



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Método de tratamiento para la remediación ambiental por  
contaminación de fármacos contra el Covid-19: Revisión  
Sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Ambiental

**AUTORES:**

Bayona Pozo , Channy Wilson Elias (ORCID: 0000-0002-8525-2818)

Limascca Rivera , Cleiber (ORCID: 0000-0002-2360-1269)

**ASESOR:**

Mgr. Ugarte Alván , Carlos Alfredo (ORCID: 0000-0001-6017-1192)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

## **DEDICATORIA**

A Dios por haberme guiado en mi vida y las bendiciones recibidas , a mis padres ,Soledad y Wilfredo por haberme forjado con buenos valores, mucho de mis logros se los debo a ustedes y por cada consejo brindado, A mis Abuelitos, tíos, tías , primos y amigos que siempre me motivaron a seguir adelante.

Channy Bayona Pozo.

A Dios ante todo, a mis padres Isidora y Jaime, a mis hermanas Areli y Maribel por haberme sacado adelante y hecho de mi un hombre de bien, por siempre darme buenos consejos y apoyado en todo mis objetivos trazados.

Cleiber Limascca Rivera.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a mi familia , padres por el apoyo incondicional para el desarrollo de este trabajo de investigación . Así mismo expreso mi agradecimiento a nuestro asesor , Carlos Ugarte Alván quien nos brindó el conocimiento , apoyo y exigencia para poder concretar este proyecto de investigación de manera exitosa.

Channy Bayona Pozo.

Agradecer a mi familia, padres y hermanas, a mi tía Marcelina por el apoyo incondicional para el desarrollo de este trabajo de investigación. Así mismo agradezco a nuestro asesor, Ing. Carlos Ugarte Alván quien nos brindó el apoyo para la realización de este trabajo.

Cleiber Limascca Rivera.

## Índice de Contenido

CARÁTULA .....	ii
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO .....	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	v
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
ÍNDICE DE FIGURAS .....	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	vi
RESUMEN .....	v
ABSTRACT .....	viii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	15
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	15
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización .....	15
3.3. Escenario de estudio.....	17
3.4. Participantes .....	17
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
3.6. Procedimiento .....	17
3.7. Rigor científico .....	19
3.8. Método de análisis de información .....	19
3.9. Aspectos éticos .....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	21
V. CONCLUSIONES .....	33
VI. RECOMENDACIONES.....	34
BIBLIOGRAFÍA .....	35
ANEXOS	

## Índice de tablas

<i>Tabla 1. Clasificación de algunos tipos de enzimas y sus aplicaciones</i>	10
<i>Tabla 2. Matriz apriorística</i>	16
<i>Tabla 3. Medicamentos farmacéuticos contra el covid-19 que presenta mayor contaminación ambiental</i>	21
<i>Tabla 4. Tecnología de tratamiento más empleadas y su porcentaje de eliminación de acuerdo a los parámetros influyentes</i>	24

## Índice de Figuras

<i>Figura 1. Riesgo medioambiental del uso a gran escala de fármacos</i>	6
<i>Figura 2. Ciclo de vida de los medicamentos</i>	7
<i>Figura 3. Eliminación de compuestos farmacéuticos del agua y aguas residuales aplicando enzimas oxidoreductasa</i>	8
<i>Figura 4. Clasificación de los xenobióticos que se pueden someter a la aplicación de biorremediación enzimática</i>	9

## Índice de gráficos

<i>Gráfico 1. Procedimientos de selección de artículos al estudio</i>	18
<i>Gráfico 2. Tecnología de tratamiento más empleada para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el Covid -19</i>	29

## Índice de Abreviaturas

OMS	: Organización Mundial de la Salud
HAP	: Hidrocarburos aromáticos policíclicos
AZY	: Azitromicina
IG	: Índice de germinación
HCQ	: Fármaco hidroxiclороquina
EO	: Oxidación electroquímica
BF	: Filtros biológicos
GAC	: Carbón activado granular
TP	: Productos de transformación

## RESUMEN

De acuerdo a la búsqueda de determinar cuáles son los métodos de tratamiento que presentan mayor relevancia para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el Covid-19 se realizó una revisión sistemática de 56 literaturas científicas pasando por un proceso de selección donde se añadieron y excluyeron estudios que no cumplían con el proceso de selección, quedando añadidos al estudio 36 artículos científicos, de lo cual se obtuvo.

Los medicamentos farmacéuticos contra el covid-19 que presentan mayor contaminación ambiental son los antibióticos macrólidos, antimicrobiano, antiparasitario y antivirales, de los cuales sus efectos en el medio ambiente llegan desde persistencia en el medio ambiente por estabilidad a la fotodegradación, suponer un riesgo para los ecosistemas acuáticos locales, hasta comprometer el crecimiento, el desarrollo y la salud de los animales; así mismo, el contaminante que más se encuentra estudiado son los antivirales, seguido de los antibióticos macrólidos en 43% y 29% respectivamente. La tecnología de tratamiento más empleada es la degradación fotocatalítica, siendo la más usada con un 36%, seguida de la adsorción con un 28%, y la ozonificación en un 12%. Las mejores condiciones en los tratamientos para un mayor porcentaje de remoción son el pH y la temperatura; donde se demostró que el pH ácido y una temperatura de 30°C permite lograr los mejores resultados de la remoción de contaminantes farmacéuticos; mientras que el tiempo se deriva de acuerdo al tipo de tratamiento usado; siendo los métodos de degradación fotocatalítica quienes requieren un mayor tiempo para un mejor resultado.

**Palabras clave:** Método, ambiental, remediación, drogas, covid-19

## ABSTRACT

According to the search to determine which are the most relevant treatment methods for environmental remediation due to drug contamination against Covid-19, a systematic review of 56 scientific literatures was carried out, going through a selection process where studies that did not comply with the selection process were added and excluded, leaving 36 scientific articles added to the study, from which we obtained the following results.

The pharmaceutical drugs against covid-19 that present the greatest environmental contamination are macrolide antibiotics, antimicrobial, antiparasitic and antiviral, whose effects on the environment range from persistence in the environment due to stability to photodegradation, to pose a risk to local aquatic ecosystems, to compromise the growth, development and health of animals; likewise, the most studied contaminants are antevirals, followed by macrolide antibiotics in 43% and 29% respectively. The most used treatment technology is photocatalytic degradation, being the most used with 36%, followed by adsorption with 28%, and ozonation with 12%. The best conditions in the treatments for a higher percentage of removal are pH and temperature; where it was demonstrated that acid pH and a temperature of 30°C allows achieving the best results in the removal of pharmaceutical contaminants; while the time is derived according to the type of treatment used; being the photocatalytic degradation methods those that require a longer time for a better result.

**Keywords:** Palabras clave: Method, environmental, remediation, drugs, covid-19



# I. INTRODUCCIÓN

La actual pandemia de COVID-19 causada por el SARS-CoV-2 ha llevado a las personas del mundo a implementar medidas preventivas, tales como la limpieza con materiales a base de alcohol y el distanciamiento social para prevenir y minimizar la transmisión viral a través de fómites (Kumar Manish et al., 2020, p.19).

El papel de la contaminación de la superficie ambiental en la transmisión viral dentro de las salas de los hospitales es aún discutible, especialmente considerando la propagación de nuevas variantes del virus en el mundo (Nannou C. et al., 2020, p.2).

Este brote provocó un impacto mundial, no solo debido a la propagación del virus si no por los efectos secundarios en el medio ambiente que este trae consigo; siendo el aumento de producto farmacéuticos presentado en todo el mundo (Peralta Guímel et al., 2020, p.2).

Es así que el uso de diversos tipos de medicamentos que se prueban a diario para crear tratamientos anti virales y vacunas; pero al ser el uso de estos fármacos a gran escala suscita gran preocupación por su inminente riesgo ambiental (Pareja Cruz A. et al., 2020, p.4). Ya que, la eliminación de estos compuestos por heces y orina asociada a la ineficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales en su remoción puede resultar en su persistencia en el medio ambiente, poniendo en riesgo la salud de los humanos y de otras especies (Izquierdo Alonso J. et al., 2020, p.3).

Países como Italia y Brasil han reportado el incremento a gran escala de estos fármacos, siendo excesivos y generando preocupación en dichos países (Martins Leila et al., 2020, p.2).

La presencia de productos farmacéuticos humanos en el medio ambiente es motivo de preocupación tanto para el medio ambiente como para la salud pública (Stadlmair Lara F. et al., 2018, p.2). En las últimas décadas, la presencia de productos farmacéuticos humanos (también conocidos como residuos farmacéuticos; PPs) en el medio ambiente se ha convertido en una creciente en todo el mundo (Esterhuizen Londt et al., 2016, p.3).

Estas sustancias son de especial interés, ya que algunas se producen y utilizan en grandes cantidades y pueden acabar en el medio acuático, donde son persistentes o

pseudopersistentes, además, pueden tener un efecto biológico en organismos (Courtier Audrey C. et al., 2019, p.2).

Además, en la actualidad, la eliminación de trazas de productos químicos orgánicos, como los productos farmacéuticos, en las plantas de tratamiento de aguas residuales a menudo es incompleto, lo que da como resultado una descarga continua en el medio acuoso (Contreras Ricardo R. et al., 2020, p.2). Para superar este problema, los enfoques de biorremediación cobraron una importancia significativa en los últimos tiempos, ya que podrían tener una huella de carbono más baja que los métodos de tratamiento químico o físico; aunque estos últimos métodos mencionados también presentan buenos resultados (Iglesias Osores S. et al., 2021, p.19).

Debido a ello, se tiene como problema general plantear: ¿Cuáles son los métodos de tratamiento que presentan mayor relevancia para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el Covid-19?

**PE1:** ¿Cuáles son los medicamentos farmacéuticos contra el Covid-19 que presentan mayor contaminación ambiental?

**PE2:** ¿Cuál es la tecnología de tratamiento más empleada para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el covid-19?

**PE3:** ¿Cuáles son las mejores condiciones en los tratamientos para un mayor porcentaje de remoción de contaminantes ambientales por fármacos contra el Covid-19?

Y como objetivo general se tiene:

Determinar cuáles son los métodos de tratamiento que presentan mayor relevancia para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el Covid-19; y los objetivos específicos son:

**OE1:** Analizar los medicamentos farmacéuticos contra el Covid-19 que presentan mayor contaminación ambiental

**OE2:** Clasificar la tecnología de tratamiento más empleada para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el Covid-19

**OE3:** Identificar cuales son las mejores condiciones en los tratamientos para un mayor porcentaje de remoción de contaminantes ambientales por fármacos contra el Covid-19

Mediante lo expuesto anteriormente se puede señalar que este estudio presenta una justificación teórica, por la recopilación de estudios literarios que se realizará, buscando contribuir con la población, generando un mayor conocimiento de la contaminación ambiental que se emite por los fármacos contra el Covid-19, teniendo como fin servir de fuente para que se determinen mediante la comparación de estudios que apliquen técnicas de tratamiento contra estos impactos negativos generados, cual es el más eficiente y amigable con el medio ambiente y la sociedad.

## II. MARCO TEÓRICO

Después del 11 de marzo del 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró al SARS-CoV-2 una pandemia mundial y la enfermedad se denominó enfermedad del coronavirus 2019 (COVID-19) (Hoffman Markus et al., 2020, p.2). Donde la pandemia actual de COVID-19 ha causado más de 46 millones de infecciones y más de un millón de muertes en todo el mundo, y las cifras siguen aumentando (Walls Alexandra C. et al., 2020, p.3).

El Covid-19 mató a más personas semanalmente o mensualmente a principios de 2020 que cualquier otra causa de muerte, excepto la enfermedad cardiovascular, que aún se ha mantenido marginalmente en el puesto número uno (He Feng et al., 2020, p.1).

La rápida propagación del virus que causa el Covid-19 ha provocado miedo en todo el mundo y casi todos los países están lidiando con un aumento en los casos confirmados y las muertes (Anthony Simon et al., 2017, p.4). La enfermedad afecta cada vez más a las personas mayores con problemas médicos subyacentes, aunque nadie es invulnerable independientemente de su edad, sexo o raza (Tortorici M. y Veessler D., 2019, p.2).

La enfermedad, Covid-19, se caracteriza por una variedad de síntomas, que incluyen principalmente fiebre, tos, disnea y mialgia (Kirchdoerfer R. et al., 2016, p.2). En casos graves, el hallazgo más común de la tomografía computarizada de tórax es la afectación pulmonar bilateral con opacidad en vidrio deslustrado (Gui Miao et al., 2017, p.3).

La principal causa de mortalidad por Covid-19 proviene del sistema inmunológico comprometido, que conduce a insuficiencia respiratoria (Pallesen Jesper et al., 2017, p.2). Muchos más pacientes han presentado patologías relacionadas con el sistema cardiovascular, incluida la insuficiencia cardíaca congestiva y la disfunción cardiorrespiratoria medular del cerebro y la trombocitosis inflamatoria (Huang Chaolin et al., 2020, p.1).

Actualmente, no existen terapias eficaces comprobadas para Covid-19; convirtiendo esto en una emergencia que se elaboren agentes antivirales eficaces para combatir este virus (Zhou Peng et al., 2020, p.2). El ciclo de vida del SARS-CoV-2 incluye

principalmente la unión viral, la fusión de membranas, replicación genómica, ensamblaje y gemación de viriones (Shen Mapcai et al., 2021, p.3).

En consecuencia, el desarrollo de fármacos contra el SARS-CoV-2 se centra actualmente en bloquear la unión de la proteína de pico a ACE2, inhibir la fusión de la membrana viral con las células huésped y prevenir la replicación viral (Hu Ben et al., 2017, p.2).

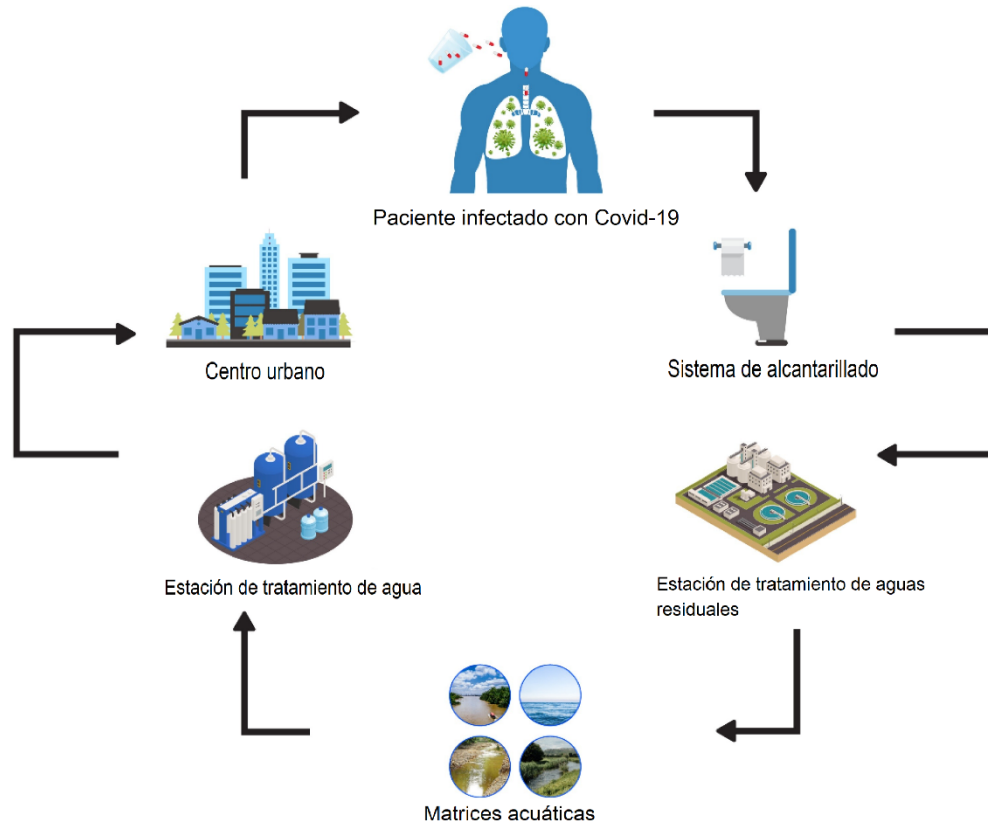
Por tal motivo, durante el primer mes de la pandemia mundial Covid-19, hubo un aumento en los ensayos clínicos de reutilización de medicamentos en su mayoría aprobados, como hidroxiquina (medicamento contra la malaria), ritonavir y lopinavir (una combinación de medicamentos antirretrovirales), remdesivir (un medicamento experimental contra el ébola), ritonavir y lopinavir (antirretrovirales), interferón beta y varios inmunomoduladores y antiinflamatorios (Gorbalenya A. et al., 2020, p.5).

En este contexto, la Administración de Alimentos y Medicamentos de EE. UU. (FDA) emitió una Autorización de uso de emergencia para el uso de hidroxiquina (y cloroquina) y remdesivir el 28 de marzo y el 1 de mayo de 2020, respectivamente, para el tratamiento de pacientes hospitalizados con Covid-19 (Alattar Rand et al., 2020, p.3).

Por tal motivo, se han lanzado a nivel mundial cientos de ensayos clínicos de posibles fármacos relacionados con Covid-19, incluido el ensayo SOLIDARITY a gran escala de la OMS (Balakumar P. et al., 2016, p.2). Además, se están llevando a cabo varios ensayos clínicos para desarrollar una vacuna eficaz para tratar Covid-19 (Oberfeld Blade et al., 2020, p.2).

Ante ello, las sustancias genotóxicas pueden representar un peligro para la salud de los seres humanos, así como afectar a los organismos en el medio ambiente, debido a que se cuenta con limitaciones en la eliminación de los compuestos, lo que los lleva a terminar en el agua del grifo (Marazziti Donatella et al., 2021, p.2). (Ver figura 1). Siendo demostrado que los contaminantes que afectan principalmente a los recursos hídricos son de naturaleza orgánica y muchos tipos de contaminantes orgánicos están presentes en los cuerpos de agua, como productos farmacéuticos, pesticidas, plastificantes, compuestos fenólicos, solventes industriales y muchos otros (Sharma B. et al., 2019, p.1).

**Figura N1.** Riesgo medioambiental del uso a gran escala de fármacos



*Fuente: Modificado de Syslová Eliská et al., (2019)*

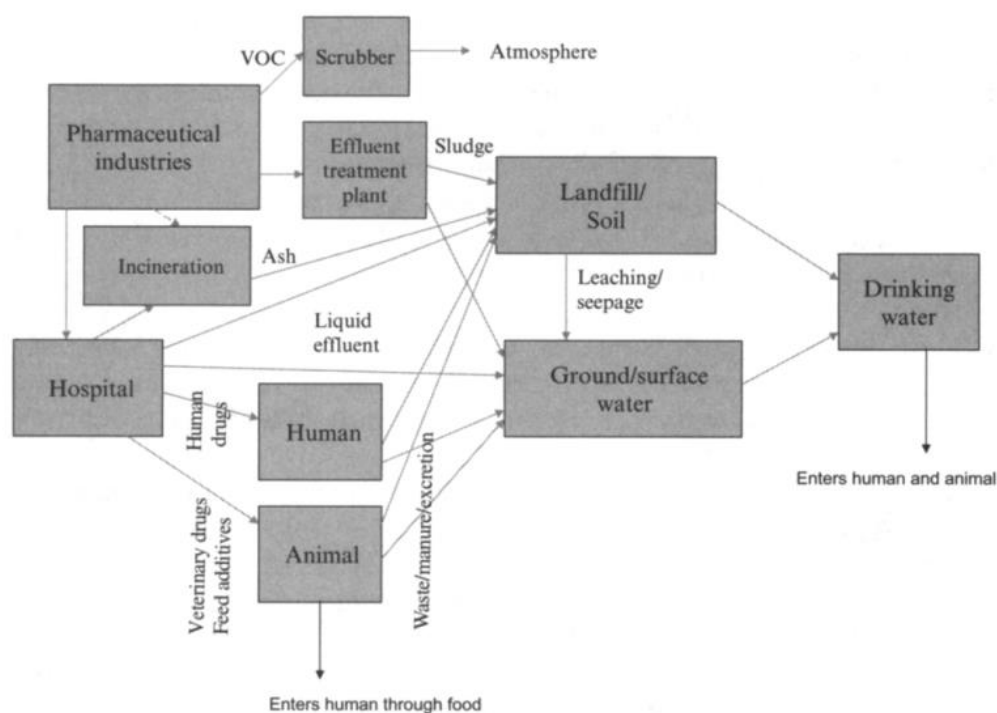
Dado que los antibióticos interfieren principalmente en el metabolismo bacteriano, cabe suponer que las comunidades bacterianas son la parte principalmente afectada de los ecosistemas acuáticos debido al vertido de efluentes que contienen antibióticos (Sajadi Mohammad M. et al., 2020, p.2). Además, la resistencia a ciertos antibióticos da lugar a infecciones difíciles de tratar y los antibióticos son consumidos por los humanos y utilizados en la producción ganadera y avícola y en la piscicultura (Torres Jacqueline M. y Casey Joan A., 2017, p.1).

La contaminación ambiental se define como la alteración desfavorable del medio ambiente a través de la acción directa o indirecta del hombre (Rai Prabhat K., 2016, p.2). Siendo que, la distribución, difusión y transmisión de enfermedades por agua o vectores representan una de las consecuencias más significativas de la contaminación ambiental y el cambio climático (Lindahl J. y Grace D., 2016, p.2).

Los productos farmacéuticos, han traído a lo largo del tiempo grandes beneficios a la sociedad, sin embargo, el exceso de medicamentos excretados por humanos y animales y los desechos no utilizados o caducados van a parar a las plantas de

tratamiento de aguas residuales, desde la década de 1980, se ha informado de la presencia de productos farmacéuticos como el clofibrato, varios analgésicos, fármacos citostáticos, antibióticos y otros en las aguas superficiales de muchos países europeos (Guidon Amanda C. y Amato A., 2020, p.22). Esto ha suscitado una creciente preocupación, ya que algunos de estos productos persistentes vuelven a entrar en el agua potable. (Como se observa en la figura 2).

**Figura N°2. Ciclo de vida de los medicamentos**



*Fuente: Su Haixia, Xu Y. y Jiang H., (2021)*

Muchos de estos medicamentos probados para el tratamiento de covid no son totalmente metabolizados por el organismo, acaban eliminándose a través de las heces y la orina en su forma activa o como metabolitos, detectándose en el medio ambiente, muchos de los compuestos, que actualmente se están probando clínicamente en el tratamiento de COVID-19 (Kumar Manish et al., 2020, p.1).

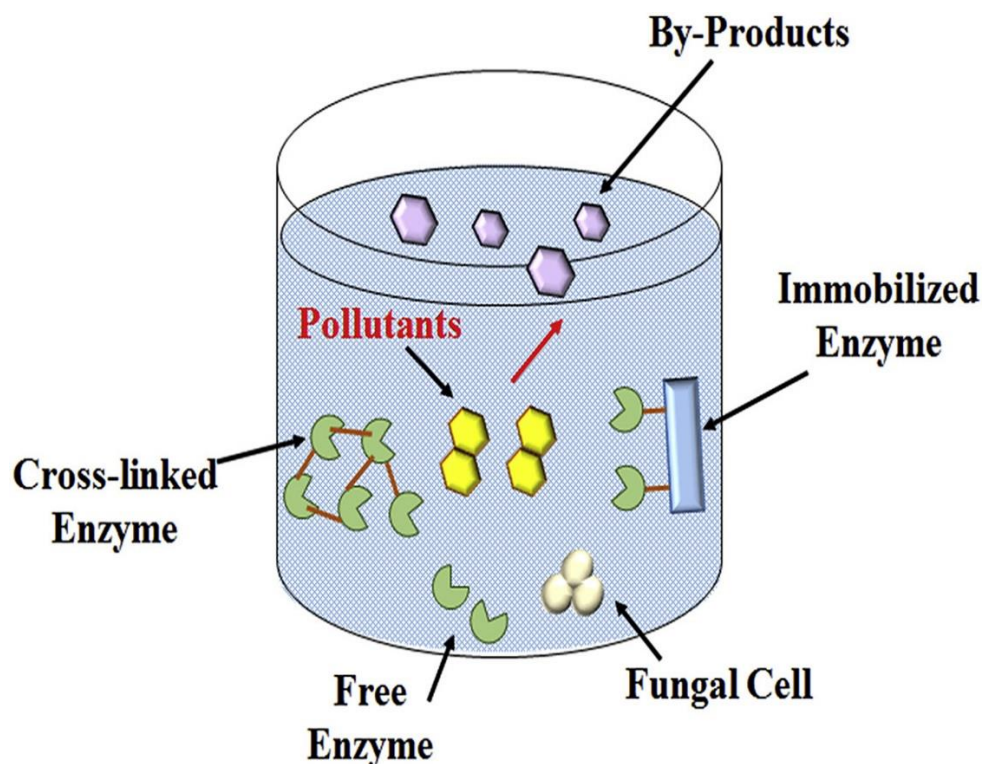
Siendo así, que se han puesto a prueba intensas búsquedas de fármacos eficaces contra el nuevo coronavirus (SARS-CoV-2) en todo el mundo (Laventhal Naomi T. et al., 2020, p.2). Probándose clínicamente varios antivirales y fármacos antiparasitarios en pacientes con COVID-19, lo que puede conducir a la eliminación de estos

fármacos al medio ambiente, ya que estos fármacos y sus metabolitos se eliminan principalmente por la orina (Russo Danilo et al., 2017, p.2).

Por tal motivo, ante la eliminación de trazas de productos químicos orgánicos, como los productos farmacéuticos que en las plantas de tratamiento de aguas residuales a menudo es incompleto, lo que da como resultado una descarga continua en el medio acuoso (Krah Daniel et al., 2016, p.4). Para superar este problema, los enfoques de biorremediación cobraron una importancia significativa en los últimos tiempos, ya que podrían tener una huella de carbono más baja que los métodos de tratamiento químico o físico (Rosal Roberto et al., 2016, p.2).

La transformación biológica de estos contaminantes utilizando hongos, enzimas oxidoreductasa, entre otros, se ha propuesto como una solución de bajo costo y amigable con el medio ambiente para el tratamiento del agua. (Ver figura 3).

**Figura N°3.** Eliminación de compuestos farmacéuticos del agua y aguas residuales aplicando enzimas oxidoreductasa



Fuente: Naghdi Mitra et al., (2018)

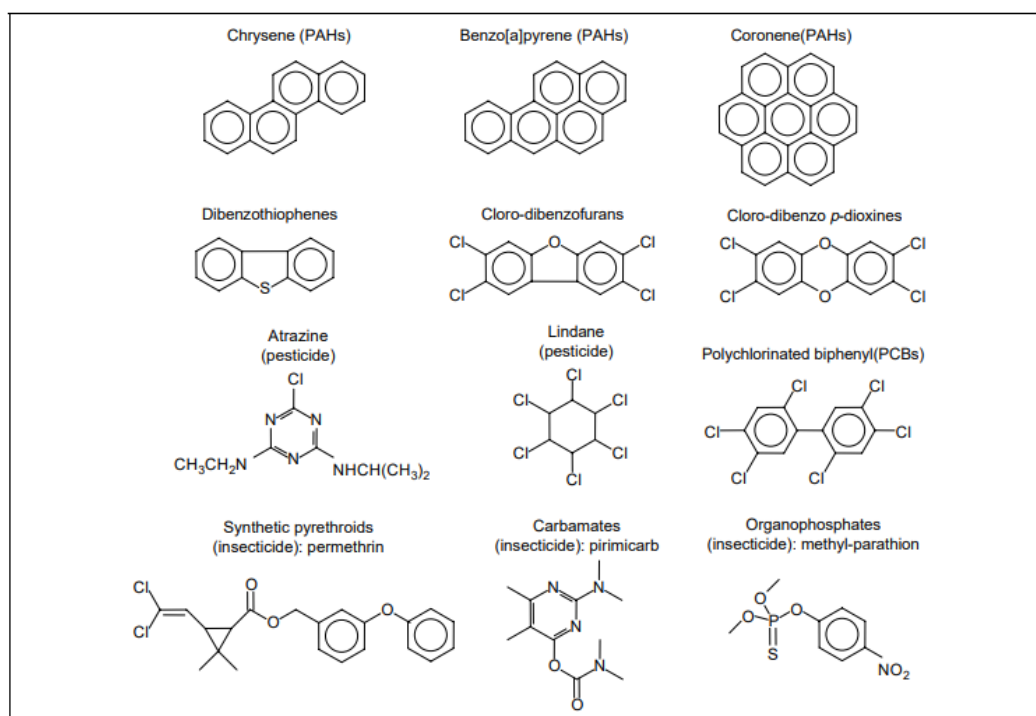
Las estrategias de biorremediación han ganado en importancia debido a su potencial de ahorro de energía y su compatibilidad con el medio ambiente que las tecnologías de tratamiento convencionales, más intensivas en recursos (Sharma et al., 2018).



Esos enfoques biológicos explotan el potencial de los sistemas naturales, como las bacterias y los hongos, para la biotransformación y biodegradación de compuestos xenobióticos en el agua, las aguas residuales, el suelo o los lodos (Wang Guohua et al., 2020, p.1).

La conversión de productos farmacéuticos por parte de los microorganismos puede inducirse tanto in situ en el medio acuático como en procesos de tratamiento diseñados (Sangeetha T. y Rajneesh C., 2020, p.3). Independientemente de estas condiciones, los biocatalizadores inherentes a los procesos biológicos son las enzimas, sin embargo, los procesos que controlan y afectan a la remediación biológica, incluidas las interacciones metabólicas o las vías de transporte y reacción, son muy complejos y no se conocen suficientemente, por lo que ofrecen un margen sustancial para mejorar la eficacia de la transformación (Chen Xiangping et al., 2021, p.2).

**Figura N° 4.** Clasificación de los xenobióticos que se pueden someter a la aplicación de biorremediación enzimática



Fuente: Chen Xiangping et al., (2021)

La mayoría de los xenobióticos pueden someterse a biorremediación enzimática, como se muestra en la figura 4, existe diversos contaminantes como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), los compuestos aromáticos polinitrados, los pesticidas

como insecticidas organoclorados, efluentes de plantas de blanqueo tintes sintéticos, polímeros y conservantes de la madera (creosota, pentaclorofenol) que pueden ser sometidos a los tratamientos de biorremediación con enzimas (Petrie Bruce et al., 2016, p.4).

El uso de enzimas libres de células puede ofrecer una estrategia más controlable, pero debido a su alta especificidad, se necesitan importantes esfuerzos de cribado para seleccionar las enzimas adecuadas (Taheran Mehrdad et al., 2017, p.3). Entre algunos de los tipos de enzimas muestra la tabla 1.

**Tabla N°1.** Clasificación de algunos tipos de enzimas y sus aplicaciones

<b>Tipo de enzima</b>	<b>Aplicaciones</b>
<i>Lacasa</i>	Decoloración y degradación de colorantes
<i>Tirosinasa</i>	Degradación de fenoles y aminas
<i>Lignina peroxidasa</i>	Degradación de compuestos fenólicos y aromáticos
<i>Peroxidasa versátil</i>	Degradación de efluentes textiles
<i>Manganeso peroxidasa</i>	Degradación de fenoles, ligninas y colorantes

*Elaboración propia*

Así mismo, las investigaciones pioneras que cobran interés utilizan las aplicaciones de oxidorreductasas, como lacasas, peroxidasas, ligninasas y tirosinasas.

El uso de enzimas aisladas dirigidas a sustancias químicas específicas resulta prometedor como alternativa más sistemática y controlable a los procesos de tratamiento biológico convencionales que utilizan un consorcio de microorganismos poco específicos (Fu F., Lin L. y Xu E., 2017, p.87).

Ante lo expuesto, se muestra los antecedentes referentes a los métodos de tratamiento para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el Covid-19 mediante una revisión a nivel mundial.

**Kumar Amit et al., (2021)**, en su investigación “Aceleración de las capacidades de foto-reducción y oxidación del alginato de calcio Bi 4 O 5 I 2 / SPION @ mediante Ag metálico: amplia eliminación espectral de nitrato y azitromicina”, presenta como objetivo reportar el fotocatalizador activo Vis-NIR Ag @ Bi 4 O 5 I 2 / SPION @ alginato de calcio (aquí designado como ABSA) preparado por impregnación

hidrotermal para la degradación de alto rendimiento de azitromicina (AZY) y reducción selectiva de  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{N}_2$ . Donde los resultados mostrados, demuestran que el catalizador compuesto ABSA muestra una degradación de AZY del 98,4% en 90 min con luz visible. Sorprendentemente, la constante de velocidad aparente para el catalizador ABSA ( $0.08321 \text{ min}^{-1}$ ) es ~ 8 veces mayor que  $\text{Bi}_4\text{O}_5\text{I}_2$  simple. El fotocatalizador es capaz de reducir selectivamente  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{N}_2$  con ácido fórmico en un amplio rango de pH, especialmente en condiciones ácidas con ~ 100% de fotorreducción y 97,6% de selectividad de  $\text{N}_2$ . Concluyendo que, el fotocatalizador es capaz de reducir selectivamente  $\text{NO}_3^-$  en  $\text{N}_2$  con ácido fórmico en un amplio rango de pH, especialmente en condiciones ácidas con ~ 100% de fotorreducción y 97,6% de selectividad de  $\text{N}_2$ .

**Naraginti Saraschandra et al., (2019)**, en su estudio “Degradación por luz visible del antibiótico macrólido azitromicina por el nuevo compuesto nanovarrio  $\text{ZrO}_2 / \text{Ag} @ \text{TiO}_2$ : Vías de transformación y evaluación de la toxicidad”, se preparó un nuevo nanocompuesto ternario de nanovarillas de  $\text{ZrO}_2 / \text{Ag} @ \text{TiO}_2$  mediante un método hidrotermal y de fotodeposición simple para la degradación eficiente de AZY bajo luz visible. Dando como resultado, que más el 90% de azitromicina (20 mg / L) se degradó después de 8 h de irradiación con luz visible. Se encontró que el índice de germinación (IG) de la azitromicina era del 12,3% antes de la degradación, mientras que aumentó al 81,05% después de 8 h de degradación, lo que indica que este proceso de fotodegradación logró una desintoxicación casi completa. Concluyendo que, este trabajo demostró una estrategia eficaz para la degradación de la luz visible y la desintoxicación de la azitromicina, que proporcionó una nueva perspectiva sobre la fotodegradación de los antibióticos macrólidos y sería prometedora para el tratamiento de aguas residuales con antibióticos.

**Sayadi Mohammad H. et al., (2019)**, en su investigación “Degradación fotocatalítica de azitromicina usando nanocompuestos  $\text{GO} @ \text{Fe}_3\text{O}_4 / \text{ZnO} / \text{SnO}_2$ ”, presenta como objetivo de estudio sintetizar grafeno reforzado con nanocompuestos de óxido de hierro / óxido de zinc / óxido de estaño y evaluar su capacidad de degradación fotocatalítica de azitromicina en el medio acuoso. Donde, en el sistema discontinuo, se investigó el efecto del pH, el tiempo de contacto, el contenido de catalizador y la concentración inicial de azitromicina; en este sistema, en condiciones óptimas de pH = 3, 120 min con 1 g / L de  $\text{GO} @ \text{Fe}_3\text{O}_4 / \text{ZnO} / \text{SnO}_2$ , el 90,06% de 30 mg / L de azitromicina se degradaron bajo irradiación UV-C. Los resultados indican que la

degradación de azitromicina en una columna de lecho constante depende en gran medida de estos parámetros; de hecho, el tiempo para alcanzar el punto de ruptura disminuyó con el aumento del caudal y la concentración inicial de azitromicina, mientras que aumentó con el aumento de la altura del lecho.

**Davoodi S. et al., (2019)**, en su artículo “Eliminación por adsorción de azitromicina de soluciones acuosas utilizando nano diatomita cruda y modificada con saponina”, tiene como objetivo investigar el rendimiento y el mecanismo de la nanodiatomita cruda (R-ND) y modificada con saponina (M-ND) en la eliminación de azitromicina de soluciones acuosas. Donde, la caracterización del adsorbente se realizó mediante fluorescencia de rayos X, Brunauer-Emmett-Teller (BET), espectroscopía electrónica de barrido, dispersión dinámica de luz y análisis de rayos X de dispersión de energía. Donde, los resultados, a pesar de reducir la superficie específica en un 25%, la modificación de nano diatomita por saponina mejoró notablemente su desempeño en la eliminación de azitromicina. La capacidad máxima de adsorción de R-ND y M-ND en la eliminación de azitromicina fue de 68 y 91,7 mg / g, respectivamente.

**De Sousa D. et al., (2018)**, en su estudio “Estudios de equilibrio y cinéticos de la adsorción de antibióticos desde soluciones acuosas sobre zeolitas en polvo”, Se evaluaron las proporciones para la eliminación de antibióticos de tres clases diferentes, a saber, azitromicina, ofloxacina y sulfametoxazol, de soluciones acuosas. Donde, se utilizaron zeolitas comerciales, sin ningún tratamiento previo. Dando como resultado que, la eliminación de azitromicina y sulfametoxazol fueron altamente dependientes del pH, observándose bajos porcentajes de eliminación en condiciones ácidas (pH 2,5–4,5) y básicas (pH 8,5–10,5), respectivamente y utilizando una mezcla de antibióticos, se obtuvieron eliminaciones porcentuales de azitromicina y ofloxacina sobre las zeolitas de hasta un 79%. Ambos materiales presentaron buena adsorción (> 50%) de azitromicina y ofloxacina de una muestra real de efluente de aguas residuales.

**Li Danyan et al., (2021)**, en su artículo “Papel de la adsorción durante la nanofiltración de la solución de sulfametoxazol y azitromicina”, se investigaron los efectos de la presión operativa, la temperatura, el valor de pH y la concentración de alimentación inicial sobre la adsorción durante la nanofiltración de los dos antibióticos. Donde los resultados mostraron que la tasa de adsorción de dos antibióticos por nanofiltración

fue del 40% al 99%. La temperatura tuvo un efecto significativo sobre la adsorción. Concluyendo que, cambiar la concentración de alimentación inicial puede conducir a un punto crítico en la tasa de adsorción.

**Bensalah Nasr et al., (2020)**, en su estudio científico “Degradación de la hidroxiclороquina por procesos electroquímicos avanzados de oxidación”, se analiza la degradación del fármaco hidroxiclороquina (HCQ) en solución acuosa mediante procesos electroquímicos avanzados de oxidación que incluyen oxidación electroquímica (EO) utilizando diamante dopado con boro (BDD) y su combinación con irradiación UV (oxidación electroquímica fotoasistida, PEO) y sonicación. Donde los resultados demostraron la liberación de cloruro (Cl<sup>-</sup>) iones en las primeras etapas de degradación de HCQ. Además, el nitrógeno orgánico se convirtió principalmente en NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y pequeñas cantidades de especies de nitrógeno volátiles (NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub>). Concluyendo que, el PEO tiene el potencial de ser un excelente método alternativo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con el fármaco HCQ y sus derivados.

**Dabic D. y Sandra S., (2019)**, en su estudio “El papel de la fotodegradación en el destino ambiental de la hidroxiclороquina”, tuvo como objetivo explorar el papel de la fotólisis en el destino ambiental de la hidroxiclороquina (HCQ) por primera vez. Donde, la degradación fotolítica de HCQ se investigó bajo radiación solar simulada (300-800 nm) en agua ultrapura, de manantial, de río y de mar. Los resultados de esta investigación revelan la importancia de la degradación fotolítica en el destino ambiental de HCQ y permiten una mejor comprensión de su comportamiento en el medio ambiente. Concluyendo que, los resultados que muestran el efecto significativo del pH sobre la fotodegradación de HCQ pueden ser muy útiles en los procesos de tratamiento de agua.

**Lindroos Magnus et al., (2019)**, en su trabajo de investigación “Eliminación continua del modelo de cloroquina farmacéutica del agua utilizando *Escherichia coli* cubierta de melanina en un biorreactor de membrana”, explora la idoneidad de estas *E. colicubiertas* de melanina para la eliminación continua de productos farmacéuticos de las aguas residuales. Donde, un biorreactor demembrana de flujo continuo que contenía células de *E. coli* melanizadas se utilizó para la adsorción de cloroquina desde el afluente hasta la saturación y la posterior regeneración. Donde los resultados muestran que, la concentración promedio de efluente durante las primeras 20 h fue

0.0018 mm, correspondiente a 98.2% de remoción. Hasta  $140 \pm 6$  mg de cloroquina unida por gramo de células siguiendo cinéticas de adsorción mixtas homogéneas y heterogéneas. Concluyendo que, esto muestra el potencial de las células melanizadas para el tratamiento de aguas residuales convencionales o aguas arriba altamente concentradas. fuentes como hospitales o plantas de fabricación.

**Midassi Sondos et al., (2020)**, en su estudio “Degradación eficiente del fármaco cloroquina por oxidación electro-Fenton: efectos de las condiciones de funcionamiento y mecanismo de degradación”, se investigó la degradación de la cloroquina (CLQ), un fármaco antivírico y antipalúdico, mediante oxidación electro-Fenton. Donde, la oxidación de Electro-Fenton-BDD logró el agotamiento total de CLQ y la eliminación del 92% de carbono orgánico total (TOC). La oxidación con electro-Fenton-BDD fue más eficaz que con electro-Fenton-Pt y la oxidación anódica utilizando ánodos de Pt y BDD. Concluyendo que, la oxidación con Electro-Fenton tiene el potencial de ser un método alternativo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con CLQ y sus derivados.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipos de investigación**

La investigación aplicada también denominada investigación empírica tiene como fin aplicar o utilizar los conocimientos alcanzados hasta el momento, al mismo tiempo que se adquieren otros, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación (Murillo, 2008). Este tipo de investigación ha sido utilizada en el presente informe ya que por medio de artículos científicos recolectados se sustenta y resuelve con ello el objetivo de los métodos de tratamiento que presentan mayor relevancia para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el Covid-19.

El diseño de la investigación es narrativo. Según Sampieri (2014, p.487) en el diseño narrativo el investigador adapta las vivencias contadas de quienes la experimentaron al lugar y reconstruye los hechos. Por ello en el presente trabajo de investigación se desarrolló la descripción teórica de la metodología realizada por las diversas literaturas seleccionadas para incluir al estudio.

#### **3.2 Categoría, Subcategoría y matriz de categorización apriorística**

En el presente estudio se dividió en categorías y sub categorías teniendo en cuenta los problemas y objetivos;

**Tabla N°2. Matriz apriorística**

<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</b>	<b>CATEGORÍA</b>	<b>SUB CATEGORÍA</b>	<b>CRITERIO 1</b>	<b>CRITERIO 2</b>
<b>Analizar los medicamentos farmacéuticos contra el covid-19 que presentan mayor contaminación ambiental</b>	¿Cuál son los medicamentos farmacéuticos contra el covid-19 que presenta mayor contaminación ambiental?	Medicamentos farmacéuticos contra el covid-19 que presentan contaminación ambiental Stadlmair. Lara F. et al., (2018, p.2)	Antivirales Antimicrobianos Antibiótico macrólido (Rai Prabhat K., 2016, p.2).	De acuerdo al tipo de droga	De acuerdo al efecto sobre los medios ambientales
<b>Clasificar la tecnología de tratamiento más empleada para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el Covid -19</b>	¿Cuál es la tecnología de tratamiento más empleada para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el covid-19?	Tratamiento más empleado para la remediación por contaminación. Sharma et al., (2018)	Degradación fotocatalítica Adsorción Nanofiltración (Sangeetha T. y Rajneesh C., 2020, p.3)	De acuerdo a la tecnología de tratamiento	De acuerdo al porcentaje de remoción
<b>Identificar cuáles son las mejores condiciones en los tratamientos para un mayor porcentaje de remoción de contaminantes ambientales por fármacos contra el covid-19</b>	¿Cuál son las mejores condiciones en los tratamientos para un mayor porcentaje de remoción de contaminantes ambientales por fármacos contra el covid-19?	Mejores condiciones en los tratamientos de remoción de contaminante ambiental. Chen Xiangping et al., (2021, p.2)	Por el tiempo empleado Por el pH Por la cantidad de adsorbente usado De acuerdo a la temperatura (°C) (Laventhal Naomi T. et al., 2020, p.2).	De acuerdo al tipo de tecnología de tratamiento usado	De acuerdo a la eficiencia de remoción del contaminante

*Elaboración propia*



### **3.3 Escenario de estudio**

El escenario de estudio lo vamos a encontrar en cada lugar o ambiente en donde se hayan desarrollado ya el método de tratamiento para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el covid-19, estos escenarios los encontraremos en cada artículo que ha sido usado y de donde fue extraída la información para el desarrollo de la presente investigación.

### **3.4 Participantes**

Las plataformas virtuales, como bibliotecas electrónicas y red de revistas científicas se consideran las participantes en el presente trabajo de investigación, ya que, mediante ellos se lograron extraer trabajos e investigaciones científicas que ayudaran a respaldar el presente informe, considerándose únicamente los artículos científicos por el tipo de investigación realizada.

Se consideran las siguientes plataformas como los participantes usados durante la investigación: Sciencedirect, Redalyc y Scielo.

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

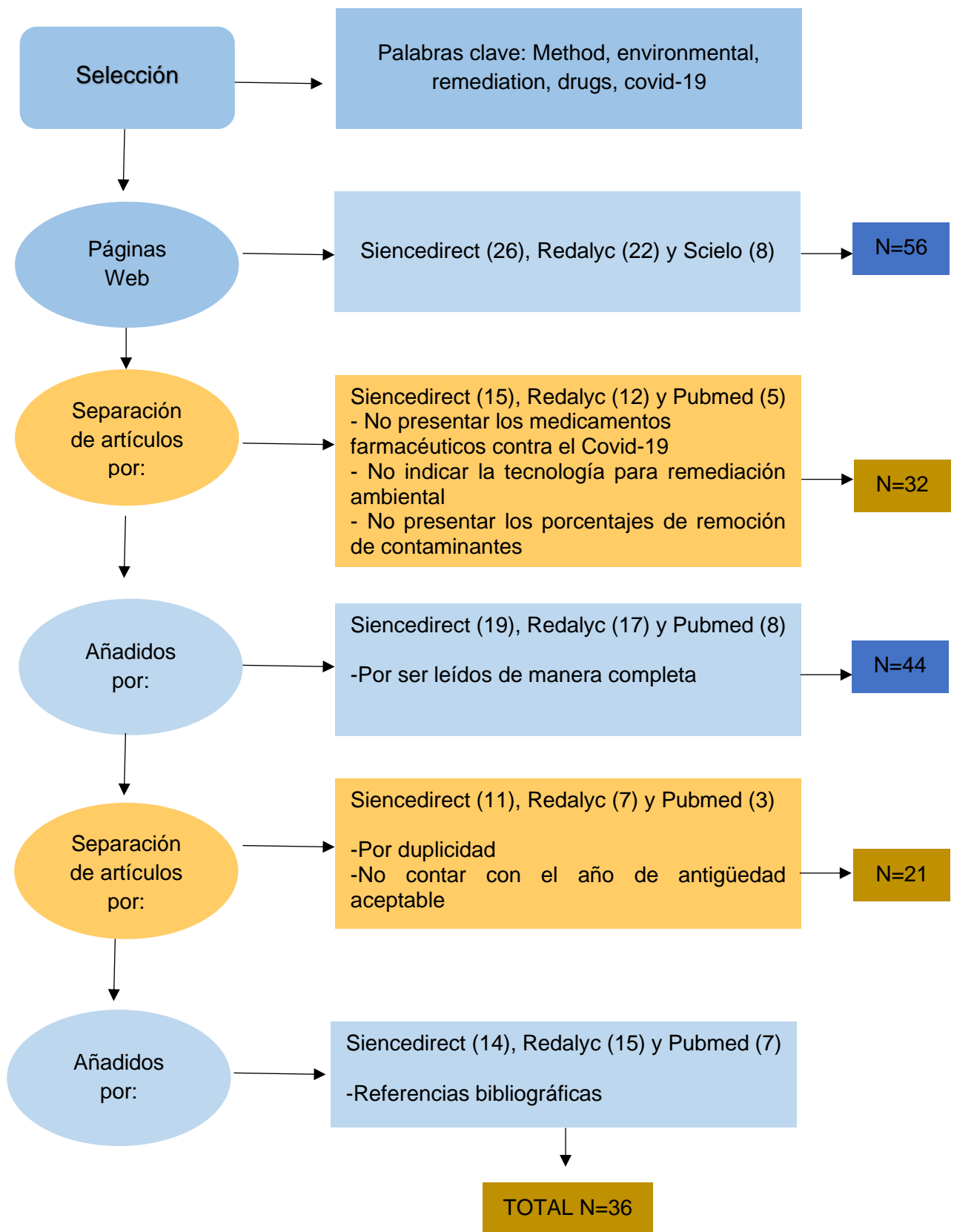
La técnica de análisis documental ha sido usada en este estudio, mediante la extracción de información de diferentes literaturas y análisis de estas hemos podido sintetizar la información más relevante derivando así un documento para representarlo.

El instrumento de recolección de datos que permitió realizar la técnica de análisis documental es la ficha de análisis de contenido.

### **3.6 Procedimiento**

Los artículos de la presente investigación fueron seleccionados e indicados en el Gráfico N°1.

**Grafica N°1. Procedimientos de selección de artículos al estudio**



*Elaboración propia*

### **3.7 Rigor científico**

Toda investigación pretende aportar nuevos conocimientos o nuevos conceptos auténticos, con este fin el rigor científico se encarga de hacer cumplir ciertos criterios en un estudio de acuerdo con Hernández Sampieri, en el presente trabajo de investigación se han cumplido cuatro de los siguientes criterios:

Dependencia, en este criterio encontramos que los resultados generados por diferentes investigadores sean equivalentes, donde las interpretaciones de los datos deben generarse congruentes. Se aplicó este criterio en las tablas de resultados a través de la información dada.

Credibilidad, este criterio nos indica la máxima validez, en este punto se va a plasmar argumentos fiables, donde las investigaciones que respaldaran el estudio final tengan las características para ser demostrados en el resultado del estudio. Se aplicó este criterio extrayendo información de fuentes confiables y que aseguran que su contenido es verídico.

Transferencia, no se puede pasar de tener una idea particular a generalizar en otro contexto, pero, en este criterio vamos encontrar como el investigador va a generar pautas a través de otras pesquisas y es quien transfiere esta información; y evalúa la aplicación de soluciones en otro ambiente es decir a su contexto. Se aplicó este criterio plasmando información correcta de las extracciones de diferentes fuentes verídicas, cada una de ellas con referencias claras que permitirán al lector llegar a las fuentes de cada estudio tomado.

Confirmabilidad, este criterio implica que los resultados encontrados dentro de una investigación nos puedan llevar a una conclusión similar o congruente siguiendo la información de otros autores, por ello se debe tener la máxima información en el estudio. Este criterio se aplicó dando información y explicando de manera clara la investigación, demostrando la veracidad de la recopilación de datos.

### **3.8 Método de análisis de información**

El método usado en la presente investigación fue el de triangulación; mediante esta técnica se usó diferentes métodos, datos y fuentes. El método más usado es la matriz de categorización, la cual se divide en categorías y sub categorías las cuales son descritas a continuación:

Se divide en tres categorías

- Los medicamentos farmacéuticos contra el covid-19
- El tratamiento para la remediación ambiental contra el covid-19
- Condiciones de remoción de contaminantes ambientales

Se divide en tres sub categorías

- Antivirales, Antimicrobiano, antibiótico macrólido
- Degradación fotocatalítica, Adsorción, Nanofiltración
- Por el tiempo empleado, Por el pH, Por la cantidad de adsorbente usado, De acuerdo a la temperatura (°C)

### **3.9 Aspectos éticos**

En el desarrollo de la presente investigación se han utilizado y cumplido con conformidad los siguientes aspectos éticos:

Respeto a la autoría: conforme a la norma ISO 690 cada referencia bibliográfica detallada.

Autenticidad: A través del programa turnitin se demuestra la originalidad del contenido del presente estudio.

Respeto del código de ética: respetando y acatando cada paso de la guía de productos observables de la universidad Cesar Vallejo.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al objetivo presentado en el presente estudio de determinar cuáles son los métodos de tratamiento que presentan mayor relevancia para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el Covid-19; se presentan los siguientes resultados:

### 4.1. Análisis de los medicamentos farmacéuticos contra el covid-19 que presentan mayor contaminación ambiental

*Tabla N°3. Medicamentos farmacéuticos contra el covid-19 que presenta mayor contaminación ambiental*

<b>Tipo de medicamento</b>	<b>Tipo de droga</b>	<b>Efecto sobre el medio ambiente</b>	<b>Fuentes</b>
<b>Antibiótico macrólidos</b>	Azitromicina	Potencial bioacumulación	Grabicova K. et al. (2016)
	Azitromicina	Puede comprometer el crecimiento, el desarrollo y la salud de los animales.	Da Luz T. et al., (2021)
	Azitromicina	Acumulación en especies no objetivo (larvas de la mosca caddis)	Vermillion Maier L. y Tjeerdema R. et al., (2018)
	Azitromicina	Inhibición significativa del crecimiento bacteriano y el contenido de clorofila.	González-Pleiter M. et al. (2021)
<b>Antimicrobiano</b>	Cloroquina	-Propiedades potencialmente persistentes y bioacumulativas.  -Buena solubilidad y baja biodegradación.	Gosu Vijayalakshmi et al., (2016)
	Hidroxiclороquina	Efectos tóxicos en organismos no objetivos	Ramesh M. et al., (2018)

<b>Antiparasitario</b>	Ivermectina	-El uso de ivermectina podría suponer un riesgo para los ecosistemas acuáticos locales  -Provocó una gran reducción en la abundancia de nematodos del mar Mediterráneo	Essid Naceur et al., (2020)
	Ivermectina	Osteoporosis en vertebrados	De Vrieze E. et al., (2015)
<b>Antivirales</b>	Remdesivir	Persistencia en el medio ambiente por estabilidad a la fotodegradación	Russo Danilo et al., (2018)
	Favipiravir		
	Antivirales contra el VIH	Mostrar tendencia de baja sorción	AzumaTakashi et al., (2017)
	Antivirales contra el VIH	Efectos tóxicos sobre bacterias, algas, pulgas de agua,	Kumar Amit et al., (2021)
	Antivirales contra el VIH	peces, crustáceos planctónicos	Kumar Manish et al., (2021)
Antivirales contra el VIH	Evidencia de absorción en plantas, que puede inducir efectos hormonales y tóxicos	Akenga Preston et al., (2021)	

*Elaboración propia*

De acuerdo al análisis de los medicamentos farmacéuticos contra el covid-19 que presentan mayor contaminación ambiental, se tiene a las drogas como antibióticos macrólidos, antimicrobiano, antiparasitario y antivirales, de los cuales sus efectos en el medio ambiente llegan desde persistencia en el medio ambiente por estabilidad a

la fotodegradación, suponer un riesgo para los ecosistemas acuáticos locales, hasta comprometer el crecimiento, el desarrollo y la salud de los animales.

Así mismo, el contaminante que más se encuentra estudiado son los antivirales, seguido de los antibióticos macrólidos en 43% y 29% respectivamente.

Es así que, los fármacos ya están presentes en matrices ambientales, especialmente acuáticas, y presentan un potencial incremento en su impacto ambiental; además, de acuerdo al grupo farmacológico se demuestra la persistencia de los fármacos en el medio ambiente y / o efectos tóxicos en la vida; siendo ello corroborado por De Vrieze E. et al., (2015), Essid Naceur et al., (2020), Ramesh M. et al., (2018), González-Pleiter M. et al. (2021), Vermillion Maier L. y Tjeerdema R. et al., (2018) y Da Luz T. et al., (2021).

Además, de acuerdo a los estudios analizados los cuatro tipos de grupos farmacológicos mostraron persistencia en el medio ambiente y, como factor agravante, los fármacos azitromicina, cloroquina e hidroxicloroquina también mostraron potencial de bioacumulación, lo que genera mayor preocupación.

Al igual que ello, estas drogas presentan efectos negativos en el ser humano, siendo ello corroborado por Wang Huan et al., (2021, p.2).

Ello es corroborado por Essid Naceur et al., (2020), quien afirma que el antiparasitario ivermectina provoca una gran reducción en la abundancia de nematodos del mar Mediterráneo, así mismo, el uso de este fármaco podría suponer un riesgo para los ecosistemas acuáticos locales. Por su parte Russo Danilo et al., (2018), señala que los antivirales como remdesivir y favipiravir presenta persistencia en el medio ambiente por estabilidad a la fotodegradación.

Apoyando las afirmaciones anteriores se encuentran Azuma Takashi et al., (2017), Kumar Amit et al., (2021), Kumar Manish et al., (2021) y Akenga Preston et al., (2021) quienes estudiaron a los antivirales contra el VIH y señalan la evidencia de absorción en plantas, que puede inducir efectos hormonales y tóxicos.

**Tabla N°4.** Tecnología de tratamiento más empleadas y su porcentaje de eliminación de acuerdo a los parámetros influyentes

Drogas	Tecnologías de tratamiento	Condiciones operacionales				Detalles de la tecnología empleada	% de remoción	Fuentes
		Concentración	Tiempo	pH	T°			
Azitromicina	Degradación fotocatalítica	30 mg de Ag @ Bi <sub>4</sub> O <sub>5</sub> I <sub>2</sub> / SPION / Calg	90 min de reacción	-	-	-	98,4%	Kumar Amit et al., (2021)
	Degradación fotocatalítica	No indica	90 min	Amplio rango de pH	-	El fotocatalizador es capaz de reducir selectivamente NO <sub>3</sub> - en N <sub>2</sub> con ácido fórmico en un amplio rango de pH, especialmente en condiciones ácidas con ~ 100% de fotorreducción y 97,6% de selectividad de N <sub>2</sub>	100%	Kumar Manish et al., (2021)
	Degradación fotocatalítica	5 mg de ZrO <sub>2</sub> / Ag @ TiO <sub>2</sub>	8 horas de reacción	-	-	Se preparó un nuevo nanocompuesto ternario de nanovarillas de ZrO <sub>2</sub> / Ag @ TiO <sub>2</sub> mediante un método hidrotermal y de fotodeposición simple para la degradación eficiente de AZY bajo luz visible.	90%	Naraginti S. et al., (2019)
	Degradación fotocatalítica	1000 mg de GO @ Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> / ZnO / SnO <sub>2</sub>	120 min	pH 3	20 °C	Se sintetizó grafeno reforzado con nanocompuestos de óxido de hierro / óxido de zinc / óxido de estaño y evaluar su capacidad de degradación	90,06%	Sayadi Mohammad H. et al., (2019)



						fotocatalítica de azitromicina en el medio acuoso.		
	Adsorción	1 g L <sup>-1</sup>	60 min	pH 9	25 °C	Nano diatomita modificada con saponina	99,8%	Davoodi Siavash et al., (2019)
	Adsorción	10 mg L <sup>-1</sup> de adsorbente	30 minutos	pH 6,5	25 °C	Se usó una zeolita tipo FAU	79%	De Sousa D. et al., (2018)
	Nanofiltración	8 bares	120 min	pH 5	25 °C	Membrana de poliamida compuesta	99%	Li Danyan et al., (2020)
<b>Cloroquina hidroxiclороquina</b>	Degradación activada por fotocátalisis	400 mg de compuesto PDINH / MIL-88A (Fe)	30 minutos	-	-	irradiación de luz visible LED de 300 ± 50 mW	95,7%	Yi Xiao H. et al., (2021)
	Oxidación electroquímica	Lámpara UV de mercurio 15 W	300 min	-	-	-Ánodos de diamante dopado con boro (BDD) -Sonicación (electroquímica asistida por ultrasonido)	100%	Bensalah Nasr et al., (2020)
	Fotodegradación	Soluciones de HCQ en agua de manantial, río y mar	50 horas	pH 4	-	Radiación solar simulada (lámpara Xe)	89%	Dabić Dario et al., (2019)

	Biorreactor de membrana	Caudal de permeado 0,02 L min <sup>-1</sup>	20 horas	pH bajo	-	Membrana con <i>E. coli</i> melanizada	98,2%	Lindroos Magnus et al., (2019)
	Oxidación de Electron-Fenton	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> = 60 mA cm <sup>-2</sup> ; O <sub>2</sub> = 80 ml/min	300 min	pH 3	-	Ánodo de diamante dopado con boro (BDD)	100%	Midassi sondos B. et al., (2020)
<b>Ivermectina</b>	Adsorción	100 mg de adsorbente	180 min	pH 3-11	30 °C	Compuesto de biocarbón de caolinita	83,5%	Olu-Owolabi B. et al., (2021)
	Adsorción	adición de sal de 2,0 M	45 min	pH 7	28 °C	Óxido de grafeno-polianilina (GO / PANI) en 700 rpm.	90%	Rezazade h Tooba et al., (2018)
	Degradación fotocatalítica	2 g L <sup>-1</sup> TiO <sub>2</sub>	5 horas	pH 5	30 °C	Lámpara UV Camag	92,1%	Havlíková et al. (2016)
	Tratamiento de ferratos (VI)	Prueba de 3 mg/L de Fe en frasco	Mezcla rápida 2 min + mezcla lenta 20 min	pH 6	30 °C	El tratamiento con ferrato (VI) redujo significativamente la toxicidad de la simvastatina eliminándola parcialmente durante el proceso de tratamiento.	25%	Patibandla Srinath et al., (2018)

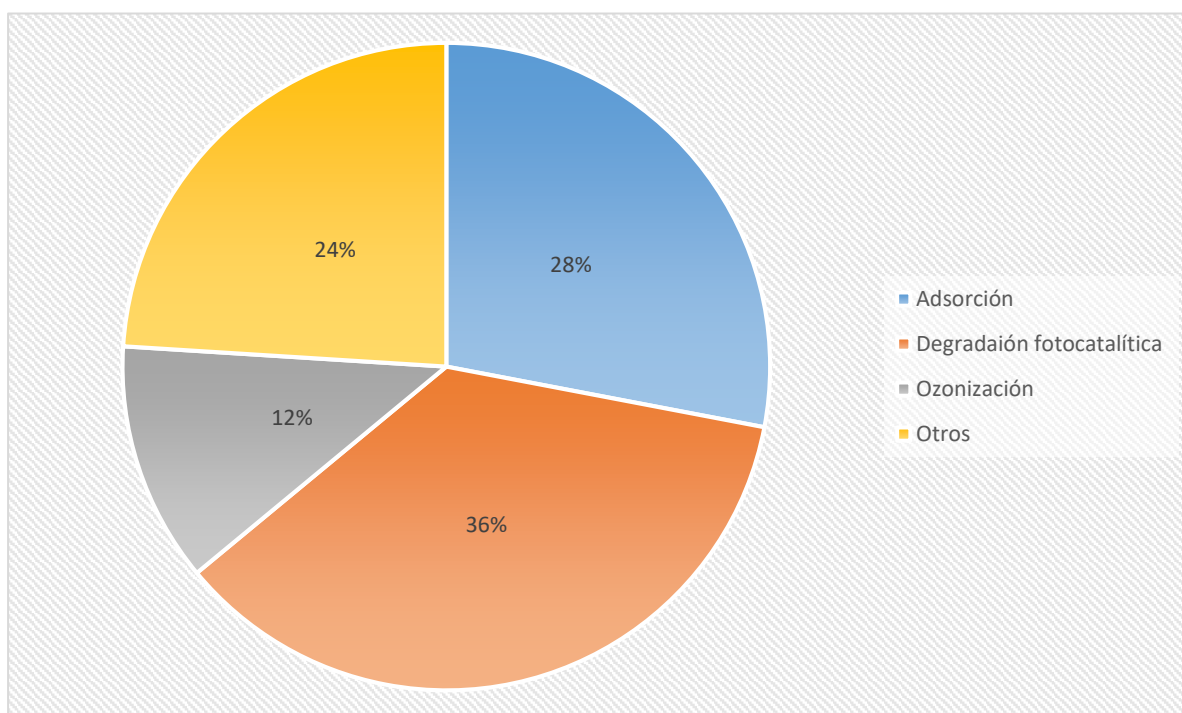
<b>Dexametasona</b>	Fotocatálisis	0,75–2,5 g L <sup>-1</sup> Ag / TiO <sub>2</sub> y 10–20 mg L <sup>-1</sup> H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	240 min	pH 3-11	30 a 80 °C	Irradiación de luz ultravioleta y visible / DXM (5-30 mg L <sup>-1</sup> )	82,3%	Pazoki Maryam P. et al., (2016)
	Adsorción	0,1 - 0,5 g / 50 ml de zeolita modificada con clinoptilolita (CP)	120 min	pH 4-7-9	25 °C	Los experimentos se llevaron a cabo en las condiciones comunes de un sistema discontinuo a temperatura ambiente.	78%	Mohseni S. et al., (2016)
<b>Remdesivir</b>	Degradación fotocatalítica	1 - 10 mg de TiO <sub>2</sub>	140 min	-	28 °C	Lámpara de vapor de mercurio (Hg-UV)	95%	Woche Martin et al., (2016)
	Ozonización catalítica	1,5 g L <sup>-1</sup> de γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mesoporoso dopado con titanio (γ-Ti-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) y 30 mg L <sup>-1</sup> de O <sub>3</sub> gaseoso (ozono)	60 min	-	20 °C	γ-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mesoporoso dopado con titanio (γ-Ti-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) se preparó mediante un método de autoensamblaje inducido por evaporación.	87%	Bing Jishuai et al., (2017)
<b>Favipiravir</b>	Ozonización seguida de carbón activado y filtros biológicos	0,87 ± 0,29 g de O <sub>3</sub>	Tiempo de retención hidráulica 17 ± 3 min	-	-	Ozonización a escala piloto	98%	Knopp Gregor et al., (2016)

<b>Antivirales contra el VIH</b>	Ozonización	Raciones de analito de ozono (1: 0, 10: 1, 5: 1, 2: 1, 1: 1, 1: 2, 1: 5, 1:10)	-	pH 3	28 °C	Se utilizó efluente de EDAR convencional con la adición de 5 mg L <sup>-1</sup> de antiviral	-	Funke Jan et al., (2021)
	Degradación electroquímica	Densidad de corriente de 0,2 mA cm <sup>-2</sup>	10 minutos	-	-	Ánodo Ti / SnO <sub>2</sub> -Sb	97%	Zhou Chengzhi et al., (2019)
	Adsorción	10-30 g L <sup>-1</sup> de perlita expandida no modificada (E-perlita)	250 min	pH 6 a 8	25 °C	Los datos de adsorción se explotaron aplicando los modelos cinéticos de pseudo primer orden, pseudo segundo orden y difusión intrapartícula.	58,5%	Babas H. et al., (2021)
	Adsorción	5 mg L <sup>-1</sup> nanotubos de carbono (CNT)	48 horas	pH 2 - 11	25 °C		90%	Wang Wen Long et al., (2016)

*Elaboración propia*

## 4.2. Clasificación de la tecnología de tratamiento más empleada para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el Covid -19

**Gráfico N°2.** Tecnología de tratamiento más empleada para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el Covid -19



*Elaboración propia*

La tecnología de tratamiento más empleada para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el Covid -19 de acuerdo con el gráfico 2 respecto a la tabla 4, se tiene que es la degradación fotocatalítica, siendo la más empleada con un 36%, seguida de la adsorción con un 28%, y la ozonificación en un 12%.

Ello debido a que, muchos procesos fotocatalíticos se emplean para la degradación efectiva de contaminantes orgánicos y la degradación fotocatalítica de contaminantes mediada por luz ultravioleta es eficaz, pero la utilización de energía es alta en comparación con la luz visible y la fuente de luz natural y son respetuosos con el medio ambiente y consumen menos energía en comparación con las bombillas UV convencionales (Wittlich M. et al., 2016, p.2). Además, se requiere la circulación del agua de refrigeración en el proceso fotocatalítico basado en UV para mantener la temperatura, por lo tanto, el costo operativo también se reduce en los procesos de

tratamiento de aguas residuales basados en LED visibles (Zheng Xiang et al., 2017, p.4).

Apoyando a los resultados presentados se encuentra Kumar Manish et al., (2021), quien señala que los fotocatalizadores de respuesta espectral amplia con una separación de carga y una capacidad de transferencia mejoradas han atraído a los investigadores para diversas aplicaciones fotooxidativas y reductoras.

Así también quienes utilizaron la degradación fotocatalítica como tecnología de tratamiento son Kumar Amit et al., (2021), Kumar Manish et al., (2021), Naraginti S. et al., (2019), Sayadi Mohammad H. et al., (2019), Yi Xiao H. et al., (2021), Dabić Dario et al., (2019), Havlíková et al. (2016), Pazoki Maryam P. et al., (2016) y Woche Martin et al., (2016).

De acuerdo con Woche Martin et al., (2016), la degradación fotocatalítica es de hasta aproximadamente 95 veces más rápido que la fotólisis; por tal razón en su estudio aplicó el potencial de un proceso fotocatalítico de tratamiento de aguas residuales destinado a la degradación del zanamivir utilizando soluciones acuosas de zanamivir y el producto de transformación primario guanidina, que se irradiaron con luz ultravioleta en diversas condiciones en presencia de  $\text{TiO}_2$  como fotocatalizador.

Pero en el estudio de Knopp Gregor et al., (2016), usando la ozonización seguida de carbón activado y filtros biológicos los resultados indican que el postratamiento de aguas residuales ozonizadas con filtración filtros de carbón activado granular (GAC) parece ser más adecuado que los filtros biológicos (BF), debido a la sorción de los productos de transformación (TP) formado al carbón activado.

Pero refutando a los estudios que emplearon la ozonización se encuentra Gago Ferrero P. et al., (2020, p.4), quien señala que la ozonización es una tecnología de tratamiento avanzada que se utiliza cada vez más para la eliminación de microcontaminantes orgánicos de las aguas residuales y el agua potable; sin embargo, la reacción de compuestos orgánicos con ozono también puede resultar en la formación de productos de transformación tóxicos.

De acuerdo con Bensalah Nasr et al., (2020), los procesos electroquímicos avanzados de oxidación (EAOP) se encuentran entre los procesos capaces de

mineralizar una gran cantidad de microcontaminantes orgánicos o transformarlos en sustancias fáciles de biodegradar.

Ello debido a la alta eficacia de los EAOP se correlaciona con la electrogeneración de oxidantes fuertes, incluidos los radicales hidroxilos de la oxidación del agua y persulfatos, cloro activo y otros de la oxidación de los aniones de electrolitos de soporte (Cataldo H. et al., 2018, p.3).

#### **4.3. Identificación de las mejores condiciones en los tratamientos para un mayor porcentaje de remoción de contaminantes ambientales por fármacos contra el covid-19**

Por otro lado, para identificar cuáles son las mejores condiciones en los tratamientos para un mayor porcentaje de remoción de contaminantes ambientales por fármacos contra el covid-19 se tiene respecto a la tabla 4, que, con un pH ácido, una temperatura de 30°C se logran los mejores resultados de la remoción de contaminantes farmacéuticos; mientras que el tiempo se deriva de acuerdo al tipo de tratamiento usado; siendo los métodos de degradación fotocatalítica quienes requieren un mayor tiempo para un mejor resultado.

Ello es corroborado por Pazoki Maryam P. et al., (2016), quien afirma que la fotocatalisis permite lograr una degradación óptima del fármaco dexametasona, usando un tiempo de 240 minutos y obteniendo un porcentaje de eliminación del 82,3%.

Por otro lado, Dabić Dario et al., (2019), señala que el efecto del pH sobre la velocidad de fotodegradación fue sustancial y se observó que la degradación era más rápida a valores de pH más altos; donde las semividas obtenidas oscilaron entre 5,5 min a pH 9 y 23,1 h a pH 4 y los ácidos húmicos, el nitrato y el hierro (III) mejoraron la fotodegradación de HCQ debido a la formación de radicales hidroxilo y su ataque a la molécula de HCQ.

Por su parte; Mohseni S. et al., (2016), demostró que sus resultados revelaron que la máxima eficiencia (78%) ocurrió en pH = 4.

Así mismo los resultados son apoyados por Olu-Owolabi B. et al., (2021), quien afirma en su estudio que el aumento de la temperatura ambiente hasta ~ 30 ° C provocó una mayor adsorción de ivermectina, pero más allá de esta temperatura hubo una caída

drástica en la adsorción; confirmando que la temperatura ideal es de 30°C. Así mismo, los adsorbentes exhibieron picos de adsorción duales, uno en cada una de las regiones de pH ácido y alcalino cuando el pH de la solución cambió de 3 a 11.

Pero en su estudio Babas H. et al., (2021), muestra oposición a las afirmaciones realizadas, debido a que los resultados en su estudio mostraron que se alcanzó la máxima adsorción a una solución a pH 6 a 8.

Refutando lo anteriormente dicho, Pazoki Maryam P. et al., (2016), en los experimentos de fotocatalizador de irradiación de luz visible y UV los llevó a cabo utilizando diferentes rangos de concentración de fotocatalizador de Ag / TiO<sub>2</sub> (0,75-2,5 g L<sup>-1</sup>), DXM inicial (5-30 mg L<sup>-1</sup>) y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (10-20 mg L<sup>-1</sup>); donde también se investigaron los efectos del valor de pH (3-11) y la temperatura (30-80) y se logró descubrir que se presenta una degradación óptima de DXM a una concentración de fotocatalizador de 1.5 g/L, a una temperatura de 35°C y no mayor a este y un pH de 3; resultando en una eficiencia de degradación para la irradiación de luz UV y VIS de 82,3% y 71,5%, respectivamente.



## V. CONCLUSIONES

De acuerdo a la búsqueda de determinar cuáles son los métodos de tratamiento que presentan mayor relevancia para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el Covid-19 se tiene las siguientes conclusiones:

Los medicamentos farmacéuticos contra el covid-19 que presentan mayor contaminación ambiental son los antibióticos macrólidos, antimicrobiano, antiparasitario y antivirales, de los cuales sus efectos en el medio ambiente llegan desde persistencia en el medio ambiente por estabilidad a la fotodegradación, suponer un riesgo para los ecosistemas acuáticos locales, hasta comprometer el crecimiento, el desarrollo y la salud de los animales. Así mismo, el contaminante que más se encuentra estudiado son los antevirales, seguido de los antibióticos macrólidos en 43% y 29% respectivamente.

La tecnología de tratamiento más empleada para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el Covid -19 de acuerdo con el gráfico 2 respecto a la tabla 4, se tiene que es la degradación fotocatalítica, siendo la más empleada con un 36%, seguida de la adsorción con un 28%, y la ozonificación en un 12%. Ello debido a sus ventajas y al ser un tratamiento respetuoso con el medio ambiente, consumiendo menos energía en comparación con otros tipos de tratamientos; así como el presentar un costo operativo reducido.

Las mejores condiciones en los tratamientos para un mayor porcentaje de remoción de contaminantes ambientales por fármacos contra el covid-19 son el pH y la temperatura; donde se demostró que el pH ácido y una temperatura de 30°C permite lograr los mejores resultados de la remoción de contaminantes farmacéuticos; mientras que el tiempo se deriva de acuerdo al tipo de tratamiento usado; siendo los métodos de degradación fotocatalítica quienes requieren un mayor tiempo para un mejor resultado.

## **VI. RECOMENDACIONES**

A lo largo del desarrollo del presente estudio se pudo encontrar con la escasa información de estudios centrados en la importancia de los efectos que los fármacos contra el covid-19, pudiendo realizar las siguientes recomendaciones:

Debido a la escasa información de estudios enfocados en los efectos a la exposición a largo plazo a estos fármacos de las fuentes de agua bebida y los alimentos elaborados con organismos que han acumulado tales residuos de medicamentos, se recomiendan realizar mayores estudios para comprender sus potenciales efectos en el ser humano.

Así mismo, a partir de nuevos estudios que se realicen por los estudios de estos fármacos en campos ambientales después de la pandemia, será de gran utilidad realizar la recopilación de nuevos datos y así determinar una comparación cuantitativa y cualitativa.

También, los compuestos farmacológicos usados contra el covid-19 que se encuentren demostrados que son potencialmente tóxicos, deberán incluirse en una lista de prioridades de calidad del agua en todo el mundo para prepararse para los desafíos futuros.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AKENGA, Preston, et al. Uptake, accumulation and impact of antiretroviral and antiviral pharmaceutical compounds in lettuce. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 766, p. 144499. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144499>
2. ALATTAR, Rand, et al. Tocilizumab for the treatment of severe coronavirus disease 2019. *Journal of medical virology*, 2020, vol. 92, no 10, p. 2042-2049. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jmv.25964>
3. ANTHONY, Simon John, et al. Further evidence for bats as the evolutionary source of Middle East respiratory syndrome coronavirus. *MBio*, 2017, vol. 8, no 2, p. e00373-17. Disponible en: <https://doi.org/10.1128/mBio.00373-17>
4. AZUMA, Takashi, et al. Fate of new three anti-influenza drugs and one prodrug in the water environment. *Chemosphere*, 2017, vol. 169, p. 550-557. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.102>
5. BABAS, H., et al. Equilibrium and kinetic studies for removal of antiviral sofosbuvir from aqueous solution by adsorption on expanded perlite: Experimental, modelling and optimization. *Surfaces and Interfaces*, 2021, vol. 23, p. 100962. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2021.100962>
6. BALAKUMAR, Pitchai; MAUNG-U, Khin; JAGADEESH, Gowraganahalli. Prevalence and prevention of cardiovascular disease and diabetes mellitus. *Pharmacological research*, 2016, vol. 113, p. 600-609. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2016.09.040>
7. BENSALAH, Nasr, et al. Degradation of hydroxychloroquine by electrochemical advanced oxidation processes. *Chemical Engineering Journal*, 2020, vol. 402, p. 126279. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126279>
8. BING, Jishuai; HU, Chun; ZHANG, Lili. Enhanced mineralization of pharmaceuticals by surface oxidation over mesoporous  $\gamma$ -Ti-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> suspension with ozone. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2017, vol. 202, p. 118-126. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.09.019>

9. CATALDO-HERNÁNDEZ, Macarena A., et al. Electrosynthesis of ferrate in a batch reactor at neutral conditions for drinking water applications. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 2018, vol. 96, no 8, p. 1648-1655. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/cjce.23142>
10. CHEN, Xiangping, et al. Occurrence and risk assessment of pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) against COVID-19 in lakes and WWTP-river-estuary system in Wuhan, China. *Science of The Total Environment*, 2021, p. 148352. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148352>
11. CONTRERAS, Ricardo R. COVID-2019: Una revisión de la nueva crisis pandémica. *Revista Digital Novasinerugia*, 2020, vol. 3, no 2, p. 6-29. Disponible en: <https://doi.org/10.37135/ns.01.06.01>
12. COURTIER, Audrey; CADIÈRE, Axelle; ROIG, Benoit. Human pharmaceuticals: why and how to reduce their presence in the environment. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 2019, vol. 15, p. 77-82.
13. DABIĆ, Dario; BABIĆ, Sandra; ŠKORIĆ, Irena. The role of photodegradation in the environmental fate of hydroxychloroquine. *Chemosphere*, 2019, vol. 230, p. 268-277. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.032>
14. DA LUZ, Thiarlen Marinho, et al. Can use of hydroxychloroquine and azithromycin as a treatment of COVID-19 affect aquatic wildlife? A study conducted with neotropical tadpole. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 780, p. 146553. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146553>
15. DAVOODI, Siavash, et al. Adsorptive removal of azithromycin from aqueous solutions using raw and saponin-modified nano diatomite. *Water Science and Technology*, 2019, vol. 80, no 5, p. 939-949. Disponible en: <https://doi.org/10.2166/wst.2019.337>
16. DE SOUSA, Diana Nara Ribeiro, et al. Equilibrium and kinetic studies of the adsorption of antibiotics from aqueous solutions onto powdered zeolites. *Chemosphere*, 2018, vol. 205, p. 137-146. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.085>

17. DE VRIEZE, E., et al. Prednisolone induces osteoporosis-like phenotype in regenerating zebrafish scales. *Osteoporosis International*, 2014, vol. 25, no 2, p. 567-578. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00198-013-2441-3>
18. ESSID, Naceur, et al. Ecotoxic response of nematodes to ivermectin, a potential anti-COVID-19 drug treatment. *Marine Pollution Bulletin*, 2020, vol. 157, p. 111375. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111375>
19. ESTERHUIZEN-LONDT, Maranda; SCHWARTZ, Katrin; PFLUGMACHER, Stephan. Using aquatic fungi for pharmaceutical bioremediation: Uptake of acetaminophen by *Mucor hiemalis* does not result in an enzymatic oxidative stress response. *Fungal biology*, 2016, vol. 120, no 10, p. 1249-1257. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2016.07.009>
20. FU, F.; LIN, L.; XU, E. Functional pretreatments of natural raw materials. En *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction*. Woodhead Publishing, 2017. p. 87-114. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100411-1.00004-2>
21. FUNKE, Jan, et al. Ozonation products of zidovudine and thymidine in oxidative water treatment. *Water research X*, 2021, vol. 11, p. 100090. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2021.100090>
22. GAGO-FERRERO, Pablo, et al. Wide-scope target screening of > 2000 emerging contaminants in wastewater samples with UPLC-Q-ToF-HRMS/MS and smart evaluation of its performance through the validation of 195 selected representative analytes. *Journal of hazardous materials*, 2020, vol. 387, p. 121712. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121712>
23. GONZÁLEZ-PLEITER, Miguel, et al. Microplastics as vectors of the antibiotics azithromycin and clarithromycin: Effects towards freshwater microalgae. *Chemosphere*, 2021, vol. 268, p. 128824. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128824>
24. GORBALENYA, A. E., et al. The species Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nat.*

Microbiol. 5, 536–544. Link: <https://go.nature.com/3cW9qJR>, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41564-020-0695-z>

25. GOSU, Vijayalakshmi, et al. Oxidative degradation of quinoline using nanoscale zero-valent iron supported by granular activated carbon. *Journal of Environmental Engineering*, 2016, vol. 142, no 1, p. 04015047. Disponible en: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)ee.1943-7870.0000981](https://doi.org/10.1061/(asce)ee.1943-7870.0000981)
26. GRABICOVA, Katerina, et al. Presence of pharmaceuticals in benthic fauna living in a small stream affected by effluent from a municipal sewage treatment plant. *Water research*, 2015, vol. 72, p. 145-153. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.09.018>
27. GUI, Miao, et al. Cryo-electron microscopy structures of the SARS-CoV spike glycoprotein reveal a prerequisite conformational state for receptor binding. *Cell research*, 2017, vol. 27, no 1, p. 119-129. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/cr.2016.152>
28. GUIDON, Amanda C.; AMATO, Anthony A. COVID-19 and neuromuscular disorders. *Neurology*, 2020, vol. 94, no 22, p. 959-969. Disponible en: <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000009566>
29. HE, Feng; DENG, Yu; LI, Weina. Coronavirus disease 2019: What we know?. *Journal of medical virology*, 2020, vol. 92, no 7, p. 719-725. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jmv.25766>
30. HOFFMANN, Markus, et al. SARS-CoV-2 cell entry depends on ACE2 and TMPRSS2 and is blocked by a clinically proven protease inhibitor. *cell*, 2020, vol. 181, no 2, p. 271-280. e8. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.02.052>
31. HU, Ben, et al. Discovery of a rich gene pool of bat SARS-related coronaviruses provides new insights into the origin of SARS coronavirus. *PLoS pathogens*, 2017, vol. 13, no 11, p. e1006698. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.ppat.1006698>

32. HUANG, Chaolin, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *The lancet*, 2020, vol. 395, no 10223, p. 497-506. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5)
33. IGLESIAS-OSORES, Sebastian; SAAVEDRA-CAMACHO, Johnny Leandro. Diferencias entre el SARS-CoV-2 y el coronavirus de la Bronquitis Infecciosa Aviar (IBV). *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 2021, vol. 16, no 1, p. 47-58. Disponible en: <https://doi.org/10.21615/cesmvz.16.1.3>
34. IZQUIERDO ALONSO, José L., et al. Clinical characteristics and prognostic factors for icu admission of patients with covid-19: a retrospective study using machine learning and natural language processing. 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1038 / s41565-020-0680-y>
35. KIRCHDOERFER, Robert N., et al. Pre-fusion structure of a human coronavirus spike protein. *Nature*, 2016, vol. 531, no 7592, p. 118-121. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nature17200>
36. KNOPP, Gregor, et al. Elimination of micropollutants and transformation products from a wastewater treatment plant effluent through pilot scale ozonation followed by various activated carbon and biological filters. *Water research*, 2016, vol. 100, p. 580-592. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.04.069>
37. KRAH, Daniel, et al. Micropollutant degradation via extracted native enzymes from activated sludge. *Water research*, 2016, vol. 95, p. 348-360. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.03.037>
38. KUMAR, Amit, et al. Acceleration of photo-reduction and oxidation capabilities of Bi<sub>4</sub>O<sub>5</sub>I<sub>2</sub>/SPION@ calcium alginate by metallic Ag: Wide spectral removal of nitrate and azithromycin. *Chemical Engineering Journal*, 2021, vol. 423, p. 130173. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.130173>
39. KUMAR, Manish, et al. Potential emergence of antiviral-resistant pandemic viruses via environmental drug exposure of animal reservoirs. *Environmental Science & Technology*, 2020, vol. 54, no 14, p. 8503-8505. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03105>

40. KUMAR, Manish, et al. A chronicle of SARS-CoV-2: seasonality, environmental fate, transport, inactivation, and antiviral drug resistance. *Journal of hazardous materials*, 2021, vol. 405, p. 124043. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124043>
41. LAVENTHAL, Naomi T., et al. Ethical decision-making for children with neuromuscular disorders in the COVID-19 crisis. *Neurology*, 2020, vol. 95, no 6, p. 260-265. Disponible en: <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000009936>
42. LI, Danyan, et al. Role of adsorption during nanofiltration of sulfamethoxazole and azithromycin solution. *Separation Science and Technology*, 2021, vol. 56, no 12, p. 1996-2010. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01496395.2020.1806326>
43. LINDAHL, Johanna F.; GRACE, Delia. The consequences of human actions on risks for infectious diseases: a review. *Infection ecology & epidemiology*, 2015, vol. 5, no 1, p. 30048. Disponible en: <https://doi.org/10.3402/iee.v5.30048>
44. LINDROOS, Magnus, et al. Continuous removal of the model pharmaceutical chloroquine from water using melanin-covered *Escherichia coli* in a membrane bioreactor. *Journal of hazardous materials*, 2019, vol. 365, p. 74-80. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.10.081>
45. MAIER, Monica L. Vermillion; TJEERDEMA, Ronald S. Azithromycin sorption and biodegradation in a simulated California river system. *Chemosphere*, 2018, vol. 190, p. 471-480. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.10.008>
46. MARAZZITI, Donatella, et al. Climate change, environment pollution, COVID-19 pandemic and mental health. *Science of The Total Environment*, 2021, p. 145182. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145182>
47. MARTINS, Leila Droprinchinski, et al. How socio-economic and atmospheric variables impact COVID-19 and influenza outbreaks in tropical and subtropical regions of Brazil. *Environmental research*, 2020, vol. 191, p. 110184. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110184>



48. MIDASSI, Sondos; BEDOUI, Ahmed; BENSALAH, Nasr. Efficient degradation of chloroquine drug by electro-Fenton oxidation: Effects of operating conditions and degradation mechanism. *Chemosphere*, 2020, vol. 260, p. 127558. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127558>
49. MIDASSI, Sondos; BEDOUI, Ahmed; BENSALAH, Nasr. Efficient degradation of chloroquine drug by electro-Fenton oxidation: Effects of operating conditions and degradation mechanism. *Chemosphere*, 2020, vol. 260, p. 127558. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127558>
50. MOHSENI, S. N., et al. Removal of dexamethasone from aqueous solutions using modified clinoptilolite zeolite (equilibrium and kinetic). *International journal of environmental science and technology*, 2016, vol. 13, no 9, p. 2261-2268. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13762-016-1045-9>
51. NAGHDI, Mitra, et al. Removal of pharmaceutical compounds in water and wastewater using fungal oxidoreductase enzymes. *Environmental pollution*, 2018, vol. 234, p. 190-213. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.11.060>
52. NANNOU, Christina, et al. Antiviral drugs in aquatic environment and wastewater treatment plants: A review on occurrence, fate, removal and ecotoxicity. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 699, p. 134322. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134322>
53. NARAGINTI, Saraschandra, et al. Visible light degradation of macrolide antibiotic azithromycin by novel ZrO<sub>2</sub>/Ag@ TiO<sub>2</sub> nanorod composite: Transformation pathways and toxicity evaluation. *Process Safety and Environmental Protection*, 2019, vol. 125, p. 39-49. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.02.031>
54. OBERFELD, Blake, et al. SnapShot: covid-19. *Cell*, 2020, vol. 181, no 4, p. 954-954. e1. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.04.013>
55. OLU-OWOLABI, Bamidele I., et al. Utilizing eco-friendly kaolinite-biochar composite adsorbent for removal of ivermectin in aqueous media. *Journal of Environmental Management*, 2021, vol. 279, p. 111619. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111619>

56. PALLESEN, Jesper, et al. Immunogenicity and structures of a rationally designed prefusion MERS-CoV spike antigen. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2017, vol. 114, no 35, p. E7348-E7357. Disponible en: <https://doi.org/10.1073/pnas.1707304114>
57. PAREJA CRUZ, Arturo; LUQUE ESPINO, Julio César. Alternativas terapéuticas farmacológicas para COVID-19. Horizonte Médico (Lima), 2020, vol. 20, no 2. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.24265/horizmed.2020.v20n2.13>
58. PATIBANDLA, Srinath; JIANG, Jia-Qian; SHU, Xinhau. Toxicity assessment of four pharmaceuticals in aquatic environment before and after ferrate (VI) treatment. Journal of environmental chemical engineering, 2018, vol. 6, no 4, p. 3787-3797. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.05.024>
59. PAZOKI, Maryam; PARSA, Mehran; FARHADPOUR, Reza. Removal of the hormones dexamethasone (DXM) by Ag doped on TiO<sub>2</sub> photocatalysis. Journal of environmental chemical engineering, 2016, vol. 4, no 4, p. 4426-4434. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.09.034>
60. PERALTA, Guímel, et al. Enfermedad por coronavirus (COVID-19): la pandemia según la evidencia actual. Innovare: Revista de ciencia y tecnología, 2020, vol. 9, no 1, p. 15-27. Disponible en: <https://doi.org/10.5377/innovare.v9i1.9657>
61. PETRIE, Bruce; BARDEN, Ruth; KASPRZYK-HORDERN, Barbara. A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: current knowledge, understudied areas and recommendations for future monitoring. Water research, 2015, vol. 72, p. 3-27. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.08.053>
62. RAI, Prabhat K. Particulate matter and its size fractionation. Biomagnetic Monitoring of Particulate Matter, 2016, vol. 1, p. 1-13. Disponible en: <https://doi.org/10.1016 / B978-0-12-805135-1.00001-9>
63. RAMESH, Mathan, et al. Evaluation of acute and sublethal effects of chloroquine (C<sub>18</sub>H<sub>26</sub>ClN<sub>3</sub>) on certain enzymological and histopathological biomarker responses of a freshwater fish *Cyprinus carpio*. Toxicology reports,

2018, vol. 5, p. 18-27. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.11.006>


64. REZAZADEH, Tooba; DALALI, Naser; SEHATI, Negar. Investigation of adsorption performance of graphene oxide/polyaniline reinforced hollow fiber membrane for preconcentration of Ivermectin in some environmental samples. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2018, vol. 204, p. 409-415. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.06.040>
65. ROSAL, Roberto, et al. Occurrence of emerging pollutants in urban wastewater and their removal through biological treatment followed by ozonation. *Water research*, 2010, vol. 44, no 2, p. 578-588. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.07.004>
66. RUSSO, Danilo, et al. Photodegradation and ecotoxicology of acyclovir in water under UV254 and UV254/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes. *Water research*, 2017, vol. 122, p. 591-602. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.020>
67. RUSSO, Danilo, et al. Removal of antiretroviral drugs stavudine and zidovudine in water under UV254 and UV254/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes: quantum yields, kinetics and ecotoxicology assessment. *Journal of hazardous materials*, 2018, vol. 349, p. 195-204. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.01.052>
68. SAJADI, Mohammad M., et al. Temperature, humidity, and latitude analysis to estimate potential spread and seasonality of coronavirus disease 2019 (COVID-19). *JAMA network open*, 2020, vol. 3, no 6, p. e2011834-e2011834. Disponible en: <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2020.11834>
69. SANGEETHA, Thangavel; RAJNEESH, Chellappan Praveen; YAN, Wei-Mon. Integration of microbial electrolysis cells with anaerobic digestion to treat beer industry wastewater. En *Integrated Microbial Fuel Cells for Wastewater Treatment*. Butterworth-Heinemann, 2020. p. 313-346. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817493-7.00015-1>
70. SAYADI, Mohammad Hossein; SOBHANI, Sara; SHEKARI, Hossein. Photocatalytic degradation of azithromycin using GO@ Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>/ZnO/SnO<sub>2</sub> nanocomposites. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 232, p. 127-136. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.338>

71. SHARMA, Brij Mohan, et al. Health and ecological risk assessment of emerging contaminants (pharmaceuticals, personal care products, and artificial sweeteners) in surface and groundwater (drinking water) in the Ganges River Basin, India. *Science of the Total Environment*, 2019, vol. 646, p. 1459-1467. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.235>
72. STADLMAIR, Lara F., et al. Enzymes in removal of pharmaceuticals from wastewater: A critical review of challenges, applications and screening methods for their selection. *Chemosphere*, 2018, vol. 205, p. 649-661. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.142>
73. SYSLOVÁ, Eliška, et al. Ivermectin biotransformation and impact on transcriptome in *Arabidopsis thaliana*. *Chemosphere*, 2019, vol. 234, p. 528-535. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.102>
74. SHEN, Maocai, et al. Neglected microplastics pollution in global COVID-19: disposable surgical masks. *Science of The Total Environment*, 2021, p. 148130. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148130>
75. SU, Haixia; XU, Yechun; JIANG, Hualiang. Drug Discovery and Development Targeting the Life Cycle of SARS-CoV-2. *Fundamental Research*, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fmre.2021.01.013>
76. TAHERAN, Mehrdad, et al. Covalent immobilization of laccase onto nanofibrous membrane for degradation of pharmaceutical residues in water. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*, 2017, vol. 5, no 11, p. 10430-10438. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b02465>
77. TORRES, Jacqueline M.; CASEY, Joan A. The centrality of social ties to climate migration and mental health. *BMC public health*, 2017, vol. 17, no 1, p. 1-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12889-017-4508-0>
78. TORTORICI, M. Alejandra; VEESLER, David. Structural insights into coronavirus entry. *Advances in virus research*, 2019, vol. 105, p. 93-116. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/bs.aivir.2019.08.002>

79. WALLS, Alexandra C., et al. Structure, function, and antigenicity of the SARS-CoV-2 spike glycoprotein. *Cell*, 2020, vol. 181, no 2, p. 281-292. e6. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.02.058>
80. WANG, Guohua, et al. Bio-oxidation of a high-sulfur refractory gold concentrate with a two-stage chemical-biological approach. *Hydrometallurgy*, 2020, vol. 197, p. 105421. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2020.105421>
81. WANG, Huan, et al. Ecotoxicological effects, environmental fate and risks of pharmaceutical and personal care products in the water environment: A review. *Science of The Total Environment*, 2021, p. 147819. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147819>
82. WANG, Wen-Long, et al. Adsorption removal of antiviral drug oseltamivir and its metabolite oseltamivir carboxylate by carbon nanotubes: Effects of carbon nanotube properties and media. *Journal of environmental management*, 2015, vol. 162, p. 326-333. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.043>
83. WITTLICH, M., et al. An approximation of occupational lifetime UVR exposure: algorithm for retrospective assessment and current measurements. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*, 2016, vol. 30, p. 27-33. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jdv.13607>
84. WOCHE, Martin, et al. Degradation of the antiviral drug zanamivir in wastewater—The potential of a photocatalytic treatment process. *Chemical Engineering Journal*, 2016, vol. 287, p. 674-679. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.11.047>
85. YI, Xiao-Hong, et al. Photocatalysis-activated SR-AOP over PDINH/MIL-88A (Fe) composites for boosted chloroquine phosphate degradation: Performance, mechanism, pathway and DFT calculations. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2021, vol. 293, p. 120229. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2021.120229>
86. ZHENG, Xiang, et al. Photocatalytic membrane reactors (PMRs) in water treatment: configurations and influencing factors. *Catalysts*, 2017, vol. 7, no 8, p. 224. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/catal7080224>

87. ZHOU, Chengzhi, et al. High-efficiency electrochemical degradation of antiviral drug abacavir using a penetration flux porous Ti/SnO<sub>2</sub>-Sb anode. *Chemosphere*, 2019, vol. 225, p. 304-310. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.03.036>
88. ZHOU, Peng, et al. A pneumonia outbreak associated with a new coronavirus of probable bat origin. *nature*, 2020, vol. 579, no 7798, p. 270-273. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2012-7>

## ANEXOS N° 1:

		<b>FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO</b>	
<b>DATOS DEL AUTOR:</b> Bayona Pozo Channy Wilson Elias & Limascca Rivera Cleiber			
<b>PAGINAS UTILIZADAS</b> ScienceDirect , Redalyc y Scielo	<b>AÑO DE PUBLICACION</b> 2022	<b>LUGAR DE PUBLICACION</b> Lima - Perú	
<b>TIPO DE INVESTIGACION:</b> Tratamiento y Gestión de los Residuos			
<b>CÓDIGO:</b>			
<b>PALABRAS CLAVES:</b> Method, environmental, remediation, drugs, covid-19			
<b>MEDICAMENTOS FARMACEUTICOS CONTRA EL COVID-19</b> Antibióticos macrólidos, antimicrobiano, antiparasitario y antivirales			
<b>TRATAMIENTOS DE REMEDIACION POR CONTAMINACION</b> Degradación fotocatalítica, seguida de la adsorción y la ozonificación.			
<b>PARAMETROS REMOCION DE CONTAMINANTES AMBIENTALES</b>		El pH y la temperatura; donde se demostró que el pH ácido y una temperatura de 30°C permite lograr los mejores resultados de la remoción de contaminantes farmacéuticos	
<b>RESULTADOS:</b> De acuerdo a la búsqueda de determinar cuáles son los métodos de tratamiento que presentan mayor relevancia para la remediación ambiental por contaminación de fármacos contra el Covid-19 : Antibióticos macrólidos, antimicrobiano, antiparasitario y antivirales mediante Degradación fotocatalítica, seguida de la adsorción y la ozonificación con parámetros pH ácidos a temperatura de 30°C.			
<b>CONCLUSIONES:</b> Los medicamentos farmacéuticos contra el covid-19 que presentan mayor contaminación ambiental son los antibióticos macrólidos, antimicrobiano, antiparasitario y antivirales.			