTULO:</b> Desempeño de la ozonización y el carbón activado biológico en la eliminación de sulfonamidas y bacterias resistentes a las sulfonamidas: un estudio a escala piloto								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Gang Li, Weiwei Ben, Hui Ye, Dong Zhang, Zhimin Qiang					
Referencia:			Li, et al., 2018					
Escala de estudio:			Piloto					
Tipo de agua tratada:			Embalse de Shanghai Qingcaosha					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Filtración					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
TOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	1,30–2,14	<input checked="" type="checkbox"/>	3,53	<input checked="" type="checkbox"/>	3,38	<input checked="" type="checkbox"/>	3,04
UV254 (1/cm)	<input checked="" type="checkbox"/>	0,041–0,043	<input checked="" type="checkbox"/>	0,025	<input checked="" type="checkbox"/>	0,013	<input checked="" type="checkbox"/>	0,010
Turbidez (NTU)	<input checked="" type="checkbox"/>	5,2–32,4	<input checked="" type="checkbox"/>	0,38	<input checked="" type="checkbox"/>	0,47	<input checked="" type="checkbox"/>	0,09
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:			2,5 mg/L					
Tiempo de contacto:			10 min					
N° de serie:			3					
Diámetro:			0,13 m primera columna; 0,2 m las otras dos columnas					
Altura:			6,4 m todas las columnas					
Generador:			Generador OZVa 3000E, ProMinent Dosiertechnik, Alemania					
<b>BAC</b>								
Altura de columna:			4,9 m					
Diámetro columna:			0,595 m					
EBCT:			10, 15 y 20 min					
Velocidad de filtración:			12, 8 y 6 m/h					

## FICHA 23.B

<b>TITULO:</b> Desempeño de la ozonización y el carbón activado biológico en la eliminación de sulfonamidas y bacterias resistentes a las sulfonamidas: un estudio a escala piloto					
<b>GENERAL</b>					
Autores:		Gang Li, Weiwei Ben, Hui Ye, Dong Zhang, Zhimin Qiang			
Referencia:		Li, et al., 2018			
Escala de estudio:		Piloto			
Tipo de agua tratada:		Embalse de Shanghai Qingcaosha			
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		Filtración			
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>					
PARÁMETRO	AGUA CRUDA	AFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE BAC	
THMFP (ug/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 9,62	<input checked="" type="checkbox"/> 61,91	<input checked="" type="checkbox"/>	7,4
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>					
<b>OZONIZACIÓN</b>					
Dosis:		0,5mg/L			
Tiempo de contacto:		10 min			
N° de serie:		3			
Diámetro:		0,13 m primera columna; 0,2 m las otras dos columnas			
Altura:		6,4 m todas las columnas			
Generador:		Generador OZVa 3000E, ProMinent Dosiertechnik, Alemania			
<b>BAC</b>					
Altura de columna:		4,9 m			
Diámetro columna:		0,595 m			
EBCT:		10, 15 y 20 min			
Velocidad de filtración:		12, 8 y 6 m/h			

## FICHA 24

<b>TÍTULO:</b> Evaluación de la bioseguridad del proceso convencional y O <sub>3</sub> -BAC y su relación con las características de la NOM								
<b>GENERAL</b>								
Autores:			Xiaobin Liao, Rusen Zou, Chao Chen, Baoling Yuan, Zhenming Zhou & Xiaojian Zhang					
Referencia:			Liao, et al., 2018					
Escala de estudio:			Piloto					
Tipo de agua tratada:			Agua cruda superficial, Lago agrícola, sureste de China					
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Pre-Ozonización, Sedimentación, Coagulación					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA	AFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE O <sub>3</sub>	EFLUENTE BAC				
T° (°C)	<input checked="" type="checkbox"/> 5-9,8	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	
Ph	<input checked="" type="checkbox"/> 7,4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	
Turbidez (NTU)	<input checked="" type="checkbox"/> 0,89	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	
AOC (ug/L)	<input checked="" type="checkbox"/> 298	<input checked="" type="checkbox"/> 241	<input checked="" type="checkbox"/> 312	<input checked="" type="checkbox"/> 148				
BDOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/> 1,39	<input checked="" type="checkbox"/> 1,99	<input checked="" type="checkbox"/> 2,84	<input checked="" type="checkbox"/> 0,56				
Rem. BDOC (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 80,30				
Rem. AOC (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 52,60				
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		1 mg/L						
Tiempo de contacto:		7,5 min						
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:		Carbón activado agrietado a base de carbón de malla 8 x 30						
Altura de columna:		2210 mm						
Diámetro columna:		400 mm						
EBCT:		15 min						
Profundidad de lecho:		1000 mm						
Velocidad de filtración:		8 m/h						
Dirección de flujo:		Ascendente						
Comunidad bacteriana:		Principales bacterias en columna BAC: Alpha-proteobacteria, Beta-proteobacteria y Acidobacteria						

## FICHA 25

<b>TITULO:</b> Aplicación de procesos convencionales y O <sub>3</sub> -BAC para tratar materia orgánica y contaminantes antibióticos en un lago en el este de China								
<b>GENERAL</b>								
Autores:		X. B. Liao; X. J. Zhang; J. Wang; X. B. Li; C. K. Wang; C. Chen						
Referencia:		Liao., et al., 2013						
Escala de estudio:		Piloto						
Tipo de agua tratada:		Agua cruda superficial, Lago, sureste de China						
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		Pre-Ozonización, sedimentación, Coagulación						
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
T° (°C)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media:25,2 Rango:24,2-26,6	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
DOC <sub>Mn</sub> (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 4,96 Rango: 4,08-5,68	<input checked="" type="checkbox"/>	4,26	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	3,61
UV254 (1/cm)	<input checked="" type="checkbox"/>	0,104	<input checked="" type="checkbox"/>	0,079	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	0,07
Turbidez (NTU)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 1,23 Rango: 1,17-1,28	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
DOC (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 4,81 Rango: 4,68-5,05	<input checked="" type="checkbox"/>	3,9	<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	2,03
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		1 mg/L						
Tiempo de contacto:		7,5 min						
<b>BAC</b>								
Tipo de GAC:		Carbón activado agrietado a base de carbón de malla 8 x 30.						
Altura de columna:		2210 mm						
Diámetro columna:		400 mm						
EBCT:		15 min						
Profundidad de lecho:		1000 mm						
Velocidad de filtración:		8 m/h						
Dirección de flujo:		Ascendente						

## FICHA 26

<b>TITULO:</b> Control de nitrosaminas, THM y HAA en agua fuertemente impactada con O <sub>3</sub> -BAC								
<b>GENERAL</b>								
Autores:		Xiaobin Liao, Chao Chen, Baoling Yuan, Jun Wang, Xiaojian Zhang						
Referencia:		Liao., et al., 2017						
Escala de estudio:		Piloto						
Tipo de agua tratada:		Agua de un Lago de acuicultura muy afectado en el delta del río Yangtze, en el este de China						
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:		Pre-Ozonización, Coagulación-Sedimentación						
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>								
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
UV254 (1/cm)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 0,103 (1/cm) Rango:0,096-0,110	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
DOC (g/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 4,13 g/L Rango:3,45-4,87	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
DON (mg/L como N)	<input checked="" type="checkbox"/>	Media: 0,254 mg/L como N Rango: 0,165-0,314	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Rem. DOC (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	9%	<input checked="" type="checkbox"/>	Aprox. 20%
Rem. DON (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	19%	<input checked="" type="checkbox"/>	Aprox. 20%
Rem. UV254 (%)	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	32%	<input checked="" type="checkbox"/>	Aprox. 20%
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>								
<b>OZONIZACIÓN</b>								
Dosis:		1 mg/L						
Tiempo de contacto:		7,5 min						
<b>BAC</b>								
Altura de columna:		2210 mm						
Diámetro columna:		400 mm						
EBCT:		15 min						
Velocidad de filtración:		8 m/h						
Retrolavado:		Sí, cada 7 días						

## FICHA 27

<b>TITULO:</b> Características y mecanismo de remoción de los precursores de N-cloro-2,2-dicloroacetamida en un proceso de tratamiento de agua potable en el lago Taihu									
<b>GENERAL</b>									
Autores:					Mengqing Ge, Tao Lin, Kemei Zhou, Hong Chen, Hang Xu, Hui Tao & Wei Chen				
Referencia:					Ge, et al., 2020				
Escala de estudio:					Laboratorio				
Tipo de agua tratada:					Lago Taihu				
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:					Pre-Ozonización, coagulación-sedimentación				
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>									
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC		
N-CI-DCAM FP (mg/L)	<input checked="" type="checkbox"/>	5,6	<input checked="" type="checkbox"/>	4,6	<input checked="" type="checkbox"/>	4,3	<input checked="" type="checkbox"/>	1,7 (%rem. 61,07)	
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>									
<b>OZONIZACIÓN</b>									
Dosis:					1,2 mg/L				
Tiempo de contacto:					6 min				
<b>BAC</b>									
HRT:					15 min				
Profundidad de lecho:					2,5 m				
Velocidad de filtración:					10 m/h				
Retrolavado					Sí, mediante una combinación de aire y agua. El lavado con aire se realizó inicialmente con una intensidad de 14 L/m/s <sup>2</sup> y un tiempo de retrolavado de 5 min, seguido de un lavado con agua que se consiguió aumentando la velocidad de flujo ascendente del afluente (12 m/h) y volviendo a un proceso de funcionamiento normal tras un lavado de 30 min				
Dirección de flujo:					Ascendente				
Tiempo de uso de GAC antes del estudio:					4 meses				

## FICHA 27.B

<b>TITULO:</b> Características y mecanismo de remoción de los precursores de N-cloro-2,2-dicloroacetamida en un proceso de tratamiento de agua potable en el lago Taihu									
<b>GENERAL</b>									
Autores:			Mengqing Ge, Tao Lin, Kemei Zhou, Hong Chen, Hang Xu, Hui Tao & Wei Chen						
Referencia:			Ge, et al., 2020						
Escala de estudio:			Laboratorio						
Tipo de agua tratada:			Lago Taihu						
Pretratamiento antes de O <sub>3</sub> -BAC:			Pre-Ozonización, coagulación-sedimentación						
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>									
PARÁMETRO	AGUA CRUDA		AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC		
N-Cl-DCAM	<input checked="" type="checkbox"/>	5,6	<input checked="" type="checkbox"/>	4,6	<input checked="" type="checkbox"/>	4,3	<input checked="" type="checkbox"/>	3,0	
FP (mg/L)						(% rem. 6)		( % rem. 29,84)	
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>									
<b>OZONIZACIÓN</b>									
Dosis:		1,2 mg/L							
Tiempo de contacto:		6 min							
<b>BAC</b>									
HRT:		15 min							
Profundidad de lecho:		2,5 m							
Velocidad de filtración:		10 m/h							
Retrolavado		Sí, mediante una combinación de aire y agua. El lavado con aire se realizó inicialmente con una intensidad de 14 L/m/s <sup>2</sup> y un tiempo de retrolavado de 5 min, seguido de un lavado con agua que se consiguió aumentando la velocidad de flujo ascendente del afluente (12 m/h) y volviendo a un proceso de funcionamiento normal tras un lavado de 30 min							
Dirección de flujo:		Ascendente							
Tiempo de uso de GAC antes del estudio:		2 años							

## FICHA 28

<b>TITULO:</b> Comparación del tratamiento de ozonización y biofiltración del agua de origen con materia orgánica con alto contenido de cianobacterias: el caso de una planta de tratamiento de agua seguida de un sistema de distribución de agua a pequeña escala							
<b>GENERAL</b>							
Autores:		I-Chieh Chien, Sheng-Pei Wu, Hsien-Chun Ke, Shang-Lien Lo y Hsin-hsin Tung					
Referencia:		Chien, et al., 2018					
Escala de estudio:		Pequeña escala					
Tipo de agua tratada:		Agua con alto contenido de cianobacterias en la isla de Kinmen					
Pretratamiento de O <sub>3</sub> -BAC:		Coagulación/flotación, filtración rápida en arena					
<b>CALIDAD DEL AGUA</b>							
PARÁMETRO	AGUA CRUDA	AFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE O <sub>3</sub>		EFLUENTE BAC	
Ph	<input checked="" type="checkbox"/> 7,16	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
Turbidez (NTU)	<input checked="" type="checkbox"/> 17,43	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	
DOC (mgC/L)	<input checked="" type="checkbox"/> 12-15	<input checked="" type="checkbox"/> 6,69		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 3,28	
THMFP (ug/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 109,1		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 61,3	
HAAFP (ug/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 72,9		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 50,3	
HANFP (ug/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 11,7		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 2,8	
TCNMFP (ug/L)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> 0,2		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 0,2	
Rem DOC (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 51% (O <sub>3</sub> -BAC)	
Rem THMFP (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 41% (O <sub>3</sub> -BAC)	
Rem. HAAFP (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 31% (O <sub>3</sub> -BAC)	
Rem. HAN (%)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/> 76% (O <sub>3</sub> -BAC)	
<b>PARÁMETROS OPERACIONALES</b>							
<b>OZONIZACIÓN</b>							
Dosis:		1 mg O <sub>3</sub> por mg de DOC. (1mgO <sub>3</sub> /mgDOC)					
Generador:		Ozonía CFS-2g, Ozonía, París, Francia					
<b>BAC</b>							
Material:		Vidrio					
Altura de columna:		40 cm					
Diámetro columna:		5 cm					
EBCT:		20 min					

### ANEXO 3: Tendencias en datos de literatura recopilados de parámetros operacionales vs parámetros respuesta.

Para observar las tendencias en los datos de literatura recopilados de parámetros operacionales del proceso O<sub>3</sub>-BAC, EBCT, profundidad de lecho GAC, velocidad de filtración y caudal (flujo volumétrico) con respecto a la remoción de las variables respuestas DOC o TOC y UV254 se realizaron gráficos de dispersión 2D.

#### Tendencias en datos de literatura recopilados de EBCT

Figura 20 ilustran los datos recolectados de la bibliografía de porcentaje de remoción de DOC o TOC y EBCT con la gráfica de dispersión 2D, en la cual no se observa una tendencia en los datos de literatura recopilada del EBCT en que se operan filtro BAC en los estudios respecto al porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC, lo que se puede observar con la línea de tendencia.

Sin embargo, en Figura 21 de gráfica de dispersión con los datos recolectados del porcentaje de remoción de UV254 y EBCT, se observa una tendencia de a mayor EBCT, mayor remoción de UV254.

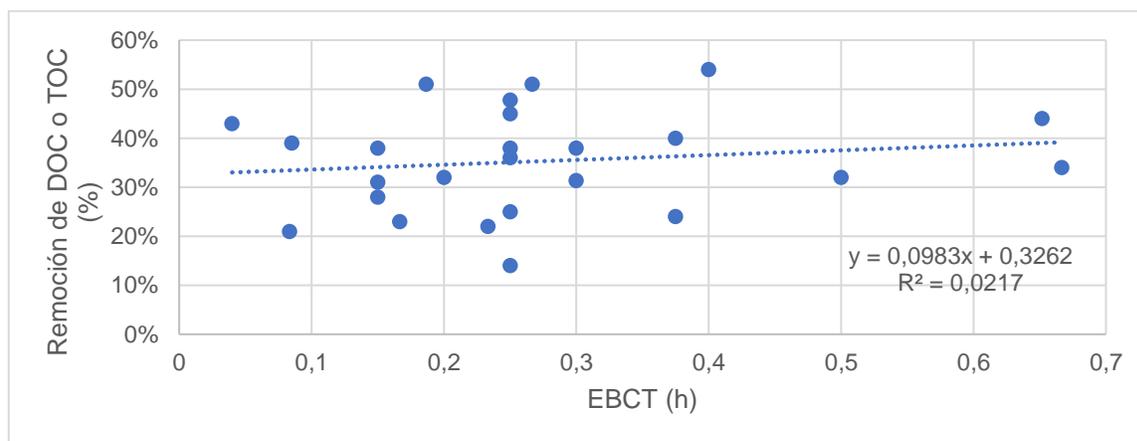


Figura 20. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de DOC o TOC del proceso O<sub>3</sub>-BAC vs tiempo de contacto con lecho vacío (EBCT) utilizado en la biofiltración con carbón activado granular

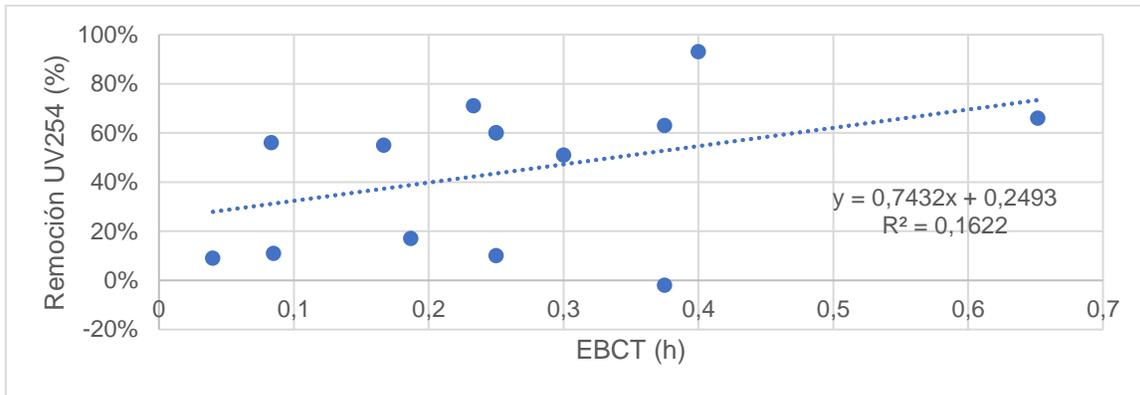


Figura 21. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de UV254 del proceso O<sub>3</sub>-BAC vs tiempo de contacto con lecho vacío (EBCT) utilizado en la biofiltración con carbón activado granular

### Tendencias en datos de literatura recopilados de profundidad de lecho GAC

Observando los datos recopilados en la literatura encontrada de DOC o TOC y profundidad de lecho GAC mediante una gráfica de dispersión se puede notar por la línea de trabajo que existe una tendencia en la literatura recopilada de la profundidad de lecho GAC en que se operan los filtro BAC en los estudios respecto al porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC (Figura 22), en la cual a mayor profundidad de lecho GAC, tiende a una menor remoción de DOC o TOC.

Sin embargo, cuando se observa la gráfica de dispersión con datos recolectados del porcentaje de remoción de UV254 y profundidad de lecho GAC (Figura 23), se encuentra que existe una tendencia en la que se muestra que a mayor profundidad de lecho GAC, los datos tienden a presentar una mayor remoción de UV254, aunque es una tendencia baja.

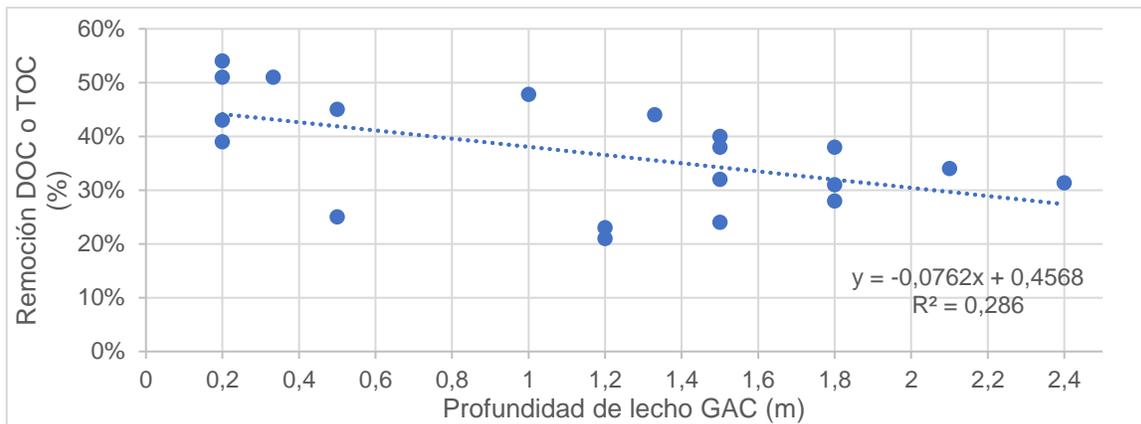


Figura 22. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de DOC o TOC del proceso O<sub>3</sub>-BAC vs profundidad de lecho GAC utilizado en la biofiltración con carbón activado granular.

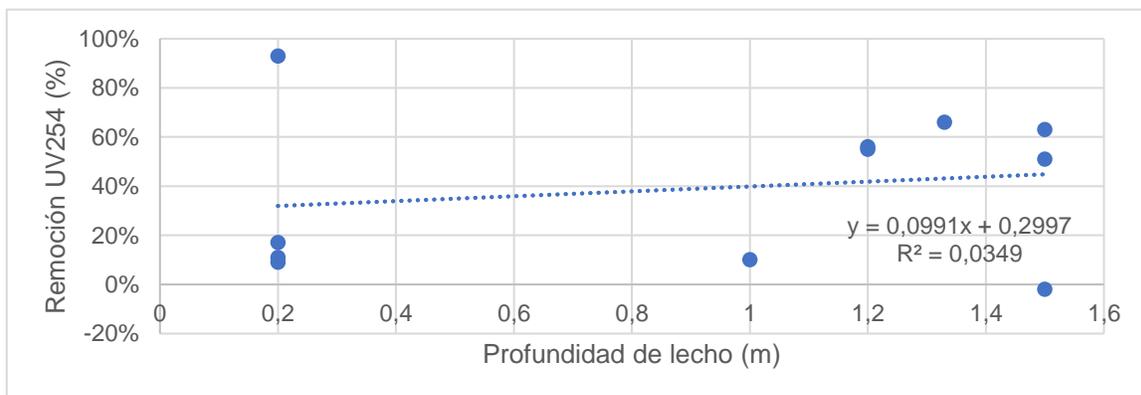


Figura 23. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de UV254 del proceso O<sub>3</sub>-BAC vs profundidad de lecho GAC utilizado en la biofiltración con carbón activado granular.

### Tendencias en datos de literatura recopilados de velocidad de filtración

Observando datos recopilados en la literatura de DOC o TOC y velocidad de filtración con una gráfica de dispersión 2D se puede distinguir por la línea de trabajo (Figura 24) que existe una tendencia en la literatura de la velocidad de filtración en que se operan filtro BAC en los estudios respecto al porcentaje de remoción de DOC

o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC, en la cual, a mayor velocidad de filtración, menor remoción de DOC o TOC.

Sin embargo, observando la Figura 25 de gráfica de dispersión con datos recolectados del porcentaje de remoción de UV254 y velocidad de filtración, se encuentra que existe una tendencia en la que se muestra que, a mayor velocidad de filtración utilizada, mayor sería la remoción de UV254.

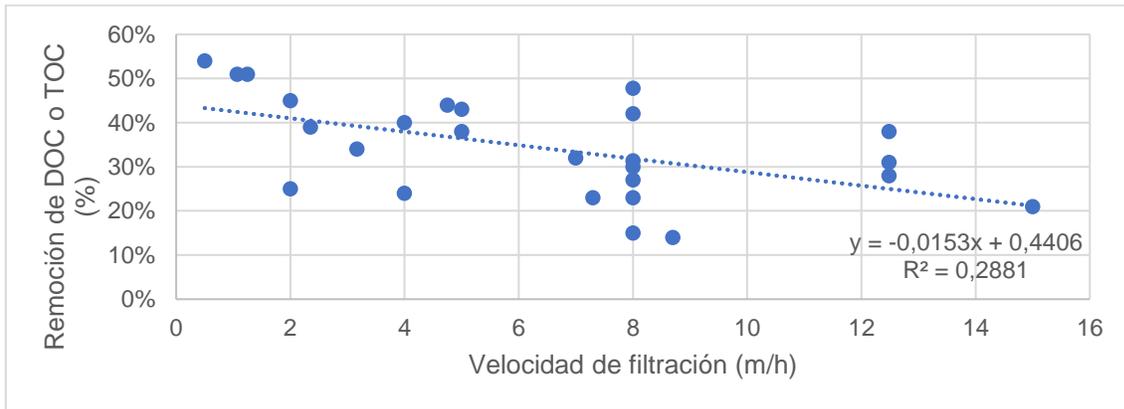


Figura 24. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de DOC o TOC del proceso O<sub>3</sub>-BAC vs velocidad de filtración utilizada en la biofiltración con carbón activado granular.

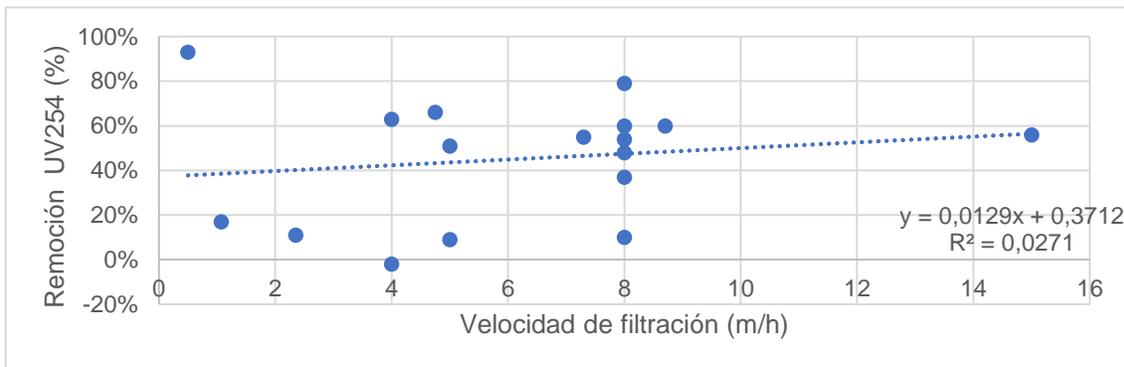


Figura 25. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de UV254 del proceso de tratamiento O<sub>3</sub>-BAC vs velocidad de filtración utilizada en la biofiltración con carbón activado granular.

### Tendencias en datos de literatura recopilados de caudal (flujo volumétrico)

Figura 26 ilustra una grafica de dispersión con los datos de caudal (flujo volumétrico) con respecto a DOC o TOC, en la cual se distingue por la línea de trabajo que existe una tendencia en la literatura de caudal en que se operan los filtro BAC en los estudios, respecto al porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC, en la cual, a mayor caudal, menor remoción de DOC o TOC.

Sin embargo, cuando se observa la gráfica de dispersión con datos recolectados del porcentaje de remoción de UV254 y caudal (Figura 27), se encuentra que existe una tendencia en la que se muestra que, a mayor caudal utilizada, mayor seria la remoción de UV254, pero esta tendencia mínima, por lo cual se puede decir que no se observa una tendencia con respecto a estos parámetros.

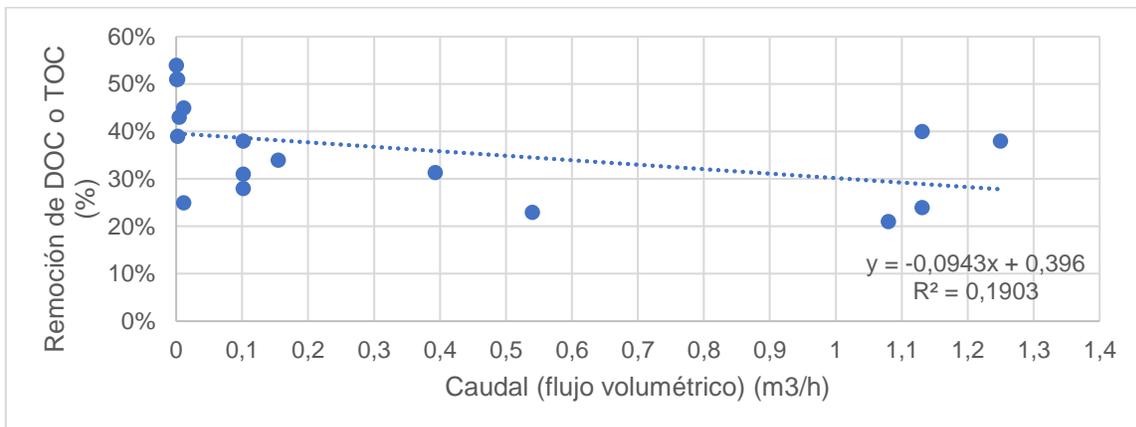


Figura 26. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de DOC o TOC del proceso de tratamiento de agua potable O<sub>3</sub>-BAC vs caudal utilizado en la biofiltración con carbón activado granular.

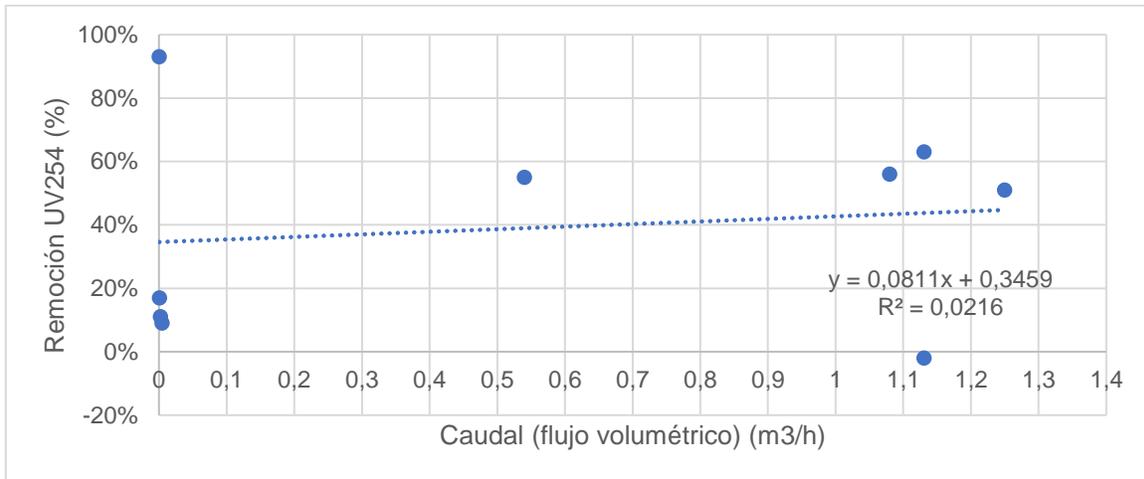


Figura 27. Gráfico de dispersión de porcentaje de remoción de UV254 del proceso de tratamiento de agua potable O<sub>3</sub>-BAC vs caudal utilizado en la biofiltración con carbón activado granular.

#### **ANEXO 4: Tendencias en datos de literatura recopilados de interacción entre dos parámetros operacionales y variables respuestas.**

Para observar las tendencias en los datos de literatura recopilados de parámetros operacionales EBCT, profundidad de lecho GAC, velocidad de filtración y caudal (flujo volumétrico) y sus interacciones, con respecto a la remoción de las variables respuestas DOC o TOC y UV254 se realizaron gráficos de dispersión con superficie 3D y gráficos de contorno.

#### **Tendencias en datos de literatura recopilados de dosis O<sub>3</sub> y profundidad de lecho GAC**

Las tendencias en los datos de literatura recopilados de los parámetros dosis de ozono y profundidad de lecho GAC con respecto a la remoción de las variables respuestas DOC o TOC y UV254 se encuentran en las Figuras 28.

Observando las Figuras 28 a) y b) los gráficos muestran una tendencia de entre mayor sea la dosis de O<sub>3</sub> y menor sea la profundidad de lecho de GAC, mayor sería la remoción de DOC o TOC por el proceso O<sub>3</sub>-BAC.

En cambio, en Figuras 28 c) y d) la remoción de UV254 en el proceso O<sub>3</sub>-BAC se encuentra una tendencia de a mayor profundidad de lecho y mayor dosis de ozono, mayor remoción de UV254, pero esto solo se observa hasta dosis de aproximadamente 5000 mgO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>, teniendo en cuenta que la cantidad de estudios que contenían estas variables eran pocos.

Además, Figura 28 b), muestran que, se acerca al porcentaje de remoción de DOC o TOC máximo entre 50-54% cuando la dosis de O<sub>3</sub> se encuentra entre 6600-7500 mgO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> con profundidad de lecho GAC 0,35-0,4 m.

Y Figura 28 d), se muestra una mayor remoción de UV254 de aproximadamente 65%, esto ocurre cuando los valores de los parámetros operacionales se encuentran entre dosis O<sub>3</sub> de 4000 mgO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> y profundidad de lecho 1,3m.

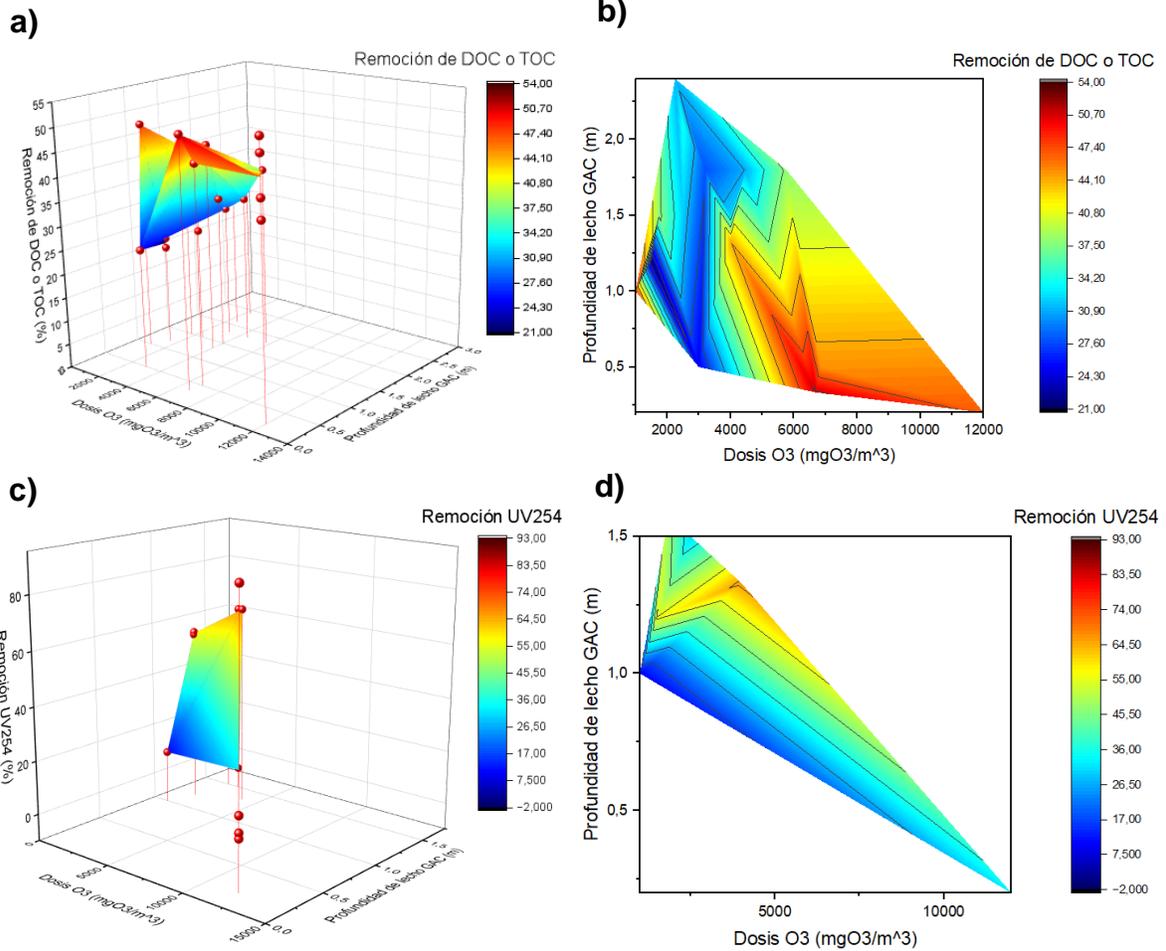


Figura 28. **a)** gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs profundidad del lecho GAC vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **b)** gráfico de contorno de dosis de ozono vs profundidad del lecho GAC vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **c)** gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs profundidad del lecho GAC vs r porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **d)** gráfico de contorno de dosis de ozono vs profundidad del lecho GAC vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O<sub>3</sub>-BAC.

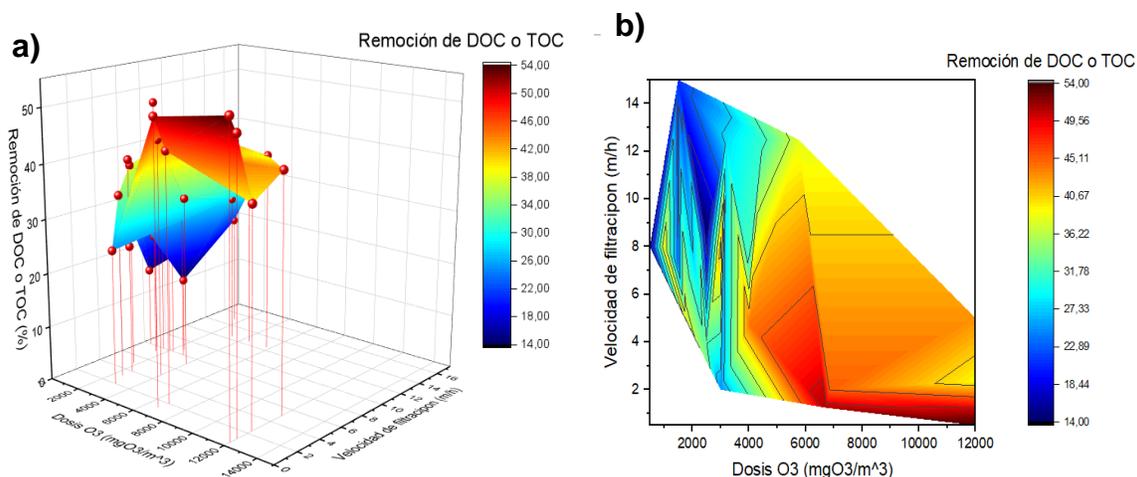
## Tendencias en datos de literatura recopilados de dosis O<sub>3</sub> y velocidad de filtración

Para observar las tendencias en los datos de literatura recopilados de los parámetros operacionales, dosis de ozono y velocidad de filtración con respecto a la remoción de las variables respuesta DOC o TOC y UV254 se realizaron gráficos de dispersión y superficie 3D y un gráfico de contorno, para cada variable respuesta ilustrados en Figuras 29.

Los gráficos de las Figuras 29 a) y b) muestran una tendencia de entre mayor sea la dosis de O<sub>3</sub> y menor es la velocidad de filtración, mayor sería la remoción de DOC o TOC por el proceso O<sub>3</sub>-BAC.

Por otro lado, en Figura 29 c) y d), la remoción de UV254 en el proceso O<sub>3</sub>-BAC no se permite observar una tendencia.

Además, Figura 29 b) muestran que se acerca al porcentaje de remoción de DOC o TOC máximo entre 50-54% cuando la dosis de O<sub>3</sub> se encuentra entre 6400-12000 mgO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>, con velocidades de filtración entre 1,6-0,5 m/h aproximadamente.



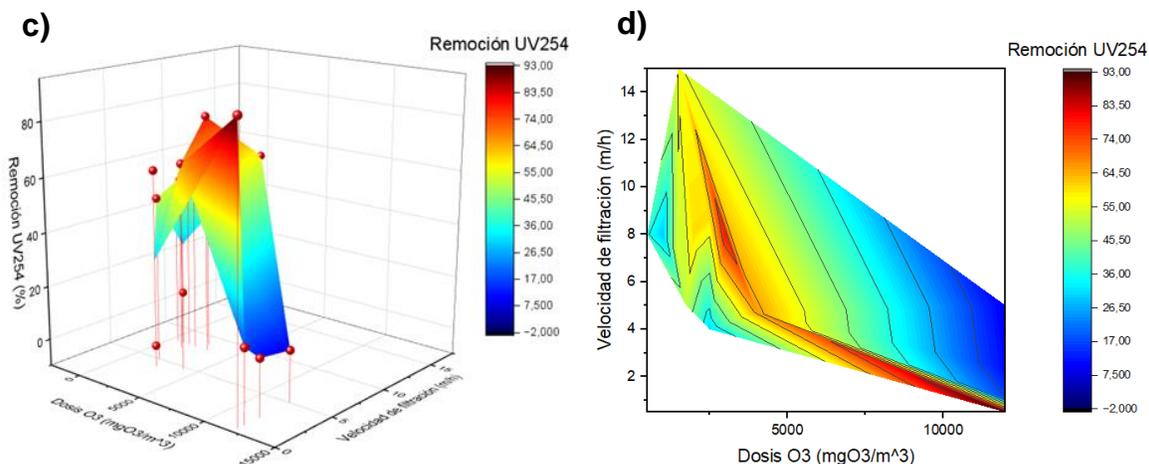


Figura 29. **a)** gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O<sub>3</sub>-BAC; **b)** gráfico de contorno de dosis de ozono vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O<sub>3</sub>-BAC; **c)** gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de UV254 en O<sub>3</sub>-BAC; **d)** gráfico de contorno de dosis de ozono vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de UV254 en O<sub>3</sub>-BAC.

### Tendencias en datos de literatura recopilados de EBCT y profundidad de lecho

Las tendencias en los datos de literatura recopilados de los parámetros operacionales EBCT y profundidad de lecho GAC, con respecto a la remoción de las variables respuestas DOC o TOC y UV254 se observan las Figuras 30 con gráficos de dispersión y superficie 3D y un gráfico de contorno.

Figura 30 no muestra una tendencia en los datos recopilados entre los parámetros operacionales EBCT, profundidad de lecho GAC y porcentaje de remoción de DOC o TOC por el proceso O<sub>3</sub>-BAC, lo mismo sucede con de remoción de UV254.

Al estudiar la Figura 30 b), se podría decir que la mayor remoción entre los datos recopilados de DOC o TOC (50-54% aproximadamente) ocurriría cuando el EBCT se encuentra entre 0,2-0,4 h, con profundidad bajo los 0,35 m.

De la Figura 30 d), observamos que los mayores valores de remoción (84-93%) se alcanzan cuando los parámetros operacionales se encuentran entre EBCT 0,37-0,48 h y profundidad de lecho 0,58-0,2 m aproximadamente.

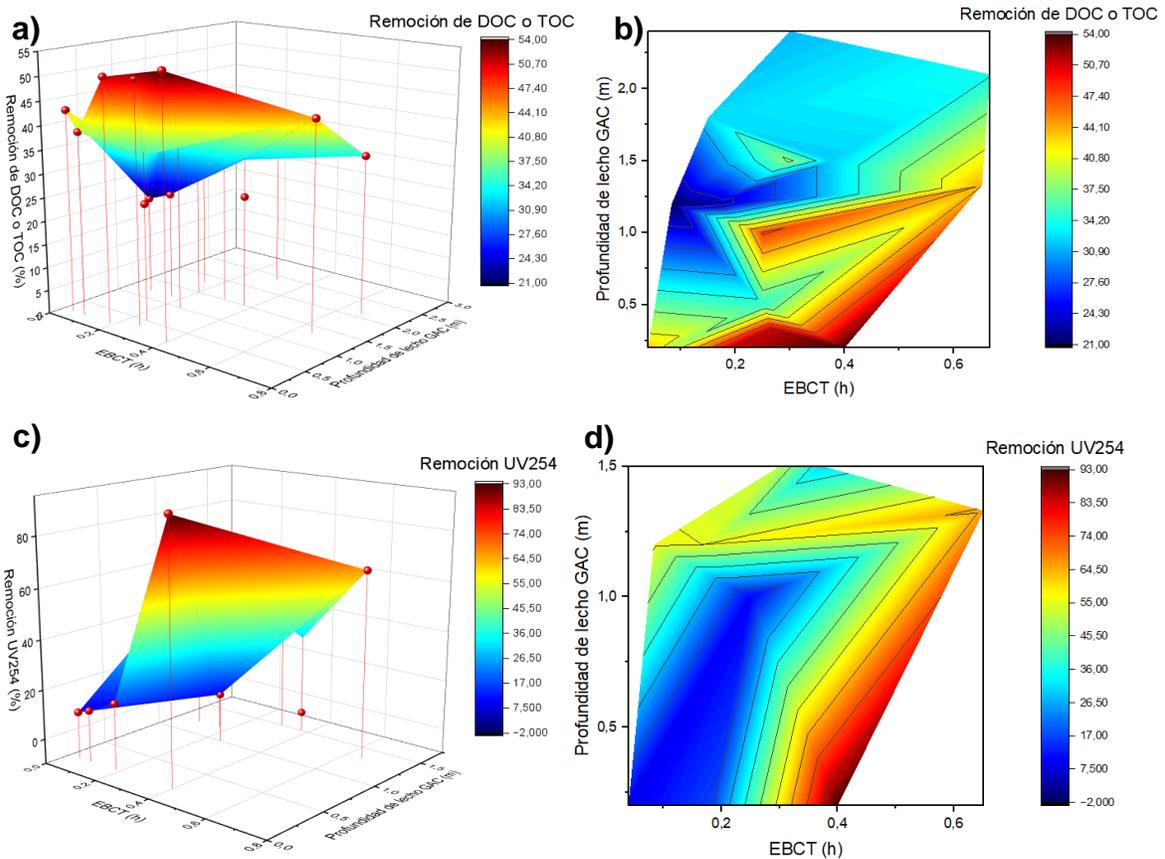


Figura 30. **a)** gráfico de dispersión con superficie 3D de EBCT vs profundidad de lecho GAC vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **b)** gráfico de contorno de EBCT vs profundidad de lecho GAC vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **c)** gráfico de dispersión con superficie 3D de EBCT vs profundidad de lecho GAC vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **d)** gráfico de contorno de EBCT vs profundidad de lecho GAC vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O<sub>3</sub>-BAC.

### **Tendencias en datos de literatura recopilados de EBCT y velocidad de filtración**

Para observar las tendencias en los datos de literatura recopilados de dos parámetros operacionales, EBCT y velocidad de filtración, con respecto a la remoción de las variables respuestas DOC o TOC y UV254 se realizaron gráficos de dispersión y superficie 3D y un gráfico de contorno, para cada variable respuesta observados en las Figuras 31.

Figura 31 no muestra una tendencia en los datos recolectados entre los parámetros operacionales EBCT, velocidad de filtración y porcentaje de remoción de DOC o TOC por el proceso O<sub>3</sub>-BAC, lo mismo sucede con porcentaje de remoción de UV254 por el proceso O<sub>3</sub>-BAC.

En Figura 31 b), se puede observar que la mayor remoción de DOC o TOC (50-54% aproximadamente) ocurriría cuando el EBCT se encuentra entre 0,2-0,45 h con velocidad de filtración se encontraría bajo los 1,4 m /h.

En Figura 31 d), se puede observar que máximas remociones (84-93%) se encuentran cuando EBCT se encuentra entre 0,36-0,48h y velocidad de filtración entre 0,6-1,8 m/h.

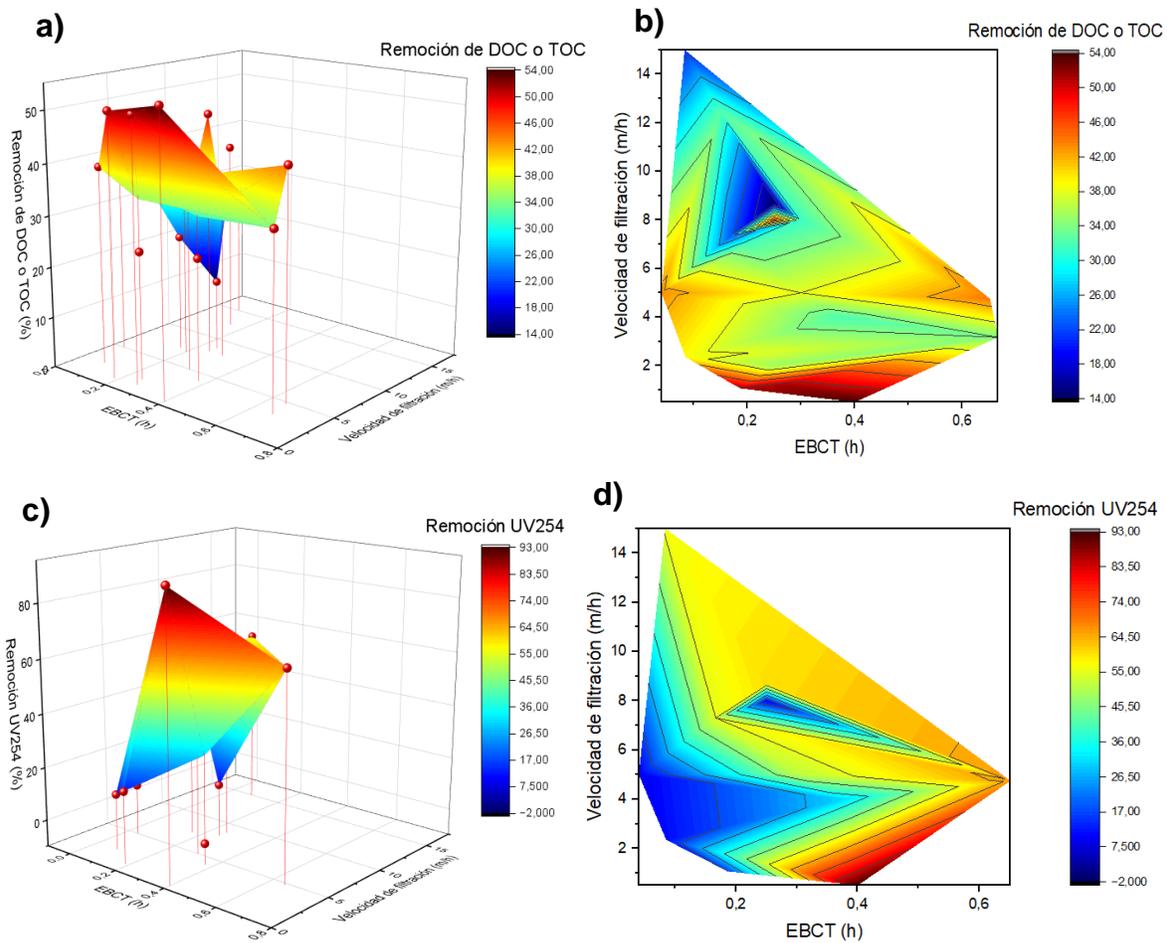


Figura 31. **a)** gráfico de dispersión con superficie 3D de EBCT vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O<sub>3</sub>-BAC; **b)** gráfico de contorno de EBCT vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O<sub>3</sub>-BAC; **c)** gráfico de dispersión con superficie 3D de EBCT vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de UV254 en O<sub>3</sub>-BAC; **d)** gráfico de contorno de EBCT vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de UV254 en O<sub>3</sub>-BAC.

### Tendencias en datos de literatura recopilados de profundidad de lecho GAC y velocidad de filtración

Tendencias en los datos de literatura recopilados de los parámetros operacionales profundidad de lecho GAC y velocidad de filtración, con respecto a la remoción de

las variables DOC o TOC y UV254 se visualizan en Figuras 32 de gráficos de dispersión y superficie 3D; y un gráfico de contorno.

En Figura 32 no se muestra una tendencia en la literatura con los datos recopilados entre los parámetros operacionales velocidad de filtración, profundidad de lecho GAC y porcentaje de remoción de DOC o TOC por el proceso O<sub>3</sub>-BAC. Lo mismo sucede con porcentaje de remoción de UV254 por el proceso O<sub>3</sub>-BAC.

Además, por Figura 32 b) se puede observar una mayor remoción (50-54%) cuando profundidad de lecho se encuentra entre 0,2- 0,5 m con velocidad de filtración entre los 0,5-1,4 m/h, es decir, cuando los parámetros son bajos.

La remoción máxima de UV254 se puede observar en la Figura 32 d) cuando los parámetros poseen valores bajos, pero en condiciones similares también se puede observar la menor remoción de UV254, por lo que no se observa una tendencia.

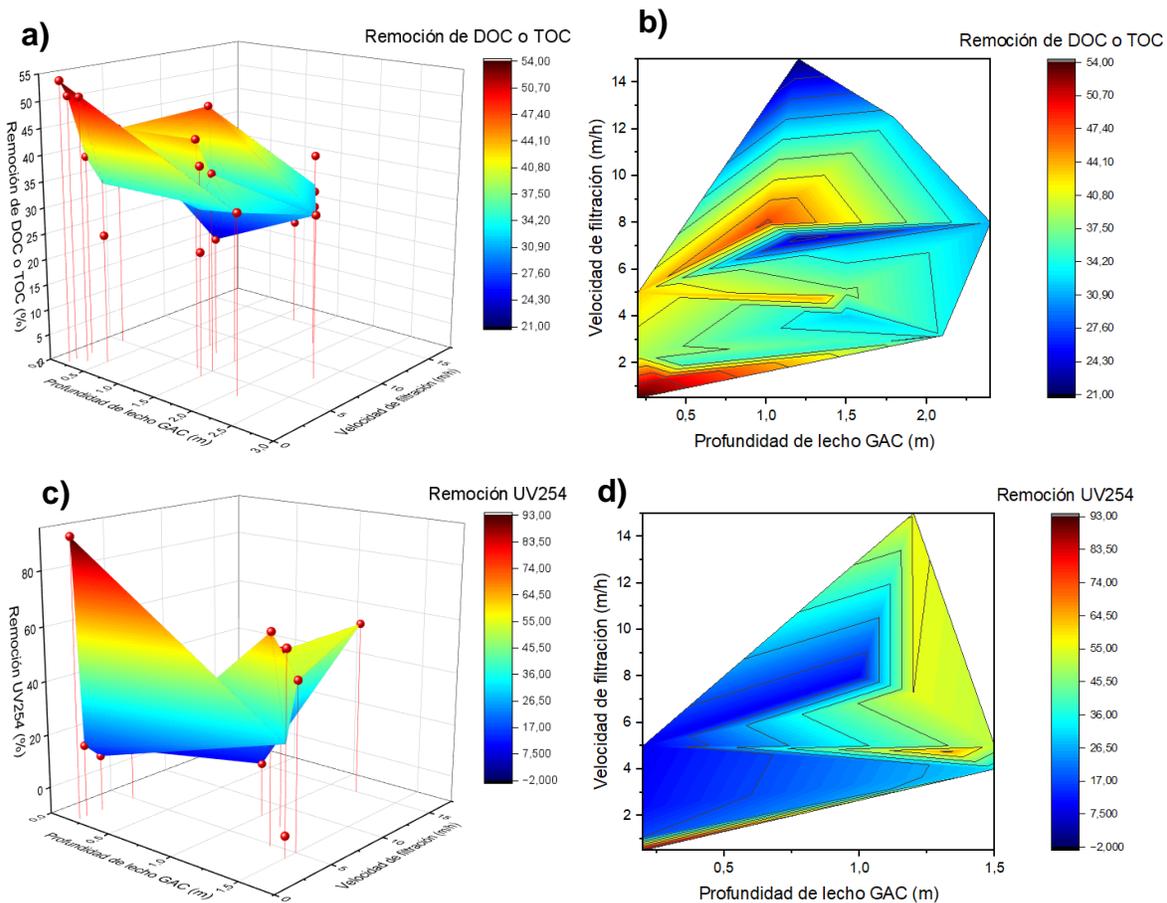


Figura 32. **a)** gráfico de dispersión con superficie 3D de profundidad de lecho GAC vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en proceso O<sub>3</sub>-BAC; **b)** gráfico de contorno de profundidad de lecho GAC vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en proceso O<sub>3</sub>-BAC; **c)** gráfico de dispersión y superficie 3D de profundidad de lecho GAC vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de UV254 en proceso O<sub>3</sub>-BAC; **d)** gráfico de contorno de profundidad de lecho GAC vs velocidad de filtración vs porcentaje de remoción de UV254 en proceco O<sub>3</sub>-BAC.

### **Tendencias en datos de literatura recopilados de dosis O<sub>3</sub> y caudal (flujo volumétrico)**

Para observar las tendencias en los datos de literatura recopilados de los parámetros operacionales dosis de ozono y caudal (flujo volumétrico), con respecto a la remoción de las variables respuestas DOC o TOC y UV254 se realizaron las Figuras 33 de gráficos de dispersión y superficie 3D; y un gráfico de contorno.

Por Figuras 33, se observa una tendencia de a menor caudal (flujo volumétrico) y mayor dosis de O<sub>3</sub>, mayor es el porcentaje de remoción de DOC o TOC y de UV254.

Figura 33 b), muestra mejor remoción (50%) cuando dosis de O<sub>3</sub> es 6500 mgO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup> y caudal se encuentre por 0,01 m<sup>3</sup>/h aproximadamente.

En Figura 33 d), se ilustran mayores remociones de UV254 (83-93%) cuando dosis de O<sub>3</sub> se encuentra entre 10000 y 12000 mgO<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>, con caudales entre 0,00048 y 0,12 m<sup>3</sup>/h aproximadamente.

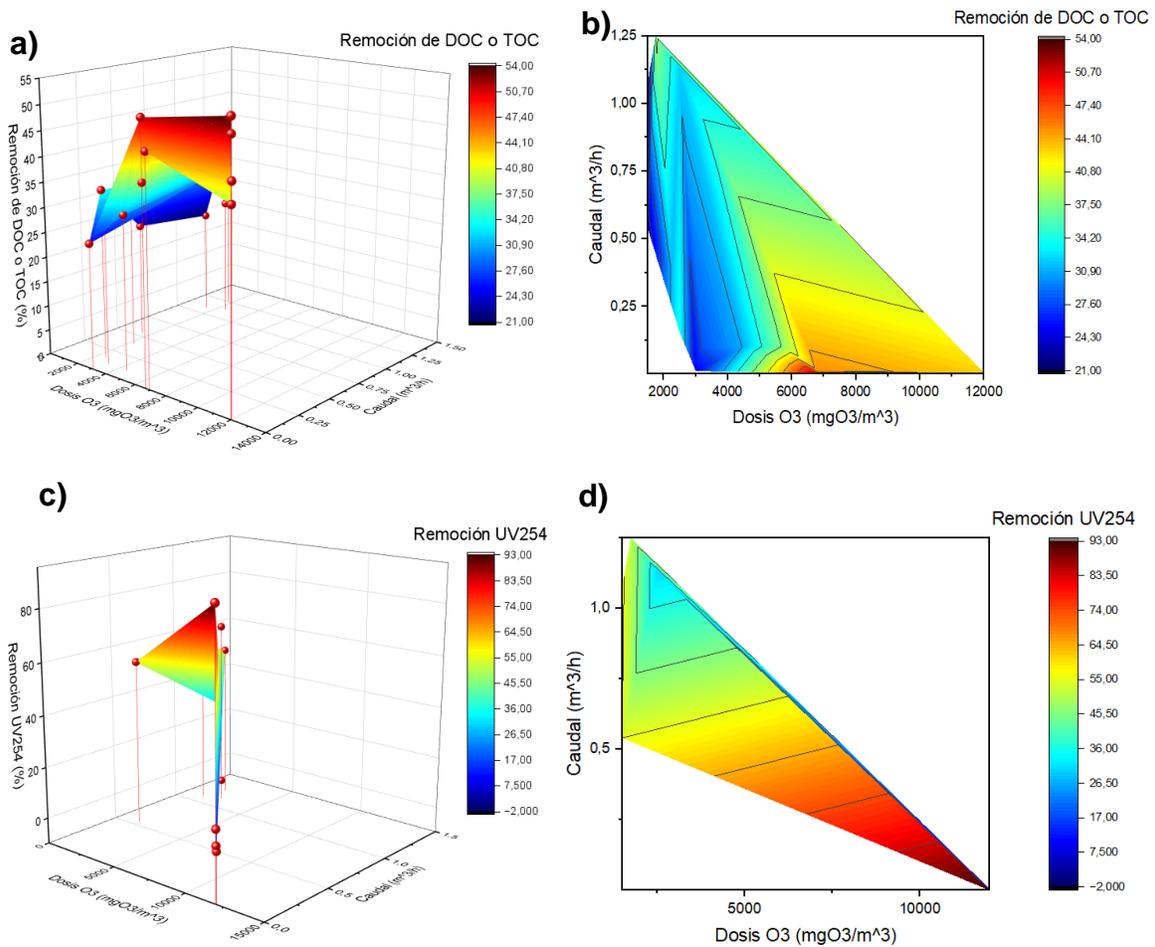


Figura 33. **a)** gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O<sub>3</sub>-BAC; **b)** gráfico de contorno de dosis de ozono vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O<sub>3</sub>-BAC; **c)** gráfico de dispersión con superficie 3D de dosis de ozono vs caudal vs porcentaje de remoción de UV254 en O<sub>3</sub>-BAC; **d)** gráfico de contorno de dosis de ozono vs caudal vs porcentaje de remoción de UV254 en O<sub>3</sub>-BAC.

### Tendencias en datos de literatura recopilados de EBCT y caudal (flujo volumétrico)

Figura 34 ilustra las tendencias en los datos de literatura recopilados de los parámetros operacionales EBCT y caudal (flujo volumétrico), con respecto a la

remoción de las variables respuestas DOC o TOC y UV254 se realizaron gráficos de dispersión y superficie 3D y un gráfico de contorno.

Con Figuras 34 a y b) no se observa una tendencia cuando se trata de los parámetros caudal (flujo volumétrico), EBCT y remoción de DOC o TOC. Sin embargo, se observa en Figuras 34 c y d) que los datos siguen una tendencia de a menor caudal y mayor EBCT, mayor la remoción de UV254.

Por Figuras 34 b), se dice que la mayor remoción de DOC o TOC (50-54% aproximadamente) ocurriría cuando el EBCT se encuentra entre 0,37-0,44 h con caudal bajo los 0,06 m<sup>3</sup>/h. Y Figura 34 d), muestra que a mayores EBCT y mayores caudales, mayor es la remoción de UV254 (84-93%) esto cuando están entre EBCT 0,34-0,4 h y caudal 0,014-0,17m<sup>3</sup>/h.

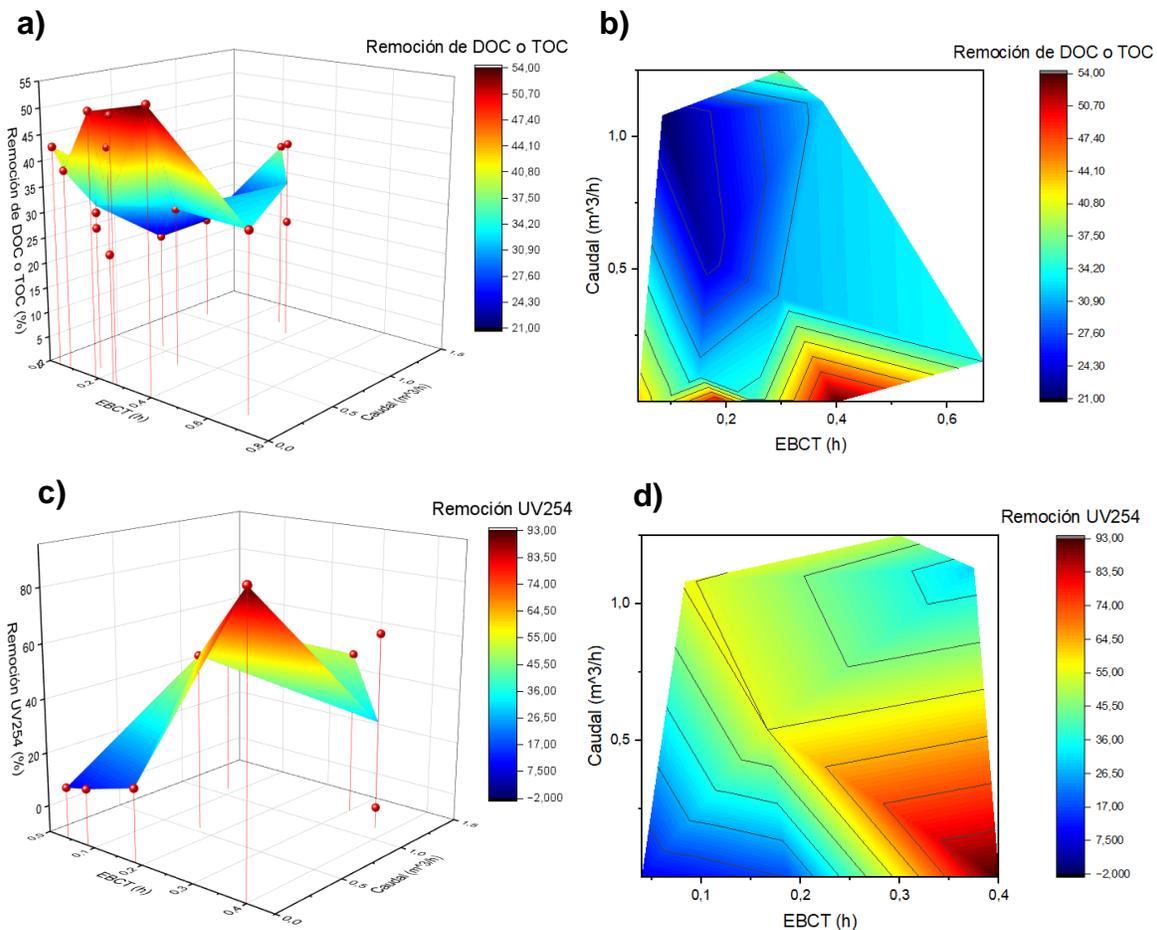
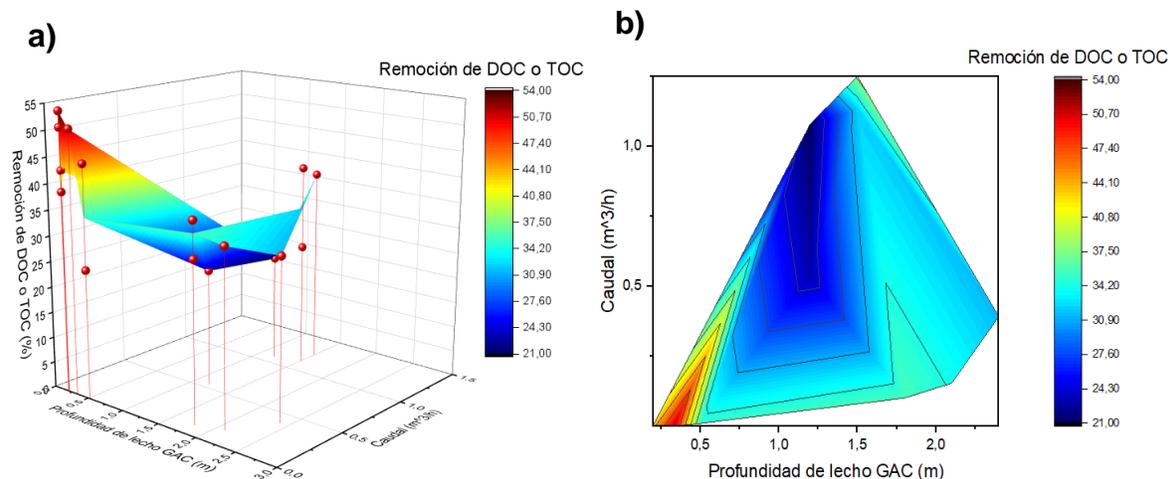


Figura 34. **a)** gráfico de dispersión con superficie 3D de EBCT vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O<sub>3</sub>-BAC; **b)** gráfico de contorno de EBCT vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en O<sub>3</sub>-BAC; **c)** gráfico de dispersión con superficie 3D de EBCT vs caudal vs porcentaje de remoción de UV254 en O<sub>3</sub>-BAC; **d)** gráfico de contorno de dosis de EBCT vs caudal vs porcentaje de remoción de UV254 en O<sub>3</sub>-BAC.

### Tendencias en datos de literatura recopilados de profundidad de lecho GAC y caudal (flujo volumétrico)

En Figura 35 no se observa una tendencia en los datos recopilados de la literatura entre los parámetros operacionales profundidad de lecho GAC, caudal (flujo volumétrico) y porcentaje de remoción de DOC o TOC por el proceso O<sub>3</sub>-BAC. Lo mismo sucede con porcentaje de remoción de UV254 por el proceso O<sub>3</sub>-BAC.

Observando la Figura 35 b), la mayor remoción (47-50%) sucede cuando la profundidad de lecho se encuentra aproximadamente en 0,27- 0,38 m con caudal entre los 0,005-0,13 m<sup>3</sup>/h, es decir, cuando parámetros operacionales son bajos.



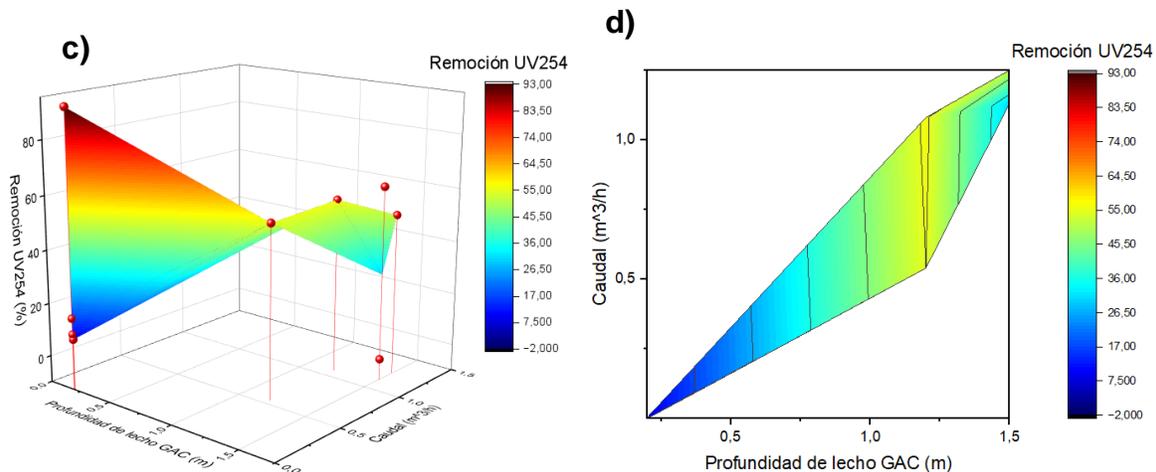


Figura 35. **a)** gráfico de dispersión con superficie 3D de profundidad de lecho GAC vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **b)** gráfico de contorno de profundidad de lecho GAC vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **c)** gráfico de dispersión con superficie 3D de profundidad de lecho GAC vs caudal vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **d)** gráfico de contorno de profundidad de lecho GAC vs caudal vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O<sub>3</sub>-BAC.

### Tendencias en datos de literatura recopilados de velocidad de filtración y caudal (flujo volumétrico)

Por Figura 36, no se observa una tendencia en los datos recolectados de la literatura entre los parámetros operacionales velocidad de filtración, caudal (flujo volumétrico) y porcentaje de remoción de DOC o TOC por el proceso O<sub>3</sub>-BAC. Lo mismo sucede con porcentaje de remoción de UV254 por el proceso O<sub>3</sub>-BAC. Aunque pareciera que tiende a una mejor remoción de DOC o TOC cuando los parámetros operacionales son bajos.

Observando la Figura 36 b), mayor remoción de DOC o TOC (50-54%) se encuentra cuando los parámetros operacionales se encuentran entre velocidad de filtración 0,53-115 m/h y caudal 0,01-0,16 m<sup>3</sup>/h.

Con Figura 36 d), se puede observar que la mayor remoción de UV254 se encuentra cuando estos parámetros son bajos, pero en condiciones similares también se encuentra la menor remoción, por lo que no se observa una tendencia.

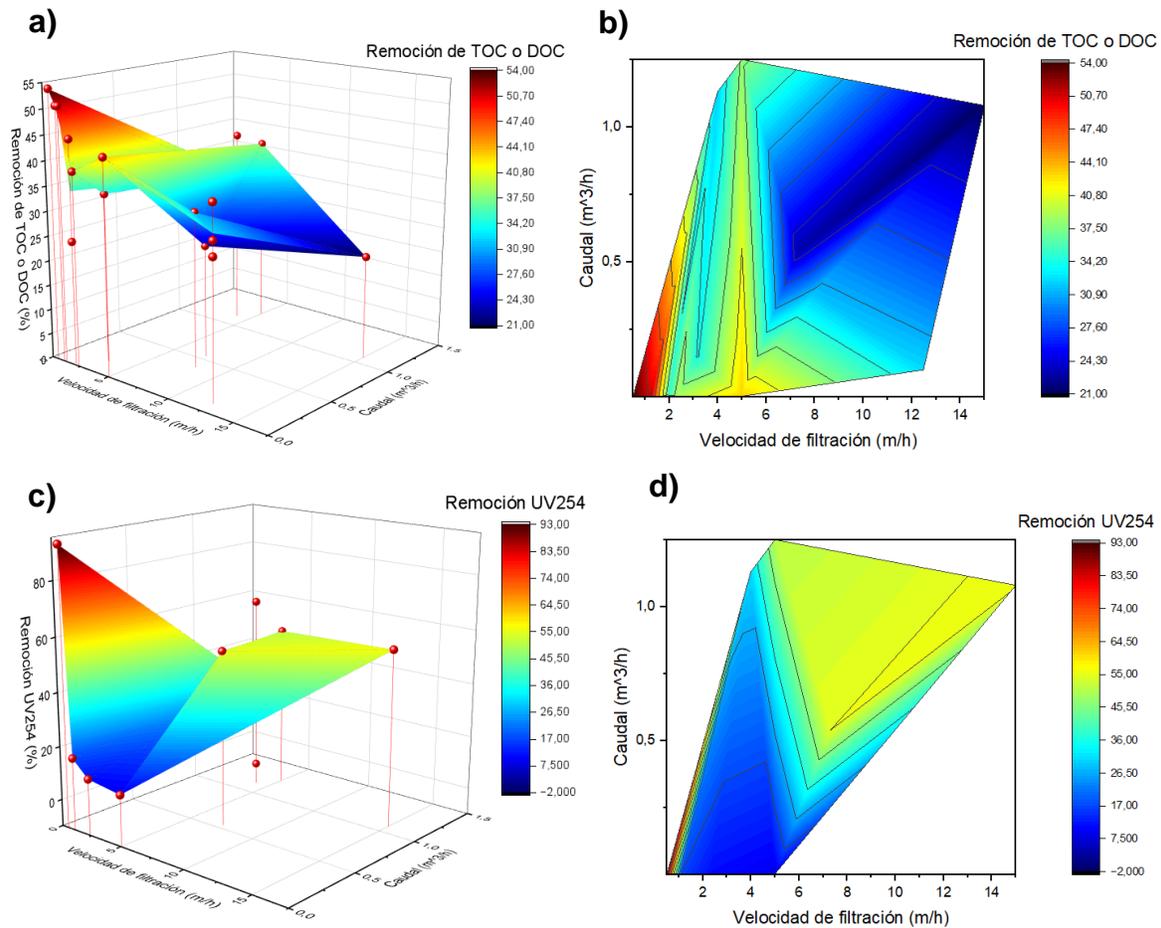


Figura 36. **a)** gráfico de dispersión con superficie 3D de velocidad de filtración vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **b)** gráfico de contorno de velocidad de filtración vs caudal vs porcentaje de remoción de DOC o TOC en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **c)** gráfico de dispersión con superficie 3D de velocidad de filtración vs caudal vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O<sub>3</sub>-BAC; **d)** gráfico de contorno velocidad de filtración vs caudal vs porcentaje de remoción de UV254 en el proceso O<sub>3</sub>-BAC.