



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Revisión sistemática: Remoción de antibióticos por ozono

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Abeldaño Mamani, Dangelo Peter (ORCID: 0000-0002-2793-137X)

Hurtado Prado, Bettizabel Hilaria (ORCID: 0000-0002-1908-246X)

**ASESOR:**

Mg. Ugarte Alva, Carlos Alfredo (ORCID: 0000-0001-6017-1192)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Sistemas de Gestión Ambiental

**LIMA - PERÚ**

2022

## **Dedicatoria**

Principalmente dedicamos este trabajo a Dios todopoderoso y bondadoso ya que nos brinda sabiduría, paciencia y sin el nada es posible.

Dedicado a nuestros padres que nos han brindado su amor, apoyo, consejos y comprensión durante este camino ayudándonos a concluir satisfactoriamente lo encomendado, porque sin su amor y apoyo no lo hubiéramos logrado.

### **Agradecimiento**

A Dios por brindarnos fuerza,  
y paciencia, a nuestros padres  
por su eterno cariño y apoyo  
incondicional en este camino.

## Índice de Contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Índice de abreviaturas .....	vii
Resumen.....	x
Abstract.....	xi
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO .....	3
III. METODOLOGÍA .....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	15
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística .....	16
3.3. Escenario de estudio.....	17
3.4. Participantes .....	17
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
3.6. Procedimientos .....	19
3.7. Rigor científico .....	20
3.8. Método de análisis de información.....	20
3.9. Aspectos étnicos .....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	23
V. CONCLUSIONES .....	43
VI. RECOMENDACIONES.....	45
REFERENCIAS.....	46
ANEXOS	

## Índice de Tablas

<b>TABLA N° 1:</b> Cuadro de antecedentes .....	4
<b>TABLA N° 2:</b> Clases de antibióticos .....	10
<b>TABLA N° 3:</b> Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística	16
<b>TABLA N° 4:</b> Presencia de contaminantes físicos, químicos y biológicos.....	25
<b>TABLA N° 5:</b> Tabla de métodos, catalizadores y efectividad .....	40

## Índice de Gráficos y Figuras

<b>FIGURA N° 1:</b> Ozonización en modo continuo .....	13
<b>FIGURA N° 2:</b> Degradación y desactivación de ARG .....	14
<b>FIGURA N° 3:</b> Países donde se desarrollaron las investigaciones .....	23
<b>FIGURA N° 4:</b> Países donde fueron realizados los estudios .....	24
<b>FIGURA N° 5:</b> Años de los artículos .....	37
<b>FIGURA N° 6:</b> Porcentaje de eliminación de los antibióticos estudiados.....	37
<b>FIGURA N° 7:</b> Ozono en presencia de catalizadores .....	38
<b>FIGURA N° 8:</b> Eficiencia por ozono .....	39

## Resumen

El objetivo de nuestra investigación fue conocer los métodos de remoción de antibióticos por ozono. Llevando a cabo una revisión sistemática a partir de artículos científicos buscados en la base de datos entre los años 2017 a 2022, de los cuales escogimos 25 artículos, ordenándolos de tal manera que sea más rápida la búsqueda, los antibióticos que se pueden eliminar mediante el método por ozono; identificar los catalizadores que se usan para la remoción de antibióticos por ozono y buscando la eficiencia de los métodos de remoción de antibióticos por ozono.

En cuanto a los antibióticos que se pueden eliminar en alto porcentaje a través de la ozonización tenemos a la ampicilina (AMP), azitromicina (AZM), eritromicina (ERY), claritromicina (CLA), ofloxacina (OFL), sulfametoxazol (SMX), trimetoprima (TMP), tetraciclina (TC), norfloxacin (NOR), ciprofloxacina (CIP), sulfadiazina, metronidazol (MTZ) y compuestos en parentesco, benzotriazoles (BTZ) y fluconazol (FCZ). Por otro lado, los catalizadores que se usan para la remoción de antibióticos por ozono son; el peróxido de hidrógeno o agua oxigenada, bromuro, nanopartículas magnéticas de  $Mg(OH)_2$ ,  $NiCo_2O_4$ , Manganeso y cerio (Mn-Ce), Fe (hierro cerovalente ( $Fe^0$ ) y magnetita ( $Fe_3O_4$ ), manganito de magnesio ( $MgMnO_3$ ),  $Fe(O_3/Fe^0)$ , óxido-hidróxido (limonita) de hierro (III) natural y tratado con plasma, y óxido de aluminio ( $Al_2O_3$ ) nanopartículas. Por último, se determinó que al emplear el método por ozono es eficaz, ya que al realizar el estudio y leer varios artículos científicos comprobamos que es un método eficaz y prometedor para la eliminación de antibióticos que hoy en día es un contaminante emergente preocupante. Finalmente, se recomienda realizar estudios con otros antibióticos por ejemplo Aminoglucósidos, Glicopéptidos y lipoglicopéptidos, entre otros y con métodos referentes de eliminación de antibióticos: Ósmosis inversa, nano y ultrafiltración, etc.

**Palabras claves:** ozono, antibióticos, remoción.

## Abstract

The objective of our research was to know the methods of elimination of antibiotics by ozone. Carrying out a systematic review from scientific articles searched in the database between the years 2017 to 2022, of which we chose 25 articles, ordering them in such a way that the search is faster, the antibiotics that can be eliminated by ozone method; identify the catalysts that are used for the removal of antibiotics by ozone and looking for the efficiency of the methods of removal of antibiotics by ozone.

As for the antibiotics that can be eliminated in a high percentage through ozonation, we have ampicillin (AMP), azithromycin (AZM), erythromycin (ERY), clarithromycin (CLA), ofloxacin (OFL), sulfamethoxazole (SMX), trimethoprim (TMP), tetracycline (TC), norfloxacin (NOR), ciprofloxacin (CIP), sulfadiazine, metronidazole (MTZ) and related compounds, benzotriazoles (BTZ) and fluconazole (FCZ). On the other hand, the catalysts used for the removal of antibiotics by ozone are; hydrogen peroxide or hydrogen peroxide, bromide, magnetic nanoparticles of  $Mg(OH)_2$ ,  $NiCo_2O_4$ , Manganese and cerium (Mn-Ce), Fe (zerovalent iron ( $Fe^0$ )) and magnetite ( $Fe_3O_4$ ), magnesium manganite ( $MgMnO_3$ ),  $Fe(O_3/Fe^0)$ , natural and plasma-treated iron (III) oxide-hydroxide (limonite),  $\gamma$  aluminum oxide ( $Al_2O_3$ ) nanoparticles, the ozone method is effective, since by Carrying out the study and reading several scientific articles, we verified that it is an effective and promising method for the elimination of antibiotics, which today is an emerging contaminant of concern, for example aminoglycosides, glycopeptides and lipoglycopeptides, among others, and with reference methods for the elimination of antibiotics: Reverse osmosis, nano and ultrafiltration, etc.

**Keywords:** ozone, antibiotics, removal.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la contaminación del medio ambiente por antibióticos a sido un problema de salud pública creciente (Boševski & Gotvajn, 2021), siendo China el mayor productor y exportador de antibióticos en bruto. (Klein et al., 2018a).

La persistencia de antibióticos en los ecosistemas podría influir en la evolución de la estructura microbiana, amenazando así la salud ecológica(Sharma et al., 2016a). Además, la presión de selección que se origina de los antibióticos residuales sobre el microbio ambiental podría fomentar la formación y propagación de bacterias y genes resistentes a los antibióticos a largo plazo (Inyinbor et al., 2018). Las aguas residuales se encuentran entre los reservorios más importantes de resistencia a los antibióticos en entornos urbanos.(Manaia et al., 2018), muchos antibióticos se transportan junto con las aguas residuales a las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR), que también fueron una fuente importante de contaminación por antibióticos. El vertido de aguas residuales tratadas y lodos en exceso constituye la liberación de antibióticos de las EDAR al medio natural. Se ha aplicado una amplia gama de tecnologías (p. ej., oxidación y oxidación avanzada, adsorción y procesos de membrana) para la eliminación de antibióticos en las aguas residuales tratadas y otras aguas contaminadas con antibióticos (Benitez et al., 2011a; Homem & Santos, 2011a; Jiang et al., 2013a). Sin embargo, la eliminación de los antibióticos presentes en los lodos no ha recibido suficiente atención.

Hoy en día, los ecosistemas y la salud humana se ven amenazados por la aparición ambiental de contaminantes químicos y biológicos de preocupación emergente (CEC), como los antibióticos y los genes de resistencia a los antibióticos adquiridos (ARG), movilizados por bacterias resistentes a los antibióticos (ARB). Los ARB&ARG son considerados como un grave problema de salud pública por diversas organizaciones internacionales y la Unión Europea (UE), debido a su generalización en el medio ambiente, la cadena alimentaria e incluso en el agua potable, entre otros (Berendonk et al., 2015; Rizzo et al., 2013)

La limitada capacidad de los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales para reducir los niveles de diferentes tipos de contaminantes

existentes en las aguas residuales, como productos farmacéuticos y de higiene o bacterias o genes resistentes a los antibióticos, por lo que se ha convertido en objeto de un intenso debate en los últimos años. Esta limitación implica que las plantas de tratamiento de aguas residuales, originalmente diseñadas como nodos cruciales en la protección del medio ambiente y de la salud pública, pueden tener una carga significativa sobre el medio ambiente e, indirectamente sobre la salud humana. Por lo tanto, cada vez se recomienda más la implementación de procesos avanzados de tratamiento de aguas residuales (Sousa et al., 2017a).

Por lo cual, se planteó el siguiente problema general: ¿Cuáles serán los conocimientos adquiridos al estudiar la remoción de antibióticos por ozono? Por otro lado, se plantearon los siguientes problemas específicos: ¿Cuáles son los antibióticos que se pueden eliminar mediante el método por ozono? ¿Cuáles son los catalizadores que se usan para la remoción de antibióticos por ozono? ¿será eficiente la remoción de antibióticos por ozono?

Ahora bien, gracias a que el método por ozono elimina considerablemente algunos antibióticos, se incrementó el interés del estudio científico ya que los investigadores estudiaron la ozonización para mejorar el índice de biodegradabilidad, identificar los productos de degradación y reducir la toxicidad de las aguas residuales farmacéuticas (Michael-Kordatou et al., 2017)

Al analizar la realidad problemática se planteó el siguiente objetivo general: tener conocimiento de los métodos para la remoción de los antibióticos por ozono. Mientras que los objetivos específicos fueron: Identificar los antibióticos que se pueden eliminar mediante el método por ozono; identificar los catalizadores que se usan para la remoción de antibióticos por ozono y determinar la eficiencia de los métodos de remoción de antibióticos por ozono.

## **II. MARCO TEÓRICO**

Para la elaboración del presente trabajo de investigación, se realizó la recopilación de información de la base datos: Journal of Hazardous Materials, Water Research, Chemosphere, Science of The Total Environment, Journal of Water Process Engineering, Journal of Cleaner Production, Chemical Engineering Journal, International Journal of Hygiene and Environmental Health y Environmental Technology & Innovation, buscando que tengan en común lo siguiente: método, índice de efectividad.

TABLA N° 1:Cuadro de antecedentes

N°	AUTOR	AÑO	ANTIBIÓTICOS	MÉTODOS	PARÁMETROS	DOSIS DE OZONO	ANTIBIÓTICOS ELIMINADO AL%
1	Libing Chu Et al.	2019	-cefalosporinas -penicilina (PEN)	-radiación gamma -ozonización -tratamiento térmico	sólidos suspendidos totales (TSS), sólidos suspendidos volátiles (SVS), pH, DQO	5,2 g O <sub>3</sub> /L, y 71,9% y 87,3%	86 %, 80 % y 72–87 % mediante gamma, ozonización y tratamiento térmico.
2	I.C. Iakovides et al.	2019	-ampicilina (AMP) -azitromicina (AZM), -claritromicina (CLA), -eritromicina (ERY), -ofloxacina (OFL), -sulfametoxazol (SMX), -tetraciclina (TC), -trimetoprima (TMP)	-ozonización	-pH, conductividad, DOC, demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (TSS)	0,125, 0,25, 0,50 y 0,75 O <sub>3</sub>	25 %, 28%, 35%
3	Peining Lu et al.	2020	-ciprofloxacino (CIP)	-ozonización	-pH	62,5, 125,0 y 187,5	65 %
4	Younggun Yoon Et al.	2021	-ampicilina (AMP)	-ozonización -cloración	-pH	Estas muestras se trataron con O <sub>3</sub> (70 µM) o FAC (70 - 560 µM)	-
5	Lu Wang Et al.	2018	-azitromicina (AZT) -demeclociclina	-ozonización de lodos	-oxígeno disuelto (OD), temperatura, pH	102 mg por gramo de sólidos en suspensión de licor mixto	86,4% y el 93,6%

N°	AUTOR	AÑO	ANTIBIÓTICOS	MÉTODOS	PARÁMETROS	DOSIS DE OZONO	ANTIBIÓTICOS ELIMINADO AL%
6	Thi-Kim- Quyen Vo Et al.	2019	-norfloxacina (NOR)- ciprofloxacina (CIP) -ofloxacina (OFL) -sulfametoxazol (SMX) -eritromicina (ERI) -tetraciclina (TC) -trimetoprima (TMP)	-ozonización - biorreactor de membrana de esponja (sponge - mbr)	-pH, TSS, NH <sub>4</sub> + -N, TKN, TP, NI, CIP, OFL, SUL, ERY, TTE, TRI	-Se utilizó un generador de ozono (FD-3000 II) para suministrar ozono con una velocidad de 20– 40 mg O <sub>3</sub> h <sup>-1</sup>	45 y un 93 %, la tetraciclina se eliminó por completo (100 %)
7	Huijiao Wang et al.	2019	-ofloxacina (OFL) -trimetoprima (TMP) -norfloxacina (NOR) -ciprofloxacina (CIP) -metronidazol -biocidas -sal de nitrato de econazol y miconazol -clotrimazol -fluconazol (FCZ) -pentamidina -bixafeno propiconazol -benzotriazoles	-ozonización e -peroxona	-DOC, HCO, Alcalinidad, Amoníaco, Ca, Mg, Cl, Turbidez (NTU), Conductividad	Para la ozonización, se generó un gas de oxígeno que contenía O <sub>3</sub> (4,5 mg L <sup>-1</sup> O <sub>3</sub> ) pasando un gas de alimentación de O <sub>2</sub> puro (99,9 %)	-
8	Jian Lu et al.	2020	-metronidazol (MNZ)	-ozonización catalítica	-temperatura	El caudal de gas ozono se reguló mediante un caudalímetro de gas y se mantuvo en 0,1 L min <sup>-1</sup>	- 694,7 % usando Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @ Mg (OH)
9	Matilda Kråkstrom et al.	2020	-sulfadiazina	-ozonización catalítica	-pH	-	- La eliminación más eficiente tuvo lugar cuando la tasa de flujo de nitrógeno fue de 0,0025 L/min y la tasa de flujo de oxígeno fue de 445 mL/min. En estas

N°	AUTOR	AÑO	ANTIBIÓTICOS	MÉTODOS	PARÁMETROS	DOSIS DE OZONO	ANTIBIÓTICOS ELIMINADO AL%
							condiciones, SDZ se transformó en menos de 1 min. Los catalizadores no mejoraron la transformación de SDZ.
10	Hai Chen et al.	2021	-sulfametazina (SMT)	-ozonización catalítica	-pH	la mezcla de ozono/oxígeno a 0,3 l/min	La espinela podría mejorar significativamente la mineralización de SMT en un amplio rango de pH inicial de 3,0 a 9,0.
11	Igor Bosevski et al.	2021	-tiamulina, -amoxicilina (AMX) -levofloxacina (LVX)	-ozonización	-pH	durante 10 (dosis baja de ozono, 22–24 mg O <sub>3</sub> )20 min (dosis alta de ozono, 36-69 mg O <sub>3</sub> ).	aumenta la producción de biogás (13–18 %)
12	Marcus Östman et al.	2019	-econazol (ECZ) -terbinafina y -fluconazol (FCZ)	-ozonización y la adsorción sobre carbón activado.	-pH	(0,55 g O <sub>3</sub> /g Carbono orgánico total (COT)	fue capaz de eliminar la mayoría de los compuestos estudiados (>90%), excepto benzotriazoles y fluconazol (<50%).
13	Haibao Liu et al.	2022	-ciprofloxacina (CIP)	-ozonización catalítica	-pH	-	Ozonización independiente (69,96 %). El proceso MCAO aumentó significativamente la utilización de O <sub>3</sub> (84,68 %)
14	Maryam Foroughi et al.	2022	-bacterias resistentes a antibióticos (ARB) y genes de resistencia a antibióticos (ARG)	-ozonización con otras técnicas (como uv, ultrasonido (us), etc.).	- dosis de ozono y tiempo de contacto), sólidos, alcalinidad, pH	-	-

N°	AUTOR	AÑO	ANTIBIÓTICOS	MÉTODOS	PARÁMETROS	DOSIS DE OZONO	ANTIBIÓTICOS ELIMINADO AL%
15	Chikang Wang et al.	2020	-tetraciclina (TE) -ácido sulfúrico (h 2 so 4 - ácido fosfórico (h 3 po 4 - hidróxido de sodio (naoh) -ftalato ácido de potasio (c 8 h 5 ko 4) -terc -butanol ((ch 3) 3 coh)	-ozonización con miliburbujas y con burbujas ultrafinas	-ph	la dosis máxima de O <sub>3</sub> producida es de 10 g/h.	- 99,5 %, seguida de una mineralización de aproximadamente el 40 % con un tratamiento de 60 min
16	José M. Sousa et al.	2017	- bacterias resistentes a antibióticos (ARB) genes resistentes a antibióticos (ARG)	-tratamiento biológico de lodos activados, procesos de ozonización y uv 254 nm	Ph, Sólidos en suspensión, DQO, (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (12 mg/L); triptona (50 mg/L); extracto de carne (50 mg/L); extracto de levadura (7,5 mg/L); urea (7,5 mg/L); K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub> (10 mg / L); CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O (1 mg/L) y MgSO <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O (1 mg/L)	Estos experimentos se realizaron a un caudal de ozono constante (150 cm <sup>3</sup> /min STP) y concentración de entrada (50 g/Nm <sup>3</sup> )	-
17	Hai Chen et al.	2021	-sulfametoxazol (SMX) -sulfametazina (SMT) -sulfanilamida (Sm)	-ozonización combinada con radiación ionizante	-pH	. En una prueba típica, se alimentó continuamente O <sub>3</sub> con una velocidad de flujo de 0,30 l/min en el fondo del reactor de vidrio, que contenía 500 ml de solución de SMX de 20 mg/l.	a eficiencia de eliminación de TOC aumentó a 65.7%
18	I.C. Iakovides et al.	2021	-bacterias resistentes a antibióticos (ARB) genes resistentes a antibióticos (ARG)	-biorreactor de membrana (mbr) o lodo activado convencional (cas)19 membrana de ultrafiltración -ozonificación	pH, Conductividad, Carbono Orgánico Disuelto (DOC), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales Suspendidos (TSS), Nitratos (NO <sub>3</sub> -N)	La dosis de ozono se normalizó a los valores DOC, variando de 0,75 a 1,5 g O <sub>3</sub> / g DOC -1 para efluentes tratados con CAS y MBR	-El ozono fue efectivo en la inactivación de especies bacterianas portadoras de resistencia a trimetoprima (TMP), sulfametoxazol(SMX),

N°	AUTOR	AÑO	ANTIBIÓTICOS	MÉTODOS	PARÁMETROS	DOSIS DE OZONO	ANTIBIÓTICOS ELIMINADO AL%
							Erythromycin (ERY) y OFL.
19	Jiaqi Ding et al.	2020	-ofloxacino (OFC) -sulfametazina (SMT)	-ozonización	-pH	experimento se realizó con diferentes niveles de DOM (5, 15, 25, 35, 50 mg/L) y NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (5, 10, 15, 20, 30 mg/L) bajo condiciones relativamente optimizadas (dosis de O <sub>3</sub> , 4 mg/L; tiempo de contacto, 1 min).	Antes de cada experimento, primero se introdujeron ozono y agua milli-Q en el reactor durante 10 min, luego se enjuagó el reactor varias veces con agua milli-Q para eliminar las impurezas hasta un TOC inferior a 0,5 mg/l.
20	Jiang Lu et al.	2019	-sulfametoxazol (SMZ) -clorhidrato de tetraciclina (TC) -ciprofloxacina (CF) -trimetoprima (TMP)	-ozonización catalítica -fotocatálisis simultáneas (scop)	- temperatura	El ozono gaseoso controlado a la concentración de 2,0 mg L <sup>-1</sup> y con el caudal de 100 mL min <sup>-1</sup>	a 94,7 ± 0,9 %, 88,4 ± 0,9 %, 97,8 ± 1,0 % y 76,3 ± 0,9 % para -sulfametoxazol (SMZ), clorhidrato de tetraciclina (TC), ciprofloxacina (CF), trimetoprima (TMP)
21	Najmeh Shahmahdi et al.	2020	-sulfametoxazol (SMX)	-filtración filtro de membrana	-DQO, nitrato, nitrito, sulfato y pH	Se burbujeó gas ozono a un caudal constante de 1,5 L min <sup>-1</sup>	Se observó una mayor eficiencia de utilización de ozono en O <sub>3</sub> /Fe <sup>0</sup> en relación con el proceso de O <sub>3</sub> .

22	Zahra Heidari et al.	2022	-sulfasalazina (SSZ)	-ozonización catalítica	-pH	La concentración de ozono se cambió de 7 a 15 mg L <sup>-1</sup> con un analizador de ozono	mostraron 74.9 y 98.8% de degradación y 54.1 y 78.5% de mineralización sulfasalazina, (SSZ), respectivamente, mientras que 62.8 y 42.5% se lograron en el proceso de ozonización sola.
23	C. Stange et al.	2019	-tetraciclina (TE)	-cloración -ozonización -tratamiento uv	-pH y carbono orgánico disuelto	La concentración de ozono (20–30 mg*L <sup>-1</sup> , por duplicado) se midió por el método del índigo (Bader y Hoigné, 1981) antes de agregar la solución a los recipientes del lote en concentraciones finales entre 0 y 13 mg*L <sup>-1</sup> .	se necesita investigación adicional para determinar la efectividad de los nuevos procesos de tratamiento avanzados
24	Omid Nemati Sani et al.	2019	-ciprofloxacina (CIP)	-ozonización catalítica	-pH	1,4 mg L <sup>-1</sup> min <sup>-1</sup> .	14 a 41,18 %.
25	S. Mohan et al.	2021	-ciprofloxacina (CIP)	-ozonización	-DQO	La ozonización se realizó con diferentes caudales de gas ozono, a saber, 0,3, 0,5, 1 y 1,5 l/min, a través de un difusor de aire situado en la parte inferior del reactor de ozono.	el 99 % de CIP, el 39 % de la DQO inicial

Con respecto a las teorías relacionadas al trabajo de investigación hemos tomado en cuenta las siguientes definiciones:

La persistencia de antibióticos en los ecosistemas podría influir en la evolución de la estructura microbiana, amenazando así la salud ecológica (Sharma et al., 2016b). El uso excesivo de antibióticos y su posterior liberación ha atraído la atención de investigadores ambientales y departamentos administrativos de todo el mundo ((Zhang et al., 2015). Muchos antibióticos se transportan junto con las aguas residuales a las plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR), que también fueron una fuente importante de contaminación por antibióticos. El vertido de aguas residuales tratadas y lodos en exceso constituye la liberación de antibióticos de las EDAR al medio natural. En los últimos años, se ha aplicado una amplia gama de tecnologías (p. ej., oxidación y oxidación avanzada , adsorción y procesos de membrana) para la eliminación de antibióticos en las aguas residuales tratadas y otras aguas contaminadas con antibióticos (Benitez et al., 2011b; Homem & Santos, 2011b; Jiang et al., 2013b)

Dentro de los antibióticos, tenemos la clase de penicilinas que pueden dividirse de modo práctico en cinco clases en función de su actividad antibacteriana: las penicilinas naturales, las resistentes a penicilinasas o isoxazolilpenicilinas, las aminopenicilinas, las carboxipenicilinas y las acilureidopenicilinas (Tabla N°2), cefalosporina, Macrólidos y lincosaminas, amiglucosidos, Quinolonas, quinolonas y otros.

**TABLA N° 2:** Clases de antibióticos

	<b>CLASES</b>	<b>ANTIBIÓTICOS</b>
<b>Clases de penicilina</b>	Penicilinas naturales	Penicilina G, penicilina V, bencilpenicilina
	Isoxazolilpenicilinas	Meticilina, nafcilina, oxacilina, dicloxacilina
	Aminopenicilinas	Ampicilina, amoxicilina
	Carboxipenicilinas	Carbenicilina, ticarcilina
	Acilureidopenicilinas	Azlocilina, mezlocilina, piperacilina

<b>Cefalosporinas</b>	1ra Generación	Parenterales: Cefazolina, Cefalotina, Cefapirina, Cefradina. Orales: Cefadroxilo, Cefalexina, Cefradina
	2da Generación	Parenterales: Cefamandol, Cefonicid, Cefuroxima Orales: Cefaclor, Cefprozilo, Cefuroxima, Loracarbef
	Cefamicinas	Cefmetazol, Cefotetán, Cefoxitina
	3ra Generación	Parenterales: Cefoperazona, Cefotaxima, Ceftazidima, Ceftizoxima, Ceftriaxona, Moxalactam, Cefotolozano Orales: Cefdinir, Cefditoreno, Cefixima, Cefpodoxima, Ceftibuteno.
	4ta Generación	Parenterales: Cefepima, Cefpiroma
	5ta Generación	Parenterales: Ceftarolina, Ceftobiprol Horacio Angel Lopardo - 2020, p 16
<b>Macrólidos y lincosaminas</b>	14 átomos	Eritromicina, Claritromicina, Roxitromicina
	15 átomos	Azitromicina (azálido)
	16 átomos	Diacetildimecamicina, Espiramicina, Josamicina
	Lincosaminas	Clindamicina C. Rodrigo, 2006, P 10
<b>Aminoglucósidos</b>	Aminoglucósidos	Gentamicina, Tobramicina, Netilmicina, Amikacina
	Aminociclitolos	Espectinomina C. Rodrigo, 2006, P 11
<b>Quinolonas</b>	De primera generación	Ácido nalidíxico, Ácido pipemídico, Cinoxacino, Rosoxacino
	Fluoroquinolonas	Norfloxacino, Ciprofloxacino, Ofloxacino, Enoxacino, C. Rodrigo, 2006, P 11
<b>Otros</b>	Tetraciclinas	CIH, Clortetraciclinas, Oxitetraciclina, Demeclociclina, Minociclina, Doxiclina
	Nitrofuranos	Nitrofurantoína
	Nitromidazoles	Metronidazol
	Polipéptidos	Bacitracina
	Glucopéptidos	Vancomicina, Teicoplanina, Fosfomicina
	Esteptograminas	Quinupristina/ dalfopristina
	Oxazolidinona	Linezolid

Fuente: Elaboración propia

Además, China es el mayor productor y exportador de antibióticos en bruto. Entre ellos, los antibióticos  $\beta$ -lactámicos, incluidas las penicilinas y las cefalosporinas, representan hasta el 68 %, seguidos de las tetraciclinas (18 %). A nivel mundial, el consumo de penicilina y cefalosporina consistió en 39% y 22% en

el consumo total de antibióticos de 2000 a 2015 (Klein et al., 2018b). La mayoría de los antibióticos, incluidos los betalactámicos y las tetraciclinas, se producen mediante un proceso de fermentación microbiana, lo que da lugar a la producción de una gran cantidad de desechos sólidos, que están compuestos por los medios de cultivo, el micelio y los antibióticos residuales (Yang et al., 2019).

Los catalizadores utilizados en combinación con la ozonización pueden ser homogéneos o heterogéneos. La ventaja del catalizador heterogéneo es la fácil separación del catalizador del líquido y la posibilidad de reutilizar el catalizador (Gomes et al., 2017).

Se considera que el aumento en la velocidad de transformación observado cuando se usa un catalizador en combinación con ozono se debe a la transformación del ozono en radicales hidroxilo, la adsorción de materia orgánica al catalizador seguida de la oxidación del ozono disuelto o la adsorción de ozono y moléculas orgánicas en el catalizador seguido de una reacción superficial (Gomes et al., 2017). Varios catalizadores heterogéneos, como materiales a base de carbono óxidos metálicos (W. Chen et al., 2020), se han utilizado ampliamente en el proceso de ozonización catalítica, debido a su alta estabilidad y actividad catalítica, algunos compuestos los óxidos metálicos o los óxidos metálicos cargados en los aficionados también han recibido una atención cada vez mayor (J. Wang & Chen, 2020).

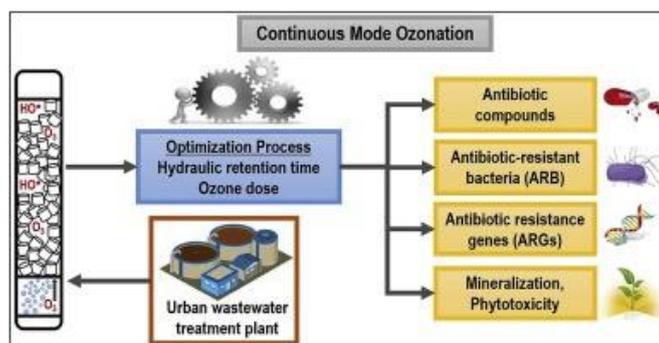
En catalizadores a base de virutas de hierro ( $Fe^0$ ) se han observado mayores tasas de remoción de demanda química del oxígeno (DQO) que cuando se aplicó solo la ozonización catalítica. (Li et al., 2018; J. Wang & Bai, 2017)

La ozonización tiene un gran potencial como tratamiento avanzado para la minimización de micro contaminantes en las aguas residuales urbanas: Han surgido tecnologías avanzadas de tratamiento de aguas residuales como una forma de reducir la descarga de contaminantes químicos (p. ej., antibióticos) y microbianos (p. ej., ARB y ARG) en el receptor. Ambientales (Hembach et al., 2019; Karaolia et al., 2018; Michael et al., 2019).

Se ha puesto un mayor interés en la ozonización a diferentes escalas (escala de banco, piloto y completa), que mostró la eficiencia del ozono en términos de eliminar varios micro contaminantes químicos, al tiempo que logra una desinfección suficiente de las aguas residuales (Lee & von Gunten, 2016;

von Gunten, 2003a, 2003b). Las moléculas de ozono ( $O_3$ ) atacan a los orgánicos directamente (oxidante selectivo), o indirectamente a través de la generación in situ de radicales hidroxilo ( $HO\cdot$ ) y la reacción de estos últimos con compuestos orgánicos (oxidante no selectivo). Se demostró que la inactivación de microorganismos por  $O_3$  sigue las mismas vías directas y/o indirectas que las reacciones con los constituyentes orgánicos de las aguas residuales (Dodd, 2012). En el estudio de Kirchner et al. (2020), se afirmó que la reducción de la carga bacteriana, durante la ozonización, se vio afectada por la dosis específica de  $O_3$  expresada como  $gO_3/g\text{ DOC}^{-1}$  (es decir, la concentración de  $O_3$  aplicada normalizada a carbono orgánico disuelto (DOC)) y la diferente susceptibilidad de los microorganismos frente al  $O_3$ .

**FIGURA N° 1:** Ozonización en modo continuo

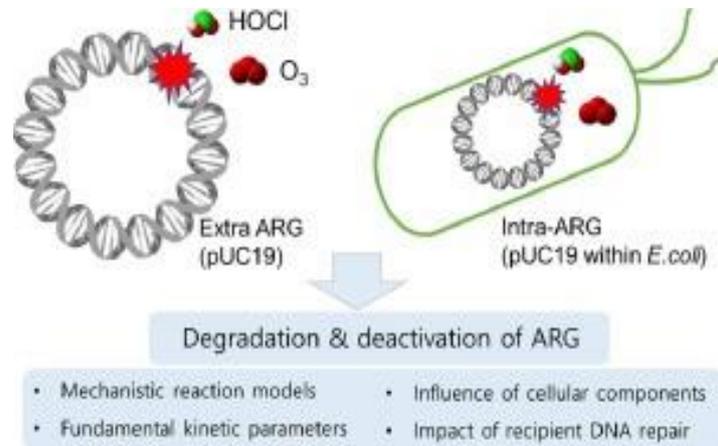


Nota. medir la eficiencia de degradación/desactivación de ARG codificados por plásmidos mediante tratamiento de agua con ozonización y cloración. (Yoon et al., 2021)

Los ARG ahora se consideran contaminantes de preocupación en varios ambientes acuáticos, ya que la transferencia de ARG a través de ciclos de agua naturales/antropogénicos puede contribuir potencialmente a la propagación de la resistencia a los antibióticos a los patógenos (Czekalski et al., 2012; Dodd, 2012; Pruden et al., 2006). Tanto los ARG extra (e-) como intracelulares (i-) son motivo de preocupación considerando el potencial de diseminación de la resistencia a los antibióticos (Dodd, 2012; Nagler et al., 2018). La resistencia a los antibióticos se puede diseminar dentro de las poblaciones bacterianas al compartir ARG móviles contenidos en bacteriófagos, plásmidos y ADN cromosómico a través de procesos de transferencia horizontal de genes (HGT) que incluyen conjugación

(contacto de célula a célula), transducción (entrega viral) y transformación (captación de ADN libre) (Thomas & Nielsen, 2005).

**FIGURA N° 2:** Degradación y desactivación de ARG



Nota. optimización adecuada del proceso de ozonización (Iakovides et al., 2019)

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

El presente proyecto de investigación es de tipo aplicada, cuya finalidad fue obtener conocimientos de base científica sobre la remoción de antibióticos por ozono, así como conocer los métodos sistemáticos que se aplican para su evaluación y vulnerabilidad. La investigación aplicada tiene como propósito hacer el uso inmediato del conocimiento existente.

Estos conocimientos ayudan a entender el impacto que causa en el agua y la importancia de la remoción de antibióticos de los ríos o mar, y las consecuencias de este tema así mismo plantear métodos de recuperación del agua, identificar el tipo de antibiótico y proceder a la eliminación o remoción de los antibióticos, analizar maneras de eliminación de genes a la resistencia a los antibióticos

Esta investigación es de enfoque cualitativo porque se analizó métodos en las revistas científicas de los autores sobre el problema ambiental de la contaminación de aguas por antibióticos, así como sistemas que evalúan los datos de los antibióticos, que efectividad tienen los métodos de remoción y sostenibilidad.

La estrategia cualitativa de producción de datos es recursiva, el investigador va avanzando conforme a la información que produce y analiza, y así, decide los próximos pasos a seguir. El investigador cualitativo va disponiendo en vivo, a partir de lo previsible y lo no previsto, los alcances de la selección. La muestra cualitativa aborda desde lo intensivo las características de la calidad de los fenómenos, desatendiendo su generalización cuantificable y extensa. (Serbia, 2007)).

Para el presente estudio se realizó una recopilación de datos de los artículos científicos con un Q1, Q2. Los cuales tienen un enfoque de estudio cualitativo dado que se incluyen información y datos para su procesamiento. Las palabras claves que se utilizaron fueron: Remoción, ozonización, antibióticos. De los cuales se seleccionaron los artículos científicos que tengan un enfoque a los datos referentes a la Remoción de antibióticos por ozono. De tal manera se evaluaron los impactos generados por los antibióticos en el agua.

### 3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

TABLA N° 3: Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUB-CATEGORÍA	CRITERIOS
1.-Identificar los genes de resistencia a los antibióticos	¿Cuáles son los genes de resistencia a antibióticos?	Genes de resistencia a los antibióticos adquiridos (ARG)	-Plásmidos -Transposones	1.1. Resultados de daño al ADN del Plásmido 1.2. Cinética de degradación y desactivación de ARG Observada en el estudio
2.-Identificar los antibióticos presentes en el agua	¿Qué antibióticos es tan presentes en el agua?	Antibiótico	-Antibióticos B-Lactámicos -Penicilina -Cefalosporina -Tetraciclinas	2.1. Tipo de antibiótico 2.2. Agua residual contaminada por antibióticos en estudio
3.-Identificar los catalizadores que ayudan a la eliminación de antibióticos	¿Qué catalizadores ayudan a la eliminación de antibióticos	Catalizador	-O <sub>3</sub> (Ozono) -FeO (Oxido Ferroso) -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (oxido de Aluminio) -TiO <sub>2</sub> (Oxido de titanio) -H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (Peróxido de hidrogeno o agua oxigenada) -COT (Carbono Orgánico Total)	3.1. Credibilidad en las fuentes de información de los procesos de ozonización 3.2. Resultados eficientes en el agua 3.3 Tipos de eficiencia de los catalizadores que se usan en el proceso de ozonización.

Fuente: Elaboración propia

### 3.3. Escenario de estudio

La presente investigación de sistemas del estudio del método de remoción de antibióticos por ozono se desarrolló en un escenario de estudio de manera virtual, se realizó una revisión sistemática de artículos científicos y de libros virtuales.

Los escenarios los cuales fueron utilizados para realizar estos métodos de remoción de antibióticos, fueron: Zonas de tratamiento de aguas residuales, Plantas de tratamientos de agua, ríos, Etc.

En estos escenarios se realizaron los métodos de remoción de antibióticos por ozono, los cuales se usaron métodos de lodos activados con ozonización, Radiación UV con ozonización, Ozonización catalítica, entre otros. Estos Métodos de remoción tienen la capacidad de remover, eliminar, cristalizar

### 3.4. Participantes

La presente investigación extrajo información de las siguientes revistas electrónicas: Journal of Hazardous Materials, Water Research, Chemosphere, Science of The Total Environment, Journal of Water Process Engineering, Journal of Cleaner Production, Chemical Engineering Journal, International Journal of Hygiene and Environmental Health y Environmental Technology & Innovation. El repositorio digital donde se buscó la información es el Elsevier.

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En toda investigación es necesario llevar a cabo la recolección de datos de esta manera, es un paso fundamental para tener éxito en la obtención de resultados.

Aquí se explica el procedimiento, lugar y condiciones de la recolección de datos. Esta sección es la expresión operativa del diseño de investigación, la especificación concreta de cómo se hará la investigación. Se incluye aquí: a) si la investigación será a base de lecturas, encuestas, análisis, de documentos u observación directa de los hechos; b) los pasos que se darán; y, posiblemente, c) las instrucciones para quien habrá de recoger los datos.<sup>42</sup> La recolección de los datos dependen en gran parte del tipo de investigación y del problema planteado para la misma, y puede efectuarse desde la simple ficha bibliográfica, observación, entrevista,

cuestionarios o en. cuestas y aun mediante ejecución de investigaciones para este fin.

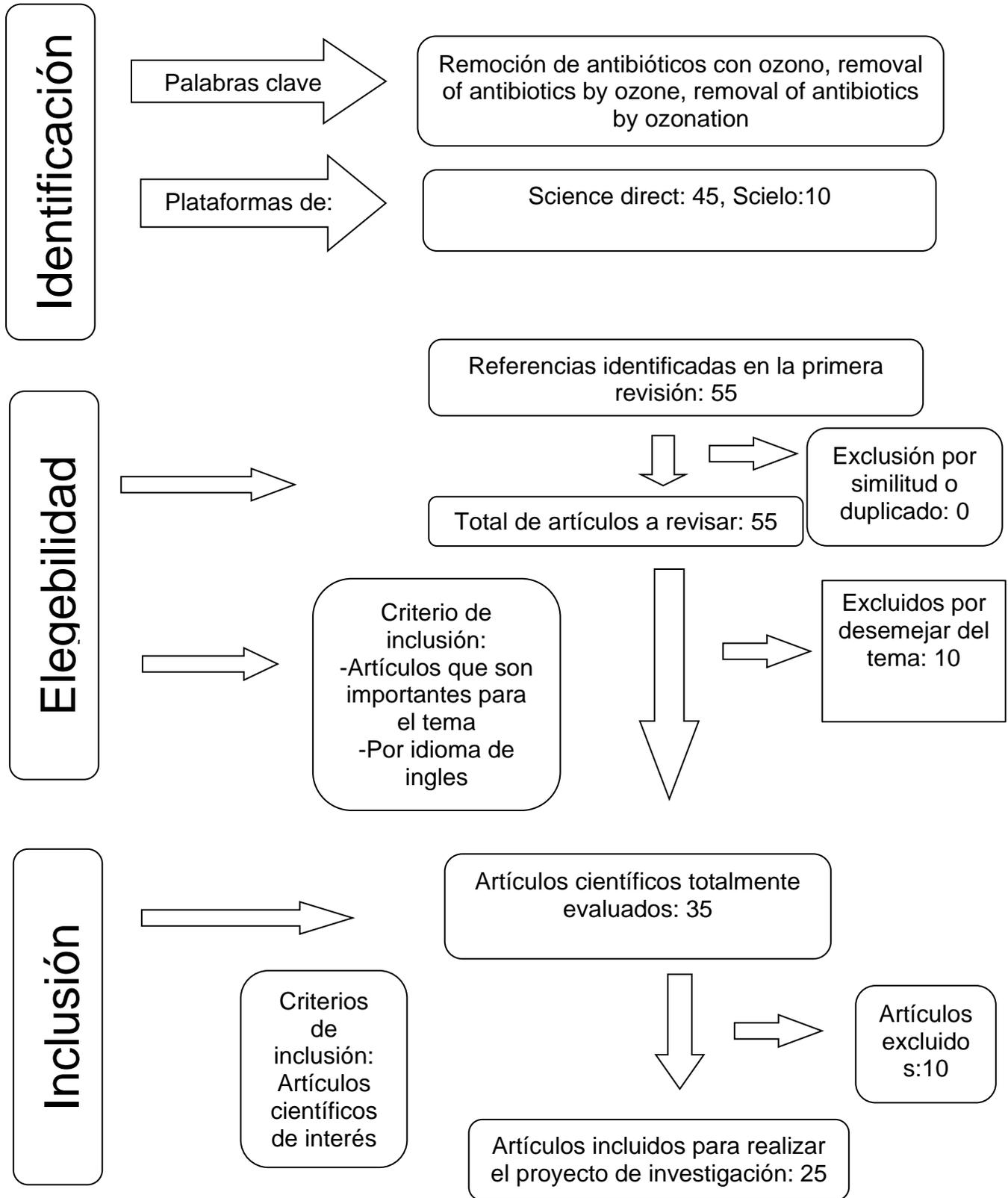
La técnica de recolección de datos que varían de acuerdo a la investigación cualitativa en este caso, que se basan en biografías, estudio de revistas científicas, análisis de documentos, etc.

Cada autor tiene una diferente metodología, relacionado al tema a estudiar el cual es la remoción de antibióticos por ozono, el cual se tendrá cada artículo que identificar, seleccionar, y evaluar cada estudio.

En esta investigación de esta tesis, se utilizó las técnicas de recolección de información y datos, el análisis de cada una de ellas, en el cual buscamos representar y detallar los distintos documentos científicos en que se realizó de forma sistemática para poder analizar cada información. En este caso la información no fue brindada directamente de por los autores, en este caso se realizó y se obtuvo mediante las publicaciones en páginas científicas en lo cual usamos la base de datos Scopus en la cual se recopiló la información.

En esta tesis se muestra la ficha de recolección de datos (autores, tema, etc.), captando así, toda la información relevante para la formación de este proyecto de investigación. La ficha está compuesta por: Título del documento, nombre de la revista, Año en la cual fue publicada, lugar donde fue publicado, el tipo de investigación, el código DOI del artículo, el nombre del autor(es), las palabras claves usadas, Los diversos métodos de remoción de antibióticos por ozono y todo lo relacionado a los objetivos específicos.

### 3.6. Procedimientos



### 3.7. Rigor científico

El rigor científico en torno a la credibilidad implica la valoración de las situaciones en las cuales una investigación pueda ser reconocida como creíble, para ello, es esencial la pesquisa de argumentos fiables que pueden ser demostrados en los resultados del estudio realizado, en concordancia con el proceso seguido en la investigación (Súarez Durán et al., 2007)

La investigación garantizará que será un estudio autentico, en la cual la información se sustentará bajo la respectiva cita del autor del artículo científico, así mismo la investigación mostrará credibilidad al usar base de datos de investigaciones similares, la base de datos utilizada para esto es scopus, quien por la confianza de proporción de artículos acreditados que son de tipo Q1, Q2 se buscará obtener resultados confiables.

Este proyecto todos los autores mencionados de todos los artículos científicos que tienen una variedad de información de remoción de antibióticos por ozono, los cuales mencionan los diferentes y variados métodos que existen. Los investigadores han ya tenido experiencias al experimentar o realizar métodos de remoción de antibióticos por ozono, lo cual cada uno dio un resultado de su análisis. Los cuales están en el presente trabajo, este criterio se tomó en cuenta al recolectar la información, por lo cual la ozonización se realiza con diferentes mecanismos por lo cual se han evaluado los que están en el presente trabajo y lo cual obtener un análisis.

En este proyecto de investigación hay más de un autor que justifica los estudios realizados en la remoción de antibióticos por ozono, estos autores publican sus revistas científicas en bases de datos reconocidas por el mundo, la cual está disponible para las personas que estén interesadas en el tema.

### 3.8. Método de análisis de información

Para el análisis de información recolectada en los artículos científicos, se inició la búsqueda de los términos descritos en la matriz de categorización apriorística, los cuales serán las categorías y las subcategorías.

Para ello se fijaron las palabras claves iniciales antes de la búsqueda, los cuales son: métodos, tipo de antibióticos, catalizadores que se buscaron en cada artículo científico.

En la primera categoría, metodología, se realizó la evaluación al contenido y los resultados obtenidos en cada artículo científico. Se describen los métodos de remoción de antibióticos por ozono y resultados que se dieron para poder biodegradar los antibióticos por medio del ozono. Esta búsqueda es sistematizada que permita contemplar comparaciones entre investigaciones pasadas, permitiendo obtener así resultados que demuestren la remoción de los antibióticos por ozono.

En la segunda categoría se observan los tipos de antibióticos, se evaluó que tipo de antibiótico es removido por el método ya sea: Antibióticos, B-Lactámicos, Penicilina, Cefalosporina, Tetracilinas y poder identificarlo, y saber que método de remoción se tendría que usar.

En la tercera categoría se evaluó que catalizadores se pueden emplear con el método de ozonización y como es el resultado de su uso, algunos de estos catalizadores son O<sub>3</sub> (Ozono), FeO (Oxido Ferroso), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (oxido de Aluminio), etc.

Se realizó una búsqueda ordenada y sistematizada que permita contemplar comparaciones entre investigaciones pasadas, permitiendo obtener los resultados de cada método de remoción de antibióticos por ozono.

### 3.9. Aspectos étnicos

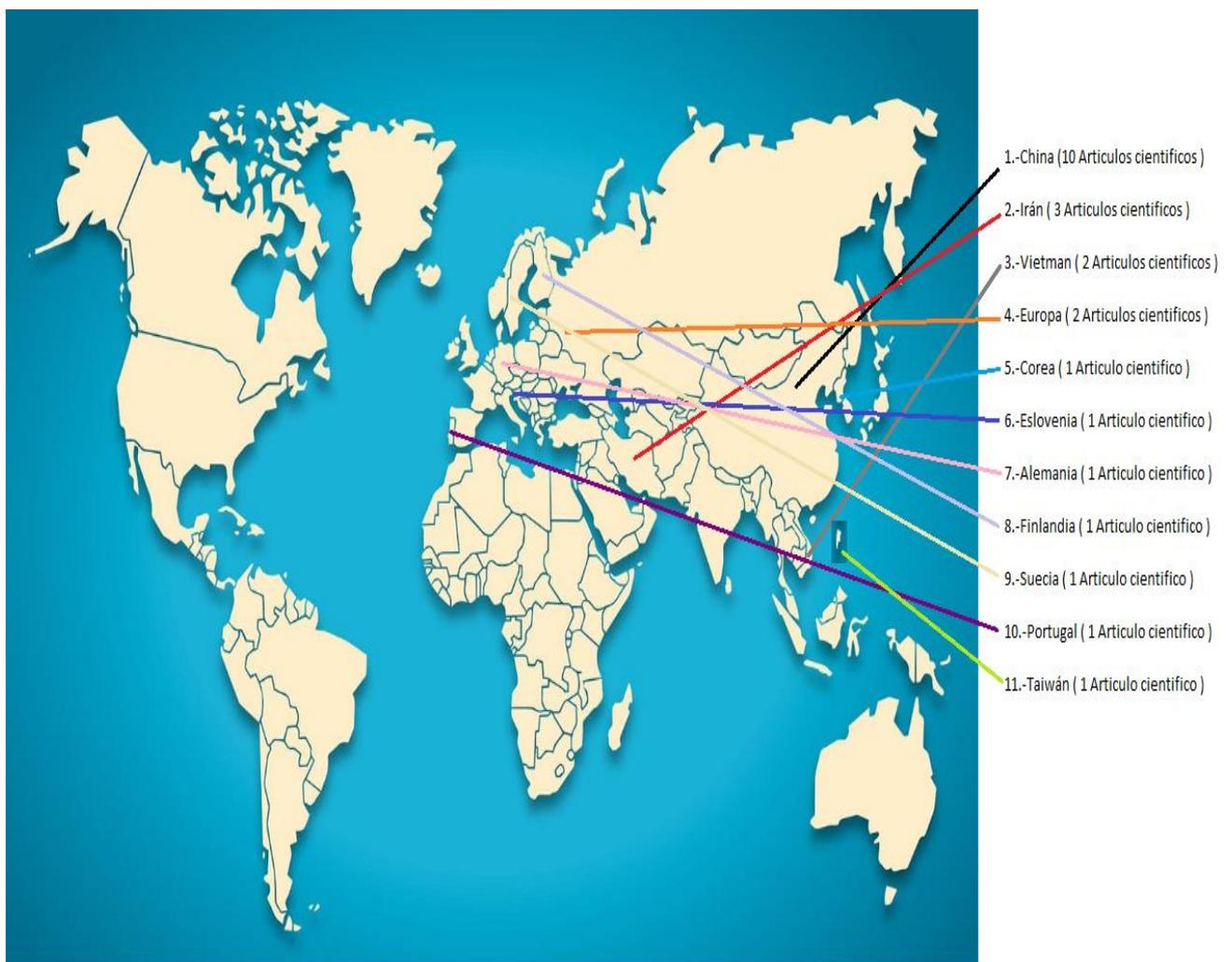
Durante esta investigación se tuvo ética y honestidad. En cuanto a la información, no se alteró su contenido, la investigación es respaldada a través de los artículos científicos mencionados anteriormente, debido a que estos presentan un alto valor de confiabilidad de uso por la base confiable de datos, ya que los artículos científicos empleados en este trabajo de investigación son de un buscador confiable como Scopus, por lo cual, la información de los artículos científicos se desarrollaron eficazmente en el presente trabajo, considerando como se refiere en la política antiplagio del artículo 15 del Código de Ética de la Investigación de la Universidad César Vallejo, aceptado en la resolución de Consejo Universitario N° 0126-2017-UCV emitido el 23 de mayo de 2017.

Toda la información fue recolectada de diferentes investigadores, se ha citado, referenciado y revisado detenidamente usando la norma internacional ISO 690-2 la cual respeta los derechos intelectuales y los de autor.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A inicios de la investigación se hallaron 55 artículos, relacionados con el tema de investigación Remoción de antibióticos por ozono, seleccionando los más relevantes, por el criterio de selección que fue exclusión e inclusión. Al finalizar se seleccionaron 25 artículos, que están relacionados con el tema de investigación, clasificándolos en: Métodos de remoción de antibióticos por ozono, tipo de antibióticos eliminados y Catalizadores usados en cada proceso. Los países están ubicados demográficamente en el siguiente mapa mundial:

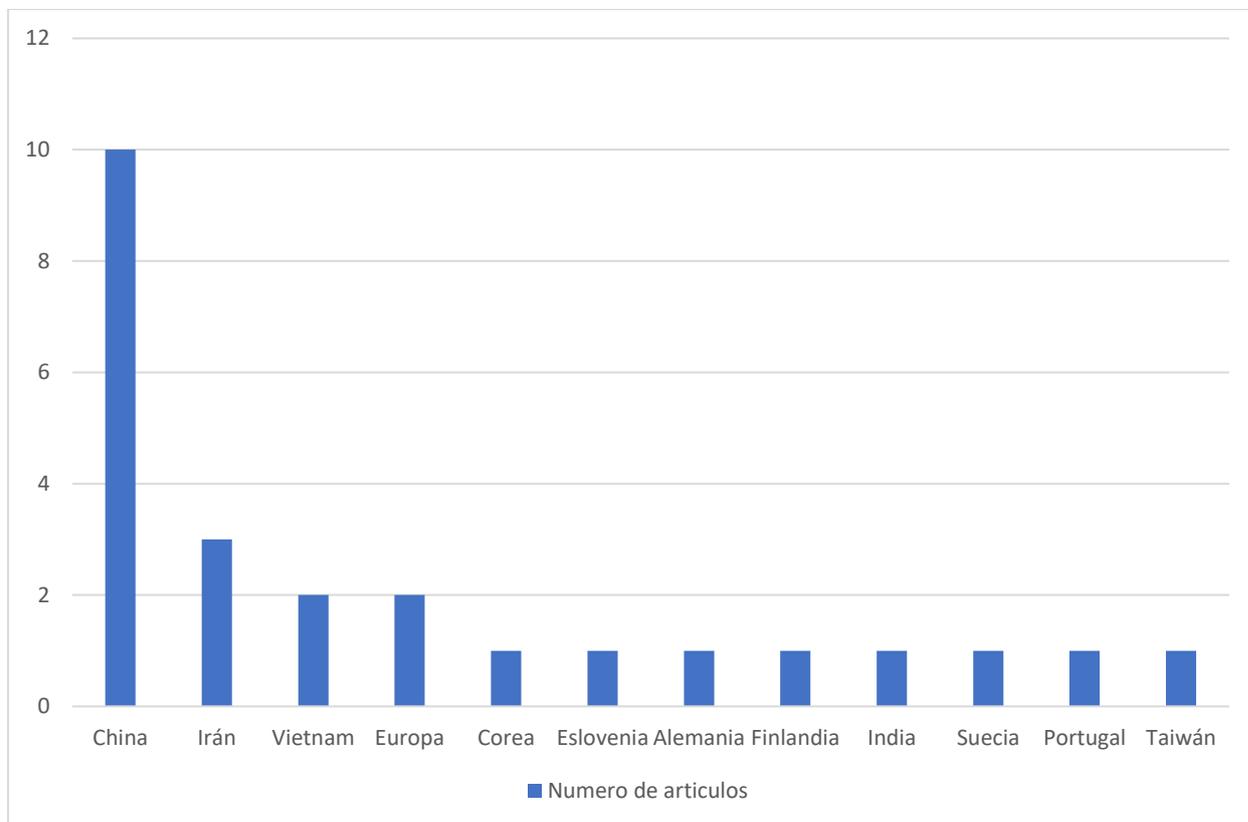
**FIGURA N° 3:** Países donde se desarrollaron las investigaciones



Fuente: elaboración propia

Los estudios en cada artículo científico fueron realizados en 12 Países, los cuales se muestran el siguiente gráfico:

**FIGURA N° 4:** Países donde fueron realizados los estudios



Fuente: Elaboración propia

En este gráfico se puede ver que 10 artículos científicos pertenecen a China, seguido por 3 artículos de Irán, otros 2 artículos científicos a Vietnam, 2 artículos pertenecen a Europa, seguido por Corea, Eslovenia, Alemania, Finlandia, India, Suecia, Portugal y Taiwán.

**TABLA N° 4:** Presencia de contaminantes físicos, químicos y biológicos

<b>N°</b>	<b>Autores</b>	<b>Método</b>	<b>Contaminantes Físicos</b>		<b>Contaminantes Biológicos</b>	<b>Contaminantes Químicos</b>	<b>Índice de efectividad</b>	<b>Antibiótico a eliminar</b>
1	(Chu et al., 2020).	-Radiación gamma -Ozonización -Tratamiento térmico	X		X	x	Los resultados mostraron que los tres métodos de tratamiento podían degradar la cefalosporina C de manera efectiva, con una eficiencia de eliminación del 85,5 % para la radiación a la dosis de 100 kG y, del 79,9 % para la ozonización a la dosis de 5,2 g O <sub>3</sub> /L, y 71,9% y 87,3% para tratamiento térmico a 60 °C y 90 °C durante 4 h.	Cefalosporina C

2	(Iakovides et al., 2019)	Ozonización	X		X	x	<p>Por lo tanto, estos resultados mostraron que la adición de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, que aumentaría el costo operativo del proceso, no mejoró notablemente la degradación de los compuestos examinados. Sin embargo, es importante mencionar que en los experimentos realizados con efluentes de aguas residuales no enriquecidos (concentraciones de antibióticos inherentes), incluso las condiciones experimentales más suaves probadas con una sola ozonización (HRT de 10 min y 0.125 gO<sub>3</sub>/gDOC - 1) resultaron ser capaz de proporcionar una eliminación de los micro contaminantes examinados o sea fueron eliminados al 100%</p>	<p>Ampicilina (AMP), azitromicina (AZM), eritromicina (ERY), claritromicina (CLA), ofloxacina (OFL), sulfametoxazol (SMX), trimetoprima (TMP) y tetraciclina (TC)</p>
---	--------------------------	-------------	---	--	---	---	---	---

3	(P. Lu et al., 2020)	Ozonización				x	<p>La disminución de la toxicidad en las reacciones de agua de mar artificial podría explicarse por dos razones principales. En primer lugar, Br<sup>-</sup> mejoró la transformación de CIP y solo se encontró un 35 % de residuos de CIP en la mezcla después de la reacción.</p>	<p>Ciprofloxacina, Cl<sub>2</sub>, HOCl, OCl<sup>-</sup>, Cl<sup>•</sup>, ClOH<sup>•-</sup> y Cl<sub>2</sub><sup>•-</sup> y especies reactivas de bromo (RBS), por ejemplo, Br<sub>2</sub>, Br<sub>3</sub><sup>-</sup>, Br<sub>2</sub>O, HOBr, OBr<sup>-</sup>, Br<sub>2</sub><sup>•</sup>, Br<sup>•</sup>, Br<sub>2</sub><sup>•-</sup>, BrOH<sup>•-</sup> y BrCl<sup>•-</sup></p>
4	(Yoon et al., 2021)	Ozonización, Cloración				x		

5	(L. Wang et al., 2018)	Ozonización de lodos	X			x	La ozonización de lodos podría eliminar de forma eficaz entre el 86,4% y el 93,6% de los antibióticos presentes en los lodos con una dosis de ozono de 102 mg por gramo de sólidos en suspensión de licor mixto y un pH de 7,2.	Tres tetraciclinas (tetraciclina, oxitetraciclina y doxiciclina) y un macrólido (azitromicina)
6	(Vo et al., 2019)	Ozonización, Biorreactor de membrana de esponja (Sponge -MBR)			X	x	Las eficiencias generales fueron 97 ± 2 % (trimetoprima), 92 ± 4 % (norfloxacina), 90 ± 1 % (eritromicina), 88 ± 4 % (ofloxacina), 83 ± 7 % (ciprofloxacina) y 66 ± 1 % (sulfametoxazol), Tetracilina 100%.	norfloxacina, ciprofloxacina, ofloxacina, sulfametoxazol, eritromicina, tetraciclina y trimetoprima
7	(H. Wang et al., 2019)	Ozonización y el proceso de electro-peroxona			X	x	Ofloxacina, se eliminar por ozono al 100% en 3 minuto, Trimetoprima se elimina en 1 minuto al 100%, norfloxacina se elimina en 3 minutos, Ciprofloxacina se elimina en 3 minutos.	ofloxacina, trimetoprima, norfloxacina y ciprofloxacina

8	(J. Lu et al., 2020).	ozonización catalítica, foto degradación, la adsorción y el proceso fenton				x	<p>eficiencia de eliminación de mnz en diferentes grados. el fe 3 o 4 @mg(oh) 2 exhibió la mayor actividad catalítica con una eficiencia de eliminación de mnz del 99,9 % en 10 min. la eficacia de eliminación de mnz en presencia de fe 3 o 4 y mg(oh) 2 alcanzó el 85,6 % y el 87,8 %, respectivamente, mientras que la eficacia de eliminación de mnz fue solo del 51,9 % en el único proceso de ozonización.</p>	metronidazol
---	-----------------------	--	--	--	--	---	---	--------------

9	(Kråkström et al., 2020)	ozonización catalítica				x	después de 5 min de ozonización, el 95 % de sdz se había transformado con un caudal de nitrógeno de 50 ml/min, mientras que el 99,9 % de sdz se había transformado sin ningún flujo de nitrógeno. sdz ya no se pudo detectar después de 1 min a una velocidad de flujo de nitrógeno de 2,5 ml/min. por lo tanto, un caudal de nitrógeno de 2,5 ml/min es óptimo para la transformación de sdz.	sulfadiazina
10	(H. Chen & Wang, 2021)	ozonización catalítica usando nico 2 o 4 como catalizador				x	en presencia de nico 2 o 4 , la eficiencia de eliminación de toc fue más de tres veces mayor que la del ozono solo.	sulfametazina
11	(Boševski & Gotvajn, 2021)	ozonización de un solo paso de lodos residuales				x	La formación de biogás (mL) se redujo para tamulina, amoxicilina y levofloxacina en un 44, 45 y 44 %, respectivamente, mientras que la producción de metano disminuyó en un 14, 45 y 41 %.	tiamulina, amoxicilina y levofloxacino

12	(Östman et al., 2019)	ozonización y la adsorción sobre carbón activado.				x	Sin embargo, para benzotriazoles y fluconazol, la remoción fue <75%	benzotriazoles y fluconazol
13	(HaibaoLiuYueGao et al., 2022)	ozonización catalítica y mecanismo de Mn-CeO <sub>x</sub> @γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /O <sub>3</sub>				x	La separabilidad, la estabilidad y la reutilización del catalizador MCA se probaron en un experimento de ciclo. Dado que se produjo oxidación directa entre el O <sub>3</sub> y el CIP, se logró la eliminación completa del CIP en los cinco ciclos en 60 min	ciprofloxacino
14	(Foroughi et al., 2022)	ozonización con otras técnicas (como uv, ultrasonido (us), etc.).				x	es bien sabido que el 90% de los arb y arg se pueden eliminar con una concentración de ozono de 3 mg/l	

15	(C. Wang et al., 2020).	ozonización con miliburbujas y con burbujas ultrafinas				x	los resultados experimentales indicaron que la conexión de aire u oxígeno puro con un compresor de miliburbujas o de burbujas ultrafinas no podía eliminar la tetraciclina. conforme se realizó la ozonización, la degradación de la tetraciclina superó el 99,5 %, seguida de una mineralización de aproximadamente el 40 % con un tratamiento de 60 min.	tetraciclina
16	(Sousa et al., 2017b).	Tratamiento biológico de lodos activados, Procesos de ozonización	x		X	x	No se observó reactivación después de 60 minutos de ozonización, lo que sugiere que este período de contacto fue suficiente para matar a la mayoría de las células. Para un tiempo de contacto de 30 min, los recuentos de enterobacterias y enterococos estuvieron cerca del límite de cuantificación, mientras que se observaron ligeros aumentos en los otros grupos microbianos cultivables probados ( Fig. 1 C). Para el tiempo de contacto más corto probado, 15 min, la recuperación de microorganismos cultivables fue comparativamente	

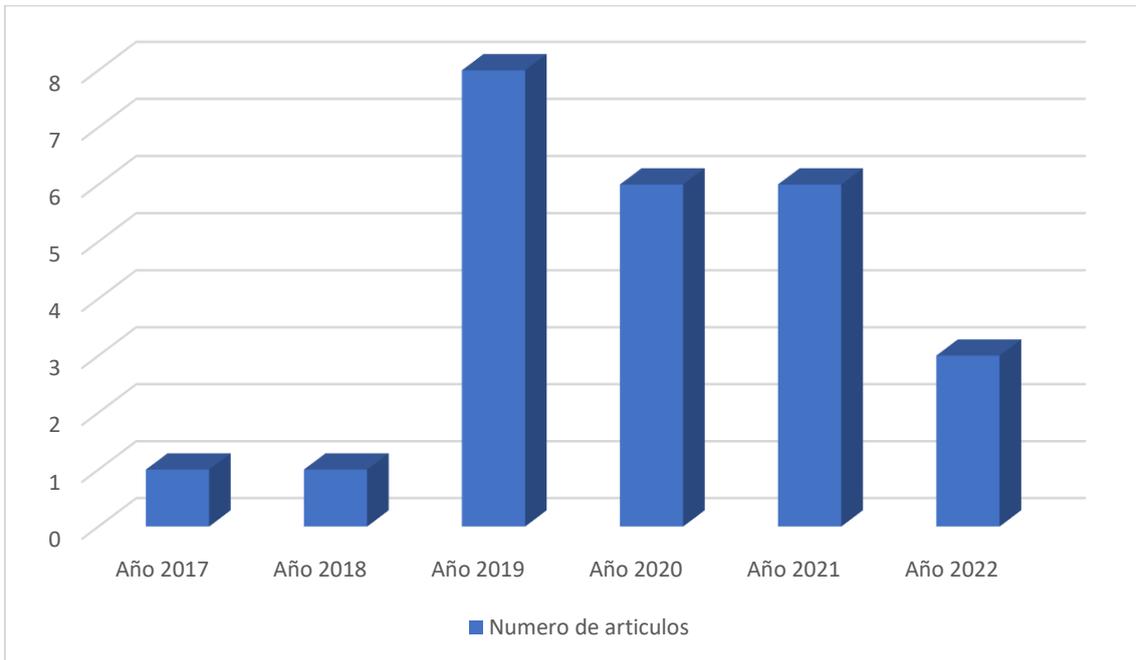
							mayor, particularmente para hongos y heterótrofos totales, mientras que los enterococos fueron los de menor capacidad de rebrote (Eliminación al 99.99% se pueden volver a reproducir)	
17	(HaiChen & JianlongWang, 2021)	Ozonización combinada con radiación ionizante	x			x	SMX(sulfametoxazol) se degradó rápidamente y casi el 100 % de SMX se pudo reducir en 12 minutos, lo que indica el buen desempeño del proceso de ozonización para la degradación de SMX.	sulfametoxazol
18	(I.C.lakovides et al., 2021)I	biorreactor de membrana (MBR) o lodo activado convencional (CAS), membrana de ultrafiltración, Ozonificación				x	La ozonización fue eficaz para inactivar las bacterias resistentes a los antibióticos examinadas y no se observó un nuevo crecimiento bacteriano después de 72 h	

19	(Ding et al., 2020)	Ozonización				x	Teniendo en cuenta que el ozono siempre reacciona en primer lugar con los grupos funcionales, la ozonización conducirá a la descomposición en lugar de a la oxidación total de los antibióticos.	ofloxacino y sulfametazina
20	(J. Lu et al., 2019)	ozonización catalítica y fotocátalisis simultáneas				x	El $Fe_3O_4 @Mg(OH)_2$ exhibió la mayor actividad catalítica con una eficiencia de eliminación de MNZ del 99,9 % en 10 min.	metronidazol (MNZ)
21	(NajmehShahmahd et al., 2020)	Ozonización catalítica, biocátalisis				x	El antibiótico se eliminó casi por completo (hasta el 99%) en un tiempo de reacción de 5 min con 18 mg $O_3$ /mg SMX en ambos procesos, mientras que el 28 y el 56 % de la DQO se había agotado por el ozono y el $O_3/Fe_0$ .	sulfametoxazol

22	(ZahraHeidari et al., 2022)	Ozonización catalítica, filtro de membrana				x	Eliminación de antibióticos por ozonización catalizador NiO-ZnO Casi completo (100%) (90 min), Eliminación de antibióticos por ozonización catalizador nanopartículas de limonita Casi completo (100%) (50 min). La introducción de NL y PTL/O <sub>2</sub> /Ar podría haber mejorado la eficiencia de remoción a 74,9 y 98,8%, respectivamente	sulfasalazina
23	(Stange et al., 2019)	Ozonización, Cloración, Y Tratamiento UV			X	x	El ozono dio como resultado una eliminación de >99 % de ARB y ARG.	
24	(Nemati Sani et al., 2019)	Ozonización Catalítica				x	El sistema de tratamiento propuesto puede proporcionar una eficiencia de eliminación del 93 %	ciprofloxacino

25	(Mohan & Balakrishnan, 2021)	Biotratamiento de ozonización en lodos activados			X	x	La prueba de inhibición de lodos activados mostró un total de 77% y 46% de inhibición en aguas residuales sin tratar y aguas residuales pretratadas con ozono, respectivamente.	ciprofloxacino
----	------------------------------	--	--	--	---	---	---	----------------

**FIGURA N° 5:** Años de los artículos

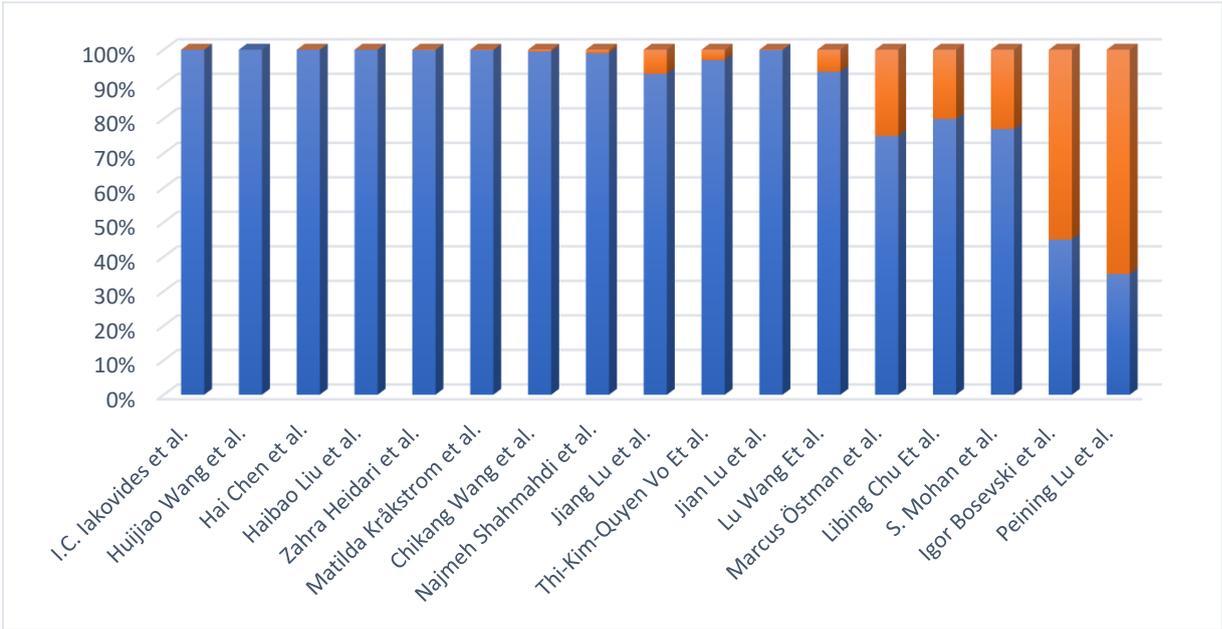


Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en el gráfico, desde el año 2017 hasta el año 2022, se han seleccionado 25 artículos científicos que concuerden con los criterios de exclusión e inclusión de esta investigación. La mayoría de los artículos científicos pertenecen al año 2019, con 8 publicaciones, seguido por 6 publicaciones del año 2020 y 6 publicaciones del año 2021, seguido por 3 publicaciones del año 2022, luego se realizó 1 estudio en el año 2017 y 1 estudio en el año 2018.

En la siguiente tabla, se muestra los diferentes métodos utilizada por diferentes autores para la remoción de antibióticos por ozono, ya algunos eliminan contaminantes físicos, químicos y biológicos.

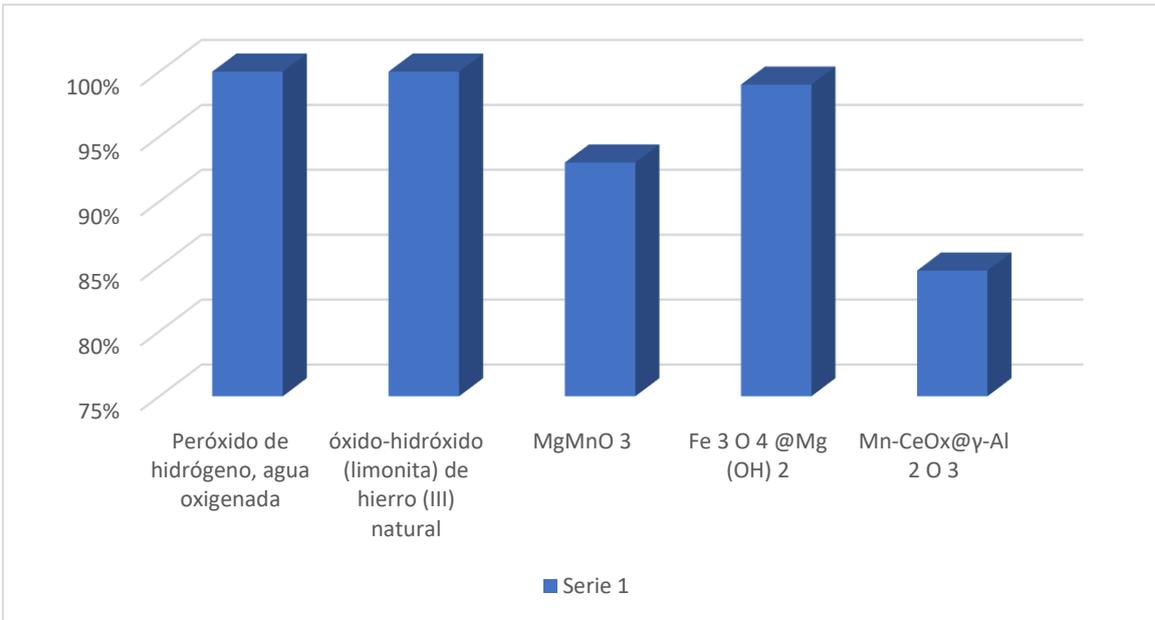
**FIGURA N° 6:** Porcentaje de eliminación de los antibióticos estudiados



Fuente: Elaboración propia

Los catalizadores según la investigación hecha, han mejorado los resultados finales de eliminación de antibióticos por ozono, ya sea en porcentaje de eliminación o en disminución de tiempo para su eliminación.

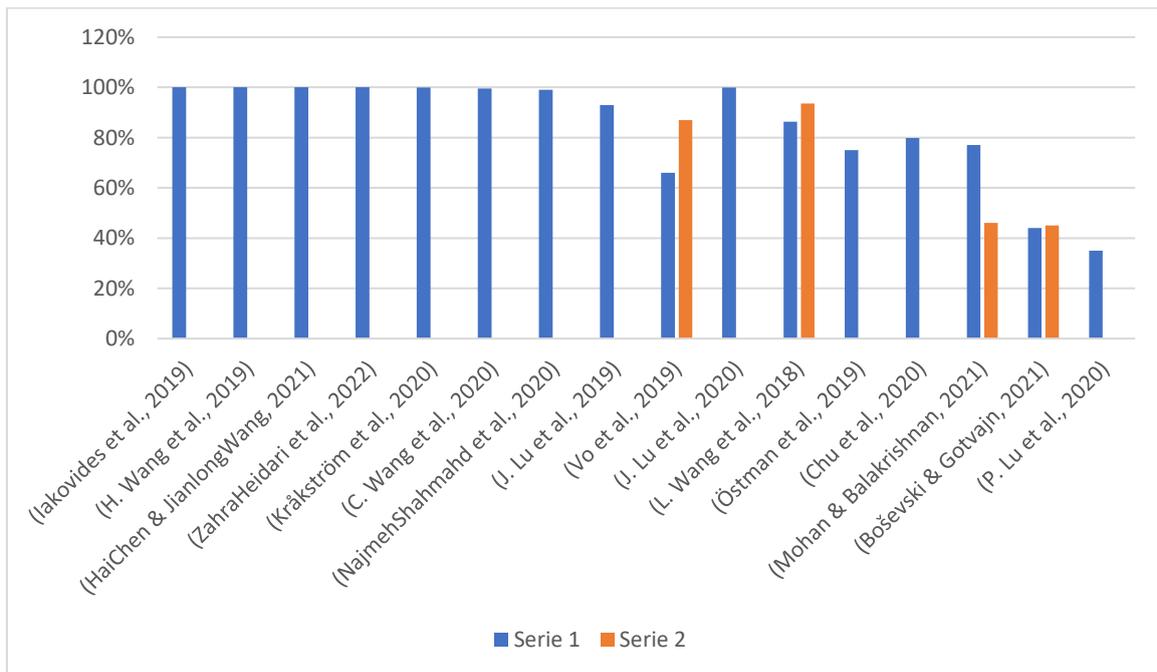
**FIGURA N° 7:** Ozono en presencia de catalizadores



Fuente: Elaboración propia

En esta investigación se vio el uso de catalizadores como: El peróxido de hidrógeno o agua oxigenada con un 100% de eliminación , óxido-hidróxido (limonita) de hierro (III) natural al 100 % , , Mn-CeOx@γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> al 84,68%, MgMnO<sub>3</sub> al 93%, Fe (O<sub>3</sub>/Fe<sub>0</sub>) al 99%, óxido-hidróxido (limonita) de hierro (III) natural al 100%.

**FIGURA N° 8:** Eficiencia por ozono



Fuente: Elaboración propia

Como se ve en la figura N°8, la eficiencia del método por ozono es prometedora ya que su efectividad llega hasta el 100% en cuanto a la eliminación de antibióticos comunes.

**TABLA N° 5:** Tabla de métodos, catalizadores y efectividad

AUTOR	ANTIBIÓTICOS	MÉTODO	CATALIZADORES	% PARA VER LA EFICACIA
(Iakovides et al., 2019)	ampicilina (AMP)	Ozonización	Agua oxigenada	100%
(H. Wang et al., 2019)	ofloxacina (OFL),	Ozonificación y Proceso de electro-peroxona.	No hay catalizador	100%
(H. Wang et al., 2019)	ciprofloxacina (CIP)			
(H. Wang et al., 2019)	trimetoprima (TMP)			
(H. Wang et al., 2019)	norfloxacina (NOR)			
<b>(HaiChen &amp; JianlongWang, 2021)</b>	sulfametoxazol (SMX)	ozonización catalítica	No hay catalizador	>100%
(ZahraHeidari et al., 2022)	Sulfasalazina	uso ozonización catalítica, seguido por un filtro de membrana	óxido-hidróxido (limonita) de hierro (III) natural	>100%
(Kråkström et al., 2020)	Sulfadiazina	ozonización	No hay catalizador	99.9%
(C. Wang et al., 2020)	tetraciclina (TC)	ozonización con miliburbujas y con burbujas ultrafinas	No hay catalizador	99.5%.
(NajmehShahmahd et al., 2020)	Ciprofloxacino (CIP)	Ozonización catalítica, biocatálisis	No hay catalizador	99%
(J. Lu et al., 2019)	sulfametoxazol clorhidrato de tetraciclina ciprofloxacina trimetoprima	Ozonización catalítica y fotocatalisis	MgMnO <sub>3</sub>	>93 %.
(Vo et al., 2019)	norfloxacina Ciprofloxacina Ofloxacina Sulfametoxazol Eritromicina Tetraciclina trimetoprima	Ozonización , Biorreactor de membrana de esponja (Sponge - MBR)	No hay catalizador	66%--97%.
(J. Lu et al., 2020)	metronidazol y compuestos en parentesco	proceso ozonización catalítica, foto degradación, la adsorción y el proceso Fenton	catalizador Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> @Mg(OH) <sub>2</sub>	>99.99%
(L. Wang et al., 2018)	tetraciclina Oxitetraciclina Doxiciclina	Ozonización de lodos	No hay catalizador	86,4%-93,6%.

(Östman et al., 2019)	Benzotriazoles fluconazol	ozonización y la adsorción sobre carbón activado	No hay catalizador	75%
(Chu et al., 2020)	Cefalosporina C	Radiación gamma, ozonización, tratamiento térmico	No hay catalizador	79,9%
(Mohan & Balakrishnan, 2021)	ciprofloxacino	Biotratamiento de ozonización en lodos activados	No hay catalizador	77% y 46%.
(Boševski & Gotvajn, 2021)	tiamulina, amoxicilina y levofloxacino	ozonización	No hay catalizador	44% a 45%
(P. Lu et al., 2020)	Ciprofloxacina	ozonización	No hay catalizador	35%,

Fuente: Elaboración propia

Analizando los métodos de remoción de antibióticos, los artículos que han tenido más porcentaje o índice de eliminación son: En el artículo (Iakovides et al., 2019) del 100% de eliminación de Ampicilina (AMP), en el cual se ha usado el proceso de ozonización usando como catalizador agua oxigenada. También hubo resultados altos como se muestra en el cuadro (H. Wang et al., 2019) , en su artículo científico tiene por eliminación de 100% de eliminación de antibióticos como ofloxacina, trimetoprima, norfloxacina y ciprofloxacina en el cual uso su proceso de ozonificación y proceso de electro-peroxona. En el artículo científico de Hai Chen et al. la eliminación de antibióticos es >100% aproximadamente del antibiótico sulfametoxazol en el cual uso la ozonización catalítica. El autor Haibao Liu et al. con su procedimiento ozonización catalítica y mecanismo de Mn-CeO<sub>x</sub>@γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/O<sub>3</sub> tiene un porcentaje de eliminación del 100%.

El porcentaje es >100% en la eliminación de sulfasalazina, en el artículo científico de (ZahraHeidari et al., 2022). usando como catalizador óxido-hidróxido (limonita) de hierro (III) natural y tratado con plasma, en el cual uso ozonización catalítica, seguido por un filtro de membrana. Seguido por el artículo científico de (Kråkström et al., 2020), el cual consiste en eliminar el antibiótico sulfadiazina el cual su método de ozonización lo elimina al 99.9%. Seguido por la investigación de (C. Wang et al., 2020) con el proceso de ozonización con miliburbujas y con burbujas ultrafinas el cual elimino la tetraciclina al 99.5%. luego sigue el trabajo de (NajmehShahmahd et al., 2020) con el tratamiento de Ozonización catalítica,

biocatálisis el cual su efectividad es 99% en la eliminación del antibiótico ciprofloxacino. Seguido del trabajo de (J. Lu et al., 2019) el cual elimino los antibióticos sulfametoxazol, clorhidrato de tetraciclina, ciprofloxacina, trimetoprima al >93 % con el catalizador  $MgMnO_3$  y el proceso de ozonización catalítica y fotocátalisis. Seguido por (Vo et al., 2019) con su procedimiento Ozonización, Biorreactor de membrana de esponja (Sponge -MBR) para eliminar los antibióticos norfloxacin, ciprofloxacina, ofloxacin, sulfametoxazol, eritromicina, tetraciclina y trimetoprima, estos antibióticos fueron eliminados al 66%--97%. Seguido por la investigación de (J. Lu et al., 2020) con el proceso ozonización catalítica, foto degradación, la adsorción y el proceso Fenton el cual elimino el metronidazol y compuestos en parentesco en >99.99% usando como catalizador  $Fe_3O_4 @ Mg(OH)_2$ . Seguido por (L. Wang et al., 2018). con su proceso de Ozonización de lodos elimino los siguientes antibióticos: Tres tetraciclinas (tetraciclina, oxitetraciclina y doxiciclina) y un macrólido (azitromicina) en un porcentaje de 86,4%-93,6%. Seguido por la investigación de (Östman et al., 2019) en el cual su proceso de ozonización y la adsorción sobre carbón activado elimino a los antibióticos benzotriazoles y fluconazol, en un 75% seguido por el trabajo de (Chu et al., 2020) el cual elimino Cefalosporina C al 79,9% con el proceso de Radiación gamma, ozonización, tratamiento térmico. Seguido por el trabajo de (Mohan & Balakrishnan, 2021). con el tratamiento de Biotratamiento de ozonización en lodos activados lo cual da porcentaje de eliminación 77% y 46%. Seguido por el trabajo de (Boševski & Gotvajn, 2021) con el método de ozonización de un solo paso de lodos residuales el cual su porcentaje de eliminación es del 44% a 45%, finalizando por el trabajo de (P. Lu et al., 2020) por el método de ozonización para la eliminación de Ciprofloxacina.

## V. CONCLUSIONES

En el presente estudio, se pudo tener conocimiento de los métodos de remoción de antibióticos por ozono, los cuales eliminan determinados antibióticos presentes en plantas de tratamiento de aguas. Estos métodos de eliminación fueron los siguientes: mediante el método biorreactor de membrana (MBR) o lodo activado convencional, membrana de ultrafiltración, Ozonificación, Radiación gamma , tratamiento térmico, Cloración, foto degradación, adsorción ,Ozonización catalítica, adsorción sobre carbón activado, mili burbujas o burbujas ultra finas, Tratamiento biológico de lodos activados, fotocátalisis simultáneas y biocátalisis , en lo cual se analizó todos estos métodos y la mayoría mostraron eficiencia en la eliminación de dichos antibióticos, el cual describió en su respectivo artículo científico.

Por otro lado, en este estudio se pudo identificar los principales antibióticos: azitromicina, eritromicina, claritromicina, ofloxacina, sulfametoxazol, trimetoprima, tetraciclina, que se pueden eliminar mediante ozonización u ozonización acompañada con diferentes métodos, también se pudo clasificar estos antibióticos, para tener más información sobre estos.

Asimismo , se pudo identificar los catalizadores; el peróxido de hidrógeno, nanopartículas magnéticas de  $Mg(OH)_2$  ,  $NiCo_2O_4$  , Manganeso y cerio, Agua destilada y desionizada, Fe (hierro cerivalente ( $Fe^0$  ) y magnetita ( $Fe_3O_4$  ) ,  $Fe_3O_4 @Mg(OH)_2$ ,  $Fe(O_3/Fe^0)$  , óxido-hidróxido (limonita) de hierro (III) natural y tratado con plasma,  $\gamma-Al_2O_3$  nanopartículas. Estos catalizadores en los estudios ayudaron a aumentar la eficacia de eliminación de los antibióticos antes mencionados.

En eficiencia de los métodos de remoción de antibióticos por ozono, el cual lo evaluamos por porcentajes de eliminación. Analizando los métodos de remoción de antibióticos de los artículos que han tenido un alto porcentaje o índice de eliminación son: En el artículo de I.C.(Iakovides et al., 2019), tiene un porcentaje del 100% de eliminación de Ampicilina, en el cual se ha usado el proceso de ozonización usando como catalizador agua oxigenada y los

antibióticos eliminados fueron: azitromicina, eritromicina, claritromicina, ofloxacina, sulfametoxazol, trimetoprima y tetraciclina. También hubo resultados altos como se muestra en el cuadro de (H. Wang et al., 2019), en su artículo científico, eliminación del 100%, los antibióticos ofloxacina, trimetoprima, norfloxacin y ciprofloxacina en el cual uso su proceso de ozonificación y proceso de electro-peroxona. En el artículo científico de (HaiChen & JianlongWang, 2021), la eliminación de antibióticos es >100% aproximadamente del antibiótico sulfametoxazol en el cual uso la ozonización catalítica. El autor (HaibaoLiuYueGao et al., 2022), con su procedimiento ozonización catalítica y mecanismo de Mn-CeO<sub>2</sub> x @γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> /O<sub>3</sub> tiene un porcentaje de eliminación del 100%. El porcentaje es >100% en la eliminación de sulfasalazina, en el artículo científico de (ZahraHeidari et al., 2022), usando como catalizador óxido-hidróxido (limonita) de hierro (III) natural y tratado con plasma, en el que se usó ozonización catalítica, seguido por un filtro de membrana. Estos métodos de remoción de antibióticos fueron solo por ozonización u ozonización y procesos, que mejoran la eficiencia de eliminación, los cuales fueron al 99% o casi 100%, son métodos muy efectivos que han demostrado eliminar los antibióticos mencionados anteriormente.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda investigar, más a fondo, la remoción de antibióticos por ozono, ya que esta investigación fue investigada de unas fuentes confiables (Scopus), en el que se encontró 25 artículos científicos, ya que el ozono y métodos relacionados a él, es una buena elección para eliminar los antibióticos.

La mayoría de los procesos de esta investigación han sido, ozonización, ozonización catalítica, y por radiación UV faltaría ampliar el nivel de exploración, ya que estos métodos los artículos científicos la mayoría pertenece a países desarrollados y para realizar algunos procesos ya mencionados anteriormente tienen el costo elevado.

Además, se puede observar que el ozono y métodos similares, eliminan algunos antibióticos al 100%, se recomendaría hacer estudios con otros antibióticos como por ejemplo Aminoglucósidos, Glicopéptidos y lipoglicopéptidos, entre otros y con métodos referentes de eliminación de antibióticos: Ósmosis inversa, nano y ultrafiltración, etc.

## REFERENCIAS

1. Benitez, F. J., Acero, J. L., Real, F. J., Roldan, G., & Casas, F. (2011a). Comparison of different chemical oxidation treatments for the removal of selected pharmaceuticals in water matrices. *Chemical Engineering Journal*, 168(3), 1149–1156. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.02.001>
2. Benitez, F. J., Acero, J. L., Real, F. J., Roldan, G., & Casas, F. (2011b). Comparison of different chemical oxidation treatments for the removal of selected pharmaceuticals in water matrices. *Chemical Engineering Journal*, 168(3), 1149–1156. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.02.001>
3. Berendonk, T. U., Manaia, C. M., Merlin, C., Fatta-Kassinos, D., Cytryn, E., Walsh, F., Bürgmann, H., Sørum, H., Norström, M., Pons, M. N., Kreuzinger, N., Huovinen, P., Stefani, S., Schwartz, T., Kisand, V., Baquero, F., & Martinez, J. L. (2015). Tackling antibiotic resistance: The environmental framework. In *Nature Reviews Microbiology* (Vol. 13, Issue 5, pp. 310–317). Nature Publishing Group. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3439>
4. Boševski, I., & Gotvajn, A. Ž. (2021). The impact of single step ozonation of antibiotics-contaminated waste sludge to biogas production. *Chemosphere*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129527>
5. Chen, H., & Wang, J. (2021). Catalytic ozonation for degradation of sulfamethazine using NiCo<sub>2</sub>O<sub>4</sub> as catalyst. *Chemosphere*, 268. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128840>
6. Chen, W., Bao, Y., Li, X., Huang, J., Xie, J., & Li, L. (2020). Role of Si[*sbnd*]F groups in enhancing interfacial reaction of Fe-MCM-41 for pollutant removal with ozone. *Journal of Hazardous Materials*, 393. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122387>
7. Chu, L., Chen, D., Wang, J., Yang, Z., Yang, Q., & Shen, Y. (2020). Degradation of antibiotics and inactivation of antibiotic resistance genes (ARGs) in Cephalosporin C fermentation residues using ionizing

- radiation, ozonation and thermal treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 382. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121058>
8. Ding, J., He, Y., Wang, P., Zhou, Y., Zhang, H., Lin, B., Wei, Z., Huang, M., & Weng, R. (2020). Performances of simultaneous removal of trace-level ofloxacin and sulfamethazine by different ozonation-based treatments. *Journal of Cleaner Production*, 277. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124120>
  9. Foroughi, M., Khiadani, M., Kakhki, S., Kholghi, V., Naderi, K., & Yektay, S. (2022). Effect of ozonation-based disinfection methods on the removal of antibiotic resistant bacteria and resistance genes (ARB/ARGs) in water and wastewater treatment: a systematic review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 811). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151404>
  10. Gomes, J., Costa, R., Quinta-Ferreira, R. M., & Martins, R. C. (2017). Application of ozonation for pharmaceuticals and personal care products removal from water. In *Science of the Total Environment* (Vol. 586, pp. 265–283). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.216>
  11. HaibaoLiuYueGao, JieWang, JingwenPan, BaoyuGao, & QinyanYue. (2022). *Catalytic ozonation performance and mechanism of Mn-CeOx@γ-Al2O3/O3 in the treatment of sulfate-containing hypersaline antibiotic wastewater*. 807(150867).
  12. HaiChen, & JianlongWang. (2021). *Degradation of sulfamethoxazole by ozonation combined with ionizing radiation*. 407(124377).
  13. Hembach, N., Alexander, J., Hiller, C., Wieland, A., & Schwartz, T. (2019). Dissemination prevention of antibiotic resistant and facultative pathogenic bacteria by ultrafiltration and ozone treatment at an urban wastewater treatment plant. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49263-1>
  14. Homem, V., & Santos, L. (2011a). Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices - A review. In *Journal of*

- Environmental Management* (Vol. 92, Issue 10, pp. 2304–2347).  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.023>
15. Homem, V., & Santos, L. (2011b). Degradation and removal methods of antibiotics from aqueous matrices - A review. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 92, Issue 10, pp. 2304–2347).  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.05.023>
16. Iakovides, I. C., Michael-Kordatou, I., Moreira, N. F. F., Ribeiro, A. R., Fernandes, T., Pereira, M. F. R., Nunes, O. C., Manaia, C. M., Silva, A. M. T., & Fatta-Kassinos, D. (2019). Continuous ozonation of urban wastewater: Removal of antibiotics, antibiotic-resistant *Escherichia coli* and antibiotic resistance genes and phytotoxicity. *Water Research*, 159, 333–347. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.05.025>
17. I.C. Iakovides, K. Manoli, P. Karaolia, I. Michael-Kordatou, C.M. Manaia, & D. Fatta-Kassinos. (2021). *Reduction of antibiotic resistance determinants in urban wastewater by ozone: Emphasis on the impact of wastewater matrix towards the inactivation kinetics, toxicity and bacterial regrowth*. 420(126527).
18. Inyinbor, A. A., Bello, O. S., Fadiji, A. E., & Inyinbor, H. E. (2018). Threats from antibiotics: A serious environmental concern. In *Journal of Environmental Chemical Engineering* (Vol. 6, Issue 1, pp. 784–793). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.12.056>
19. Jiang, J. Q., Zhou, Z., & Sharma, V. K. (2013a). Occurrence, transportation, monitoring and treatment of emerging micro-pollutants in waste water - A review from global views. In *Microchemical Journal* (Vol. 110, pp. 292–300). <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.04.014>
20. Jiang, J. Q., Zhou, Z., & Sharma, V. K. (2013b). Occurrence, transportation, monitoring and treatment of emerging micro-pollutants in waste water - A review from global views. In *Microchemical Journal* (Vol. 110, pp. 292–300). <https://doi.org/10.1016/j.microc.2013.04.014>
21. Karaolia, P., Michael-Kordatou, I., Hapeshi, E., Drosou, C., Bertakis, Y., Christofilos, D., Armatas, G. S., Sygellou, L., Schwartz, T.,

- Xekoukoulotakis, N. P., & Fatta-Kassinos, D. (2018). Removal of antibiotics, antibiotic-resistant bacteria and their associated genes by graphene-based TiO<sub>2</sub> composite photocatalysts under solar radiation in urban wastewaters. *Applied Catalysis B: Environmental*, 224, 810–824. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2017.11.020>
22. Klein, E. Y., van Boeckel, T. P., Martinez, E. M., Pant, S., Gandra, S., Levin, S. A., Goossens, H., & Laxminarayan, R. (2018a). Global increase and geographic convergence in antibiotic consumption between 2000 and 2015. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(15), E3463–E3470. <https://doi.org/10.1073/pnas.1717295115>
23. Klein, E. Y., van Boeckel, T. P., Martinez, E. M., Pant, S., Gandra, S., Levin, S. A., Goossens, H., & Laxminarayan, R. (2018b). Global increase and geographic convergence in antibiotic consumption between 2000 and 2015. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(15), E3463–E3470. <https://doi.org/10.1073/pnas.1717295115>
24. Kråkström, M., Saeid, S., Tolvanen, P., Salmi, T., Eklund, P., & Kronberg, L. (2020). Catalytic ozonation of the antibiotic sulfadiazine: Reaction kinetics and transformation mechanisms. *Chemosphere*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125853>
25. Li, X., Chen, W., Ma, L., Wang, H., & Fan, J. (2018). Industrial wastewater advanced treatment via catalytic ozonation with an Fe-based catalyst. *Chemosphere*, 195, 336–343. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.080>
26. Lu, J., Sun, J., Chen, X., Tian, S., Chen, D., He, C., & Xiong, Y. (2019). Efficient mineralization of aqueous antibiotics by simultaneous catalytic ozonation and photocatalysis using MgMnO<sub>3</sub> as a bifunctional catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 358, 48–57. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.08.198>
27. Lu, J., Sun, Q., Wu, J., & Zhu, G. (2020). Enhanced ozonation of antibiotics using magnetic Mg(OH)<sub>2</sub> nanoparticles made through

- magnesium recovery from discarded bischofite. *Chemosphere*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124694>
28. Lu, P., Lin, K., & Gan, J. (2020). Enhanced ozonation of ciprofloxacin in the presence of bromide: Kinetics, products, pathways, and toxicity. *Water Research*, 183. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116105>
29. Manaia, C. M., Rocha, J., Scaccia, N., Marano, R., Radu, E., Biancullo, F., Cerqueira, F., Fortunato, G., Iakovides, I. C., Zammit, I., Kampouris, I., Vaz-Moreira, I., & Nunes, O. C. (2018). Antibiotic resistance in wastewater treatment plants: Tackling the black box. In *Environment International* (Vol. 115, pp. 312–324). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.03.044>
30. Michael, S. G., Michael-Kordatou, I., Beretsou, V. G., Jäger, T., Michael, C., Schwartz, T., & Fatta-Kassinos, D. (2019). Solar photo-Fenton oxidation followed by adsorption on activated carbon for the minimisation of antibiotic resistance determinants and toxicity present in urban wastewater. *Applied Catalysis B: Environmental*, 244, 871–880. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2018.12.030>
31. Michael-Kordatou, I., Andreou, R., Iacovou, M., Frontistis, Z., Hapeshi, E., Michael, C., & Fatta-Kassinos, D. (2017). On the capacity of ozonation to remove antimicrobial compounds, resistant bacteria and toxicity from urban wastewater effluents. *Journal of Hazardous Materials*, 323, 414–425. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.02.023>
32. Mohan, S., & Balakrishnan, P. (2021). Kinetics of ciprofloxacin removal using a sequential two-step ozonation-biotreatment process. *Environmental Technology and Innovation*, 21. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.101284>
33. Najmeh Shahmahd, Reza Dehghanzadeh, Hassan Aslani, & Sepideh Bakht Shokouhi. (2020). Performance evaluation of waste iron shavings (Fe<sub>0</sub>) for catalytic ozonation in removal of sulfamethoxazole from municipal wastewater treatment plant effluent in a batch mode pilot plant. 383(123093).

34. Nemati Sani, O., Navaei fezabady, A. A., Yazdani, M., & Taghavi, M. (2019). Catalytic ozonation of ciprofloxacin using  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles in synthetic and real wastewaters. *Journal of Water Process Engineering*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100894>
35. Östman, M., Björleinius, B., Fick, J., & Tysklind, M. (2019). Effect of full-scale ozonation and pilot-scale granular activated carbon on the removal of biocides, antimycotics and antibiotics in a sewage treatment plant. *Science of the Total Environment*, 649, 1117–1123. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.382>
36. Rizzo, L., Manaia, C., Merlin, C., Schwartz, T., Dagot, C., Ploy, M. C., Michael, I., & Fatta-Kassinos, D. (2013). Urban wastewater treatment plants as hotspots for antibiotic resistant bacteria and genes spread into the environment: A review. In *Science of the Total Environment* (Vol. 447, pp. 345–360). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.01.032>
37. Sharma, V. K., Johnson, N., Cizmas, L., McDonald, T. J., & Kim, H. (2016a). A review of the influence of treatment strategies on antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes. *Chemosphere*, 150, 702–714. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.084>
38. Sharma, V. K., Johnson, N., Cizmas, L., McDonald, T. J., & Kim, H. (2016b). A review of the influence of treatment strategies on antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes. *Chemosphere*, 150, 702–714. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.084>
39. Sousa, J. M., Macedo, G., Pedrosa, M., Becerra-Castro, C., Castro-Silva, S., Pereira, M. F. R., Silva, A. M. T., Nunes, O. C., & Manaia, C. M. (2017a). Ozonation and UV254nm radiation for the removal of microorganisms and antibiotic resistance genes from urban wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 323, 434–441. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.03.096>
40. Sousa, J. M., Macedo, G., Pedrosa, M., Becerra-Castro, C., Castro-Silva, S., Pereira, M. F. R., Silva, A. M. T., Nunes, O. C., & Manaia, C. M. (2017b). Ozonation and UV254nm radiation for the removal of

- microorganisms and antibiotic resistance genes from urban wastewater. *Journal of Hazardous Materials*, 323, 434–441. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.03.096>
41. Stange, C., Sidhu, J. P. S., Toze, S., & Tiehm, A. (2019). Comparative removal of antibiotic resistance genes during chlorination, ozonation, and UV treatment. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222(3), 541–548. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.02.002>
42. Suárez Durán, M. Eduardo., Jiménez, J. Miguel., Universitat Rovira i Virgili. Facultat de Ciències de l'Educació i Psicologia de Tarragona., & Universitat Rovira i Virgili. Departament de Pedagogia. (2007). *El Saber pedagógico de los profesores de la Universidad de los Andes Táchira y sus implicaciones en la enseñanza tesis presentada como requisito para aspirar al grado de Doctor en Pedagogía*. Universitat Rovira i Virgili.
43. Vo, T. K. Q., Bui, X. T., Chen, S. S., Nguyen, P. D., Cao, N. D. T., Vo, T. D. H., Nguyen, T. T., & Nguyen, T. B. (2019). Hospital wastewater treatment by sponge membrane bioreactor coupled with ozonation process. *Chemosphere*, 230, 377–383. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.009>
44. Wang, C., Lin, C. Y., & Liao, G. Y. (2020). Degradation of antibiotic tetracycline by ultrafine-bubble ozonation process. *Journal of Water Process Engineering*, 37. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101463>
45. Wang, H., Mustafa, M., Yu, G., Östman, M., Cheng, Y., Wang, Y., & Tysklind, M. (2019). Oxidation of emerging biocides and antibiotics in wastewater by ozonation and the electro-peroxone process. *Chemosphere*, 235, 575–585. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.205>
46. Wang, J., & Bai, Z. (2017). Fe-based catalysts for heterogeneous catalytic ozonation of emerging contaminants in water and wastewater. In *Chemical Engineering Journal* (Vol. 312, pp. 79–98). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.11.118>

47. Wang, J., & Chen, H. (2020). Catalytic ozonation for water and wastewater treatment: Recent advances and perspective. In *Science of the Total Environment* (Vol. 704). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135249>
48. Wang, L., Ben, W., Li, Y., Liu, C., & Qiang, Z. (2018). Behavior of tetracycline and macrolide antibiotics in activated sludge process and their subsequent removal during sludge reduction by ozone. *Chemosphere*, 206, 184–191. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.180>
49. Yang, G., Wang, J., & Shen, Y. (2019). Antibiotic fermentation residue for biohydrogen production using different pretreated cultures: Performance evaluation and microbial community analysis. *Bioresource Technology*, 292. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122012>
50. Yoon, Y., He, H., Dodd, M. C., & Lee, Y. (2021). Degradation and deactivation of plasmid-encoded antibiotic resistance genes during exposure to ozone and chlorine. *Water Research*, 202. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117408>
51. ZahraHeidari, RasoolPelalak, & RahimeEshaghi Malekshah. (2022). A new insight into catalytic ozonation of sulfasalazine antibiotic by plasma-treated limonite nanostructures: Experimental, modeling and mechanism. 428(131230).
52. Zhang, Q.-Q., Ying, G.-G., Pan, C.-G., Liu, Y.-S., & Zhao, J.-L. (2015). A comprehensive evaluation of antibiotics emission and fate in the river basins of China: Source analysis, multimedia modelling, and linkage to bacterial resistance. In *Environ. Sci. Technol.*, Just Accepted Manuscript • Publication Date. <http://pubs.acs.org>

## ANEXOS

### Anexo 01: FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

	<b>FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</b>	
TÍTULO: Catalytic ozonation for degradation of sulfamethazine using NiCo <sub>2</sub> O <sub>4</sub> as catalyst		
REVISTA: Sciencedirect	AÑO DE PUBLICACIÓN: 2021	LUGAR DE PUBLICACIÓN: China
TIPO DE INVESTIGACIÓN: Cualitativa	CÓDIGO:doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128840	
AUTOR(ES):	Hai chena y Jianlong Wangab	
PALABRAS CLAVES:	-Sulfamethazine -Antibiotics -NiCo <sub>2</sub> O <sub>4</sub> -Catalytic ozonation	
ANTIBIÓTICO:	Sulfamethazine	
MÉTODO:	Catalytic ozonation	
CATALIZADOR:	NiCo <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	
RESULTADOS:	Los resultados mostraron que la espinela (NiCo <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) podría mejorar significativamente la mineralización de Sulfamethazine (SMT)	
CONCLUSIONES:	La espinela (NiCo <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) exhibió una actividad sobresaliente en la ozonización catalítica para la mineralización de Sulfamethazine (SMT). En presencia de NiCo <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , la eficiencia de eliminación de TOC fue más de tres veces mayor que la del ozono solo. Además,	

Fuente: Elaboración Propia