



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Tratamiento hídrico con tecnología de plasma frío para la
remediación del agua contaminada: Revisión sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Ayala Pineda, Rocio (ORCID: 0000-0002-0619-6599)

ASESOR:

Mgtr. Reyna Mandujano, Samuel Carlos (ORCID: 0000-0002-0750-2877)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

A la memoria de Paulina Pineda Palomino mi madre, que ha sabido formarme con buenos sentimientos, hábitos y valores lo cual me ha ayudado a seguir adelante en momentos difíciles.

A mi padre por su amor, su comprensión, apoyo, trabajo y sacrificio en todos estos años.

Con amor a mi hijo Gael K, quien es mi inspiración y motivo para esforzarme día a día, a mi esposo por su apoyo incondicional. Mis hermanos Nancy, Marvin y Kenyi por su comprensión, estímulo constante y su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por un día más de vida y por permitirme disfrutar de mi familia.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que me apoyaron y creyeron en la realización de esta tesis.

A la Universidad César Vallejo y a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por su acogida y apoyo para obtener el título profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Índice de contenidos.....	v
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	v
Índice de gráficos.....	v
Índice de abreviaturas.....	vi
Resumen.....	v
Abstract.....	vii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	16
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	16
3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización.....	16
3.3. Escenario de estudio.....	17
3.4. Participantes.....	17
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	17
3.6. Procedimiento.....	18
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.....	30
V. RECOMENDACIONES.....	31

REFERENCIAS.....	32
ANEXOS.....	

ÍNDICE DE TABLAS

- Tabla N°1: Productos químicos y contaminantes en las aguas subterráneas*
Tabla N°2: Contaminantes orgánicos en el agua y sus efectos
Tabla N°3: Contaminantes microbiológicos presentes en el agua y sus efectos en la salud
Tabla N°4: Tratamientos del agua mediante plasma frío
Tabla N°5: Matriz apriorística
Tabla N°6: Tecnología de plasma frío más usada
Tabla N°7: Efectividad de la tecnología de plasma frío
Tabla N°8: Efecto catalítico potenciador en la eliminación de contaminantes de agua

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura N°1: Transporte de sustancias químicas dentro de un ecosistema*
Figura N°2: Descontaminación del agua mediante plasma no térmico

ÍNDICE DE GRÁFICOS

- Gráfico N° 1: Procedimiento de selección de artículos*

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- OMS:** Organización Mundial de la Salud
AOP: Procesos de oxidación avanzada
NTP: Tratamiento con plasma no térmico
DBD: Descarga de barrera dieléctrica
MPB: Reactor de burbujas de microplasma
EEO: Energía eléctrica por orden

RESUMEN

Esta investigación presentó como objetivo analizar las tecnologías de plasma frío para el tratamiento de remediación del agua contaminada, en el cual como parte del proceso de selección de investigaciones actualizadas se recolectaron 93 literaturas quedando seleccionadas al estudio únicamente 26, y empleando una metodología aplicada de diseño biográfico, se obtuvieron los siguientes puntos.

La tecnología de plasma frío más usada para la remediación del agua contaminada son los dispositivos de descarga de barrera dieléctrica (DBD), presentando porcentajes de eficiencia del >99.9% y 100%, en tiempos muy cortos de 15 a 20 min. La efectividad de la tecnología de plasma frío como tratamiento hídrico para la remediación del agua contaminada ha sido demostrada con la mayor degradación en 4 de 5 tipos de contaminantes presentes en agua, donde el porcentaje fue del 90 al 100% para los contaminantes clasificados en el grupo de tintes o colorantes, los antibióticos presentaron una remoción también del 90 al 100%, al igual que los pesticidas, mientras que los productos farmacéuticos presentaron una degradación intermedia, donde el promedio es del 60 al 70%. El impacto de la aplicación de plasma frío adicionado con catalizadores presentó un aumento significativo en el porcentaje de remoción de todos los estudios que aplicaron catalizadores para eliminar contaminantes del medio hídrico; siendo los catalizadores más empleados el TiO_2 , CeO_2 y los derivados del carbono como el grafeno, siendo confirmado por 11 de 26 de los investigadores; obteniendo porcentajes de remoción mayores al 90%.

Palabras clave: tratamiento del agua, plasma frío, descontaminación emergente, plasma no térmico, remediación, contaminación del agua.

ABSTRACT

The objective of this research was to analyze cold plasma technologies for the treatment of contaminated water remediation. As part of the selection process of updated research, 93 literatures were collected and only 26 were selected for the study, and using an applied methodology of biographic design, the following points were obtained.

The most widely used cold plasma technology for the remediation of contaminated water are dielectric barrier discharge devices (DBD), presenting efficiency percentages of >99.9% and 100%, in very short times of 15 to 20 min. The effectiveness of cold plasma technology as a water treatment for the remediation of contaminated water has been demonstrated with the highest degradation in 4 out of 5 types of contaminants present in water, where the percentage was 90 to 100% for contaminants classified in the group of dyes or colorants, antibiotics also presented a removal of 90 to 100%, as well as pesticides, while pharmaceuticals presented an intermediate degradation, where the average is 60 to 70%. The impact of the application of cold plasma added with catalysts showed a significant increase in the percentage of removal of all the studies that applied catalysts to eliminate contaminants from the water environment; the most used catalysts were TIO₂, CeO₂ and carbon derivatives such as graphene, being confirmed by 11 out of 26 of the researchers, obtaining removal percentages higher than 90%.

Keywords: water treatment, cold plasma, emergent decontamination, non-thermal plasma, remediation, water pollution.

I. INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la sociedad y la naturaleza, sin embargo, en todo el mundo, los sistemas hídricos están sometidos a estrés por falta de agua (sequías), por exceso de agua (inundaciones) o por contaminación (Strokal M. et al., 2020, p.2). La contaminación del agua está asociada al cambio global y los factores más importantes son el crecimiento de la población, la producción de alimentos, el desarrollo económico y la urbanización (Gavahian M. et al., 2021, p.2).

La urbanización es una fuente importante de muchos contaminantes del agua, entre ellos químicos emergentes, como los plásticos y los antibióticos (Xiao Jinjin et al., 2019, p.2). Así mismo, la presencia de medicamentos de baja calidad, toxinas biológicas y compuestos químicos en el agua o aditivos prohibidos en los alimentos provocan problemas irreversibles en la salud humana (Sohrabi H. et al., 2021, p.5).

Es decir, estos contaminantes del agua perturban el ecosistema acuático, reducen la seguridad alimentaria y la seguridad, por ejemplo, mediante la restricción de organismos acuáticos para uso alimentario en lagos y fiordos contaminados, o se transfieren a la agricultura a través del riego o la aplicación de biosólidos de aguas residuales (Eggen T. y Vogelsang C., 2016, p.2).

Además, la intensa presencia de sustancias tóxicas en el agua potable y los vertederos causada por la creciente industrialización y el uso extensivo de productos químicos, convierte las aguas residuales y el tratamiento del medio hídrico en una preocupación urgente y desafiante de las sociedades (Dai Lichun et al., 2021, p.1). Debido a que la contaminación del agua supone una amenaza para la sociedad y la naturaleza (Vilckers N., 2017, p.10).

Además, el dramático cambio climático y la intensificación de las actividades antropogénicas durante los últimos 30 años han ejercido múltiples presiones sobre el medio acuático de los lagos, lo que ha resultado en concentraciones elevadas de nutrientes en los principales lagos de agua dulce de los países de Latinoamérica (Wu Yue et al., 2021, p.1).

El control de la contaminación del agua se ha convertido en una preocupación mundial debido a la contaminación antropogénica imperante en el medio acuático (Hu

Qing Z. et al, 2017, p.2). El desarrollo de materiales de alto rendimiento y rentables es crucial para el control de la contaminación del agua (Lu Qian et al., 2021, p.3).

Si bien es cierto, las eliminaciones de contaminantes del agua residual en las plantas de tratamiento modernas a menudo son incompletas, particularmente con referencia a compuestos orgánicos complejos (Khan Muhammad S. et al., 2020, p.2). Teniendo en cuenta su compatibilidad medioambiental, la alta eliminación de contaminantes y la alta eficiencia energética del proceso, el plasma frío se considera un método de remediación prometedor (Lazarevic P. et al., 2016, p.4).

El plasma frío es una tecnología de descontaminación emergente, que se está explorando cada vez más para la eliminación de residuos de agroquímicos y pesticidas en los alimentos y el agua (Feizollahi E. et al., 2021, p.2). En algunos casos, ha salido a la luz una degradación rápida y completa de los residuos de plaguicidas (Bohme Franziska et al., 2018, p.3).

Debido a la realidad lo mencionado anteriormente se plantea el siguiente problema general: ¿Cuáles son las tecnologías de plasma frío para el tratamiento de remediación del agua contaminada?, y como problemas específicos:

PE1: ¿Cuál es la tecnología de plasma frío más usada para la remediación del agua contaminada?

PE2: ¿Cuál es la efectividad de la tecnología de plasma frío como tratamiento hídrico para la remediación del agua contaminada?

PE3: ¿Cuál es el impacto de la aplicación de plasma frío adicionado con catalizadores en la remediación de agua?

El objetivo general del estudio es: Analizar las tecnologías de plasma frío para el tratamiento de remediación del agua contaminada, y los objetivos específicos son los siguientes:

OE1: Determinar la tecnología de plasma frío más usada para la remediación del agua contaminada

OE2: Identificar cual es la efectividad de la tecnología de plasma frío como tratamiento hídrico para la remediación del agua contaminada

OE3: Clasificar el impacto de la aplicación de plasma frío adicionado con catalizadores en la remediación de agua

Este informe de investigación presenta una justificación teórica y social, debido a que se va a compilar estudios recientes para su posterior análisis y aplicación en la búsqueda de la eficiencia de la tecnología de plasma frío en la remediación del agua contaminada. Esto es debido a que actualmente se presenta una amplia problemática por la contaminación del medio hídrico y este al ser un recurso esencial en los seres vivos, requiere de nuevas tecnologías de tratamientos eficientes. Por tal motivo, con esta revisión sistemática para determinar los factores que influyen en la eficiencia del plasma y las estrategias para el aumento, se pretende contribuir con la sociedad y un aporte literario para las investigaciones futuras.

II. MARCO TEÓRICO

Con el desarrollo de la economía social y la aceleración de la urbanización, el sistema hídrico ambiental es el lugar principal para la supervivencia humana y el desarrollo social económico como la arteria más básica para el desarrollo de las industrias (Wang Yubao et al., 2021, p.2).

El agua es fundamental para la mayoría de los procesos naturales; este se meteoriza, luego transporta sedimentos y solutos a lagos y océanos, dando forma al paisaje (Zhang ha et al., 2021, P.1). La parte terrestre del ciclo del agua de la Tierra es importante para transportar carbono desde los continentes al océano (Al Bahrani H. et al., 2021, p.2).

La alta capacidad del agua para almacenar energía térmica y la gran cantidad de calor necesaria para cambiar entre formas sólidas, líquidas y de vapor de agua influyen fuertemente en el balance energético global (Kumar Vinod et al., 2017, p.1). La distribución del agua atmosférica y su regulación por procesos oceánicos y de la superficie terrestre la convierten en un aspecto central del clima; resumiendo que, la vida depende del agua (Sarkar B. et al., 2021, p.3).

En las regiones áridas y semiáridas, la distribución justa y el uso racional del agua están considerados como desafíos sociales importantes que afectan las relaciones entre estados, naciones, ciudades y usuarios individuales (Richter Brian D. et al., 2018, p. 1). Como recurso global, el agua parece abundante, a nivel local y regional, a menudo se da por sentado; sin embargo, el siglo XX ha sido testigo de un tremendo crecimiento en el uso del agua, lo que ha tenido como resultado límites tanto en su disponibilidad, debido a la explotación humana, como en su calidad, debido a la contaminación (Qu Liyin et al., 2018, p.2).

La contaminación del agua es un problema mundial que no respeta las fronteras nacionales y aunque se espera razonablemente que el agua potable contenga al menos pequeñas cantidades de algunos contaminantes, algunos contaminantes del agua potable pueden ser dañinos si se consumen en ciertos niveles en el agua potable, mientras que otros pueden ser inofensivos (Guo R., 2018, p. 236).

La contaminación del agua es la presencia de componentes o factores químicos, físicos o biológicos que producen una condición de deterioro de un cuerpo de agua

dado con respecto a algún uso beneficioso (Kumar Vinod et al., 2018, p.1). El nivel de contaminación necesario para deteriorar un cuerpo de agua depende en gran medida del tipo de cuerpo de agua, su ubicación y los tipos de usos beneficiosos que admite (Kumar Vinod et al., 2020, p.2). Un agua considerada no apta para beber por los humanos puede ser adecuada para otros usos, como hábitat, riego o recreación (Schweitzer L. y noblet J., 2018, p. 261).

En general, los contaminantes del agua potable se clasifican en cuatro categorías como se describe por Brandt M. y Johnson K., (2017, p.47):

I. Los contaminantes físicos afectan principalmente la apariencia física y otras propiedades del agua. Ejemplos de contaminantes físicos son sedimentos o material orgánico suspendido en el agua de lagos, ríos y arroyos debido a la erosión del suelo.

II. Los contaminantes químicos están compuestos por diferentes elementos. Estos contaminantes pueden ser artificiales o naturales. Los ejemplos de contaminantes químicos incluyen nitrógeno, lejía, sales, pesticidas, metales, toxinas producidas por bacterias y drogas humanas o animales.

III. Los contaminantes biológicos son organismos que están presentes en el agua. También se les conoce como microbios o contaminantes microbiológicos. Los ejemplos de contaminantes biológicos o microbianos incluyen bacterias, virus, protozoos y parásitos.

IV. Los contaminantes radiológicos son elementos químicos con un número desequilibrado de protones y neutrones que dan como resultado átomos inestables que pueden emitir radiación ionizante. Los ejemplos de contaminantes radiológicos incluyen cesio, plutonio y uranio.

Así mismo, los productos químicos y otros contaminantes en las aguas subterráneas y el efecto que presentan sobre la salud se enumeran en la Tabla N°1.

Tabla N°1: Productos químicos y contaminantes en las aguas subterráneas

Contaminante	Efectos potenciales sobre la salud y otros
Aluminio	Puede precipitarse del agua después del tratamiento, provocando un aumento de la turbidez o decoloración del agua.
Antimonio	Disminuye la longevidad, altera los niveles sanguíneos de glucosa y colesterol en animales de laboratorio expuestos a altos niveles durante su vida.
Arsénico	Provoca toxicidad aguda y crónica, daño hepático y renal; Disminuye la hemoglobina en sangre. Carcinógeno.

Bario	Puede causar una variedad de efectos cardíacos, gastrointestinales y neuromusculares. Asociado con hipertensión y cardiotoxicidad en animales.
Berilio	Provoca toxicidad aguda y crónica; puede dañar los pulmones y los huesos. Posible carcinógeno.
Cadmio	Reemplaza bioquímicamente al zinc en el cuerpo y causa presión arterial alta, daño hepático y renal y anemia. Destruye el tejido testicular y los glóbulos rojos. Tóxico para la biota acuática.
Cloruro	Deterioro los equipos de plomería, calentadores de agua y obras hidráulicas municipales a niveles altos. Por encima del nivel de contaminante máximo secundario, el sabor se vuelve notable.
Cromo	El cromo III es un elemento nutricionalmente esencial. El cromo VI es mucho más tóxico que el cromo III y causa daño hepático y renal, hemorragia interna, daño respiratorio, dermatitis y úlceras en la piel en altas concentraciones.
Cobre	Puede causar malestar estomacal e intestinal, daño hepático y renal, anemia en dosis altas. Imparte un sabor adverso y una mancha significativa a la ropa y los accesorios. Oligoelemento esencial pero tóxico para plantas y algas en niveles moderados.
Cianuro	La intoxicación es el resultado de daños en el bazo, el cerebro y el hígado.
Sólidos disueltos	Puede influir en la aceptabilidad del agua en general. Puede ser indicativo de la presencia de concentraciones excesivas de sustancias específicas no incluidas en la Ley para beber agua segura, lo que haría que el agua sea objetable. Las altas concentraciones de sólidos disueltos acortan la vida útil de los calentadores de agua.
Fluoruro	Disminuye la incidencia de caries, pero los niveles altos pueden manchar o manchar los dientes. Provoca un trastorno óseo incapacitante (calcificación de los huesos y las articulaciones) a niveles muy altos.
Dureza	Disminuye la formación de espuma del jabón y aumenta la formación de incrustaciones en calentadores de agua y calderas de baja presión a niveles altos.
Planchar	Imparte un sabor amargo astringente al agua y un color marrón a la ropa lavada y los accesorios de plomería.
Dirigir	Afecta la química de los glóbulos rojos; retrasa el desarrollo físico y mental normal en bebés y niños pequeños. Provoca ligeros déficits en la capacidad de atención, audición y aprendizaje de los niños. Puede causar un ligero aumento de la presión arterial en algunos adultos. Carcinógeno probable.
Manganeso	Provoca daños estéticos y económicos e imparte manchas marrones a la ropa. Afecta el sabor del agua y provoca manchas de color marrón oscuro o negro en los accesorios de plomería. Relativamente no tóxico para los animales pero tóxico para las plantas en niveles altos.
Mercurio	Provoca toxicidad aguda y crónica. Se dirige a los riñones y puede causar trastornos del sistema nervioso.
Níquel	Daña el corazón y el hígado de animales de laboratorio expuestos a grandes cantidades durante su vida.
Nitrato (como nitrógeno)	La toxicidad resulta de la descomposición natural del nitrato en nitrito del cuerpo. Provoca la "enfermedad del bebé azul" o metahemoglobinemia, que amenaza la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre.
Nitrito (nitrato / nitrito combinado)	La toxicidad resulta de la descomposición natural del nitrato en nitrito del cuerpo. Provoca la "enfermedad del bebé azul" o metahemoglobinemia, que amenaza la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre.
Selenio	Provoca efectos tóxicos agudos y crónicos en animales - "tambaleo ciego" en el ganado. Elemento nutricionalmente esencial en dosis bajas pero tóxico en dosis altas.
Plata	Puede causar argiria, una coloración gris azulada de la piel, las membranas mucosas, los ojos y los órganos en humanos y animales con exposición crónica.
Sodio	Puede ser un factor de riesgo para la salud de las personas con una dieta baja en sodio.
Sulfato	Forma escamas duras en calderas e intercambiadores de calor; puede cambiar el sabor del agua y tiene un efecto laxante en dosis altas.

Talio	Daña los riñones, el hígado, el cerebro y los intestinos en animales de laboratorio cuando se administra en dosis altas durante su vida.
Zinc	Ayuda en la cicatrización de heridas. No causa efectos nocivos para la salud excepto en dosis muy altas. Imparte un sabor indeseable al agua. Tóxico para las plantas en niveles elevados.

Fuente: Kafle B., 2020

De igual forma, se tiene a los contaminantes orgánicos y a los contaminantes microbiológicos presentes en los sistemas hídricos (Ver tabla 2 y 3).

Tabla N°2: Contaminantes orgánicos en el agua y sus efectos

Contaminante	Efectos potenciales sobre la salud y otros
Compuestos orgánicos volátiles	Puede causar cáncer y daño hepático, anemia, trastornos gastrointestinales, irritación de la piel, visión borrosa, agotamiento, pérdida de peso, daño al sistema nervioso e irritación del tracto respiratorio.
Plaguicidas	Provoca intoxicación, dolores de cabeza, mareos, alteraciones gastrointestinales, entumecimiento, debilidad y cáncer. Destruye el sistema nervioso, la tiroides, el sistema reproductivo, el hígado y los riñones.
Plastificantes, disolventes clorados, venzo, pireno y dioxinas	Causa cáncer. Daña los sistemas nervioso y reproductivo, riñón, estómago e hígado.

Fuente: Ameta S.C., 2018

Tabla N°3: Contaminantes microbiológicos presentes en el agua y sus efectos en la salud

Contaminante	Efectos potenciales sobre la salud y otros
Bacterias coliformes	Las bacterias, los virus y los parásitos pueden causar polio, cólera, fiebre tifoidea, disentería y hepatitis infecciosa.

Fuente: Ashbolt Nicholas J., 2016

En efecto, la contaminación del agua destruye importantes fuentes de alimentos y contamina el agua potable con sustancias químicas que pueden causar daños inmediatos y a largo plazo a la salud humana; la contaminación del agua también a menudo daña gravemente los ecosistemas acuáticos (Saha P. y Biswajit A., 2019, p.3). Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), aproximadamente el 3,1 % de todas las muertes y alrededor del 3,7 % de los años de vida ajustados por discapacidad en todo el mundo están asociados a la contaminación del agua (Pankaj S. y Keener K., 2017, p.1).

Los pesticidas, herbicidas, productos derivados del petróleo, metales pesados (como mercurio, plomo y zinc), detergentes y desechos industriales pueden matar los

organismos acuáticos o hacer que el ambiente sea tan inhóspito que las especies ya no pueden prosperar (Yin Kun et al., 2019, p.4). Por ejemplo, la contaminación del agua es una amenaza para el 90% de los peces y mejillones de agua dulce en peligro de extinción en los EE. UU (Jahan S. y Strezov V., 2017, p.9).

A diferencia de los vertederos terrestres, cuyos efectos son principalmente locales, los desechos tóxicos de los medios acuáticos se difunden en una amplia zona (Mareddy A. R., 2017, p.218). Muchos ambientes acuáticos son naturalmente bajos en minerales esenciales, como nitratos y fosfatos, y las especies acuáticas se han adaptado a la escasez natural de minerales al desarrollar la capacidad de procesar grandes volúmenes de agua y concentrar estos minerales (Rupakheti D., 2017, p. 960).

Es así que, cuando estas especies procesan agua contaminada, concentran sustancias químicas tóxicas junto con los minerales esenciales, que eventualmente pueden envenenar la planta o el animal (Edebali S. et al., 2018, p.4). Las especies que se alimentan de estas especies acuáticas ingieren estas altas concentraciones de sustancias químicas tóxicas (Canter L., 2020, p. 12).

Las causas más comunes de la contaminación del agua se dan de diversas formas, por ejemplo, los minerales esenciales que son beneficiosos para la vida vegetal y animal pueden convertirse en contaminantes dañinos en niveles más altos (Deletic A. y Wang H., 2019, p.3). Las aguas residuales humanas, los fertilizantes agrícolas, los detergentes y los procesos industriales a menudo liberan grandes cantidades de nitratos y fosfatos en los sistemas acuáticos, lo que provoca la eutrofización cultural (Harikishore K., 2017, p.4).

Con la industrialización y la urbanización, la contaminación del agua se ha convertido en un reto alarmante (Some Sudip et al., 2021, p.1). La mala gestión del agua contaminada está asociada a varios desequilibrios ecológicos y enfermedades transmitidas por el agua (Rahman K. et al., 2021, p.2). Por un lado, más de 748 millones de personas en todo el mundo no tienen acceso a agua potable pura y, por otro, se prevé un aumento del 400 % de las necesidades de agua para aplicaciones de fabricación industrial de aquí a 2050 (Xu Jing et al., 2021, p.801).

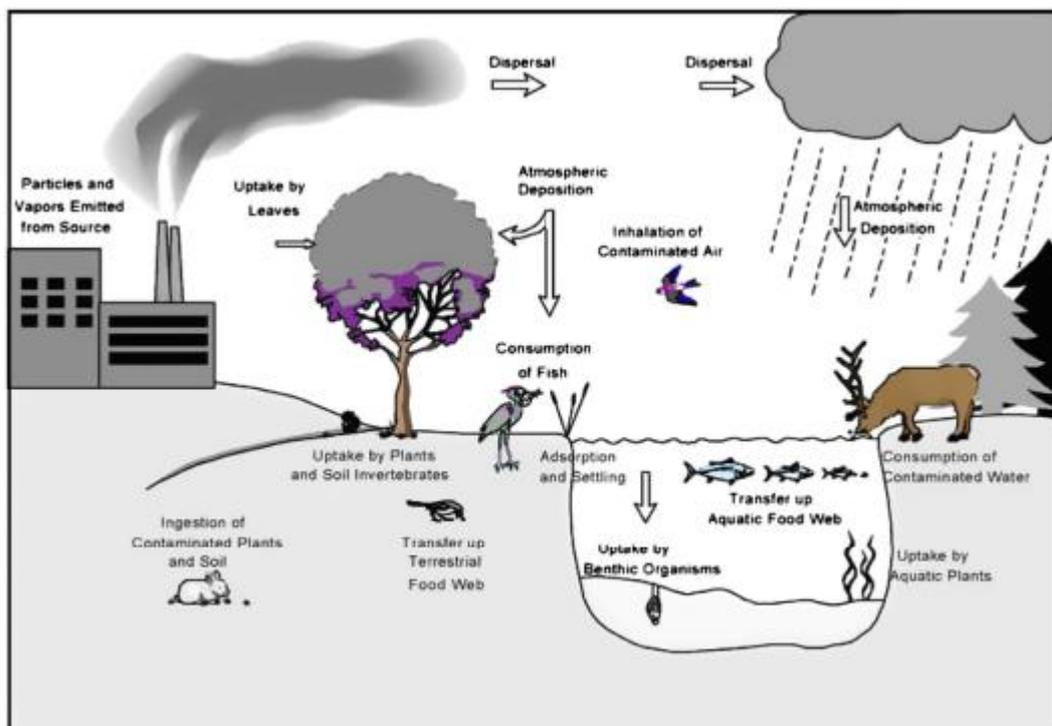
También, los seres humanos liberan tanto nitrato al medio ambiente como todos los procesos naturales, y se espera que este aporte aumente a la par con el aumento de

la población humana (Sharma Vishal et al., 2021, p.2). Incluso pequeñas cantidades de estos nutrientes pueden estimular el crecimiento de plantas y animales, y altas concentraciones a menudo resultan en espesas floraciones de algas en la superficie de estanques, lagos y áreas costeras; así mismo, los ríos, lagos y océanos se utilizan como alcantarillas abiertas para desechos industriales y residenciales (Pudasainee D. y Kurian V., 2020, p.21).

La generación de los compuestos orgánicos en gran medida, sintéticos por causas antropogénicas incluyen pesticidas, herbicidas, numerosos productos químicos industriales y compuestos derivados de la producción de energía y otros procesos de combustión (Bagbi Y. et al., 2019, p.8).

Además, la causa de la contaminación del sistema hídricos se demuestra mediante los fundamentos de los procesos de destino y transporte; donde se demuestra cómo se transportan las sustancias químicas tanto a nivel local como global en el aire, el agua suelo, sedimentos y biota; y cómo las sustancias químicas se descomponen y eliminan finalmente (HedKooi Merel et al., 2018, p.1).

Figura N°1: Transporte de sustancias químicas dentro de un ecosistema



Fuente: HedKooi Merel et al., 2018

Como se muestra en la figura 1, los contaminantes como sustancias químicas generados por actividades antropogénicas se transportan dentro de un ecosistema,

por la liberación desde una fuente (en este caso, una chimenea de una fábrica) y se distribuyen por el medio ambiente y las sustancias químicas se mueven entre el aire, el agua, el suelo los sedimentos y la biota.

Ante la problemática se expande una búsqueda de soluciones mediante técnicas eficientes para la remediación del agua contaminada, ante ello, en el último siglo han surgido varias técnicas de descontaminación del agua (Lin Siyi et al., 2021, p.2). Los procesos convencionales, como el tratamiento con lodos activados, la adsorción, la separación por membranas, los tratamientos biológicos y la precipitación química, se han utilizado ampliamente en la industria (Gutierrez U. et al., 2021, p.3).

Por lo general, el tratamiento del agua implica un proceso de varias etapas que requiere mucho tiempo, pero los procesos de oxidación avanzada (AOP), como la fotocatalisis, la ozonización, la sonolisis, los tratamientos electroquímicos, los procesos no térmicos y los procesos Fenton y foto-Fenton, son ejemplos de enfoques avanzados emergentes para la descontaminación del agua (Wang Hongran et al., 2021, p.2).

Los AOP han cobrado un gran interés en la investigación debido a su eficacia para descomponer compuestos complejos y no biodegradables (Chaturvedi S. et al., 2021, p.2). Idealmente, estos procesos implican la generación de radicales oxidativos mediante la introducción de energía eléctrica, de radiación y/o química en la zona de reacción, lo que resulta en la conversión de compuestos químicos complejos en ácidos orgánicos más pequeños (Titchou Fatima E. et al., 2021, p.1).

Entre ellos, el tratamiento con plasma no térmico (NTP) representa un proceso de descontaminación del agua no térmico que implica la producción de diferentes tipos de especies reactivas que tienen un alto potencial de oxidación y, por tanto, dan lugar a una descomposición eficaz de los contaminantes orgánicos complejos (Pankaj Shashi K. et al., 2018, p.1).

Las técnicas de tratamiento de agua son un aspecto integral de una variedad de aplicaciones que cubren la agricultura, el medio ambiente, la salud y sus interfaces y en los últimos años, entre los numerosos enfoques involucrados, el tratamiento con plasma no térmico (NTP) ha ganado un enorme interés en la investigación para la eliminación de los contaminantes en el agua (Coutinho Nathakia M. et al., 2018, p.7).

Este proceso es una ruta eficaz para aumentar la biodegradabilidad de los contaminantes recalcitrantes (Ojha Shikha et al., 2021, p.1).

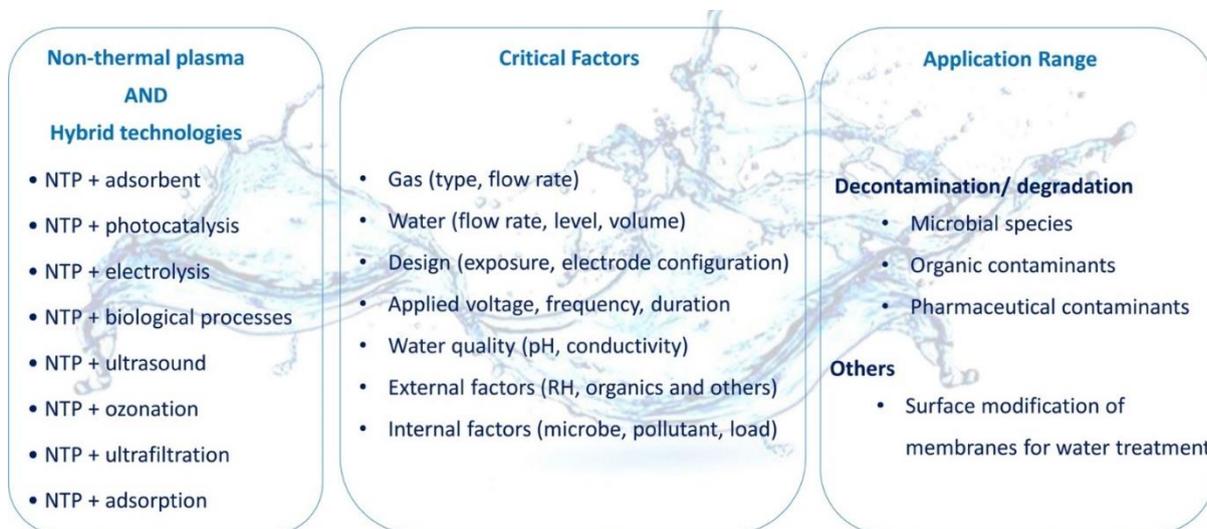
Además, la esterilización basada en la NTP ha demostrado la eficacia del proceso, funciona a una temperatura más baja (temperatura ambiente) y requiere menos tiempo en comparación con sus homólogos de esterilización térmica (Chen Dongjie et al., 2019, p.1).

Además, no produce ningún residuo tóxico y no requiere la adición de productos químicos desinfectantes/descontaminantes o precursores químicos y tiene una eficiencia de proceso probada (Bulbul J. et al., 2019, p.1).

El plasma frío es considerado una tecnología de descontaminación emergente, que se está explorando cada vez más para la eliminación de residuos de agroquímicos, pesticidas, entre otros, presentes en el agua (Gavahian M. et al., 2021, p.4).

Además, la tecnología de plasma frío se puede aplicar con diversas técnicas híbridas, como se muestra en la figura 2.

Figura N°2: Descontaminación del agua mediante plasma no térmico



Fuente: Murugesan Pramila et al., 2020

El plasma térmico se genera a altas temperaturas (2.000-20.000 K) y presión (> 10 kPa) utilizando corriente continua (DC) o alterna (AC) o fuentes de ondas electromagnéticas como la radiofrecuencia (RF) o las microondas (Shakeri Mina., 2020, p.2).

El rendimiento energético de los sistemas basados en NTP suele depender de la potencia y de la composición del gas de trabajo y se puede calcular mediante la ecuación (N°1) de acuerdo con Murugesan Pramila et al., (2020, p.2).

$$\text{Rendimiento energético} = \frac{(C_c - C_t) \times V}{\Delta t - p} \dots\dots\dots \text{(Ecuación 1)}$$

Dónde: C0 y Ct son las concentraciones (en g/L) de los contaminantes en la solución en el tiempo inicial y final (Δt ; h), V es el volumen de la solución (L) y P es la potencia consumida (kW).

En la tabla 4 se detallan estudios de los tratamientos del agua (W) mediante plasma frío.

Tabla N°4: Tratamientos del agua mediante plasma frío

Configuración del sistema/reactor	Clase de contaminante	de	Resultado	Autor
CAP (Plasma atmosférico frío)				
AC-Double DBD plano a plano	Tinte (azul metileno (MB))	de	Los resultados mostraron que la eficiencia de degradación de MB fue del 99,98% utilizando plasma de O ₂ durante 20 min, mientras que fue sólo del 85,3% utilizando plasma de aire durante 100 min.	Wang Baowei et al., 2017
Reactor tipo AC	Tinte (Azul metileno)	de	Los resultados mostraron que la tasa de eliminación del tinte no dependía en gran medida del gas de alimentación cuando la corriente eléctrica se mantuvo igual para todos los gases.	De Brito B. et al., 2012
RF-Plasma jet	Tinte (cristal violeta (VC))		Diferentes mezclas de gases dan lugar a diferentes concentraciones de especies reactivas responsables de la decoloración de CV. Además, se informa sobre el efecto de las limitaciones de transporte sobre la eficacia del tratamiento con plasma.	Taghvaei H. et al., 2019

AC-Microplasma array	Colorantes de tinte textil (zul Remazol RGB (RB RGB))	Los resultados mostraron que la descarga de microplasma exhibió un 99,4% de eficiencia de degradación para 50 ppm de RB RGB dentro de los 16 min del tiempo de tratamiento y se logró una mineralización del 22,4%.	Meiyazhagan S. et al., 2020
Burbuja AC-Microplasma	Colorantes mixtos	Los resultados muestran que la integración de plasma y burbujas resultó en una degradación eficiente de todos los colorantes azo, heterocíclicos y catiónicos, evidenciado por la sobresaliente eficiencia energética de 13.0, 18.1 y 22.1 g / kWh con 3 min de procesamiento, en la degradación del amarillo de alizarina (AY), naranja II (Orng-II) y azul de metileno (MB), individualmente.	Zhou Renwu et al., 2021
Corona pulsada sobre líquido, en aire, multipunto geometría	Pesticida (ácido 2,4-diclorofenoxiacético)	Se observó una mayor degradación del 2,4-D en condiciones de pH ácido. Se detectaron diferentes intermedios 2,4-D y se sugirió la vía de degradación del 2,4-D en el proceso de tratamiento del plasma. La toxicidad de 10 mg / L 2,4-D fue completamente erradicada después de 10 min de tratamiento con plasma.	Singh Raj et al., 2017
Plasma de descarga de barrera dieléctrica pulsada de nanosegundos (NSP-DBD) plano a plano	Cinco tintes populares (naranja II, azul de metileno, violeta de metilo, naranja de metilo y amarillo ocaso)	Tras una comparación con sistemas equivalentes, parece que las descargas pulsadas de nanosegundos son una de las más eficientes entre las registradas para la degradación del colorante en los reactores de plasma aire-líquido.	Meropoulis S. et al., 2021
NSP-DBD plano a plano	Antibiótico (enrofloxacin (ENRO))	Se encontró que los aditivos tales como CaO 2 y H 2 O 2 mejoran la tasa de degradación, siendo el CaO 2 un promotor superior en comparación con el H 2 O 2 .	Aggelopoulos C: et al., 2020
AC-DBD plano a plano	Antibiótico (norfloxacin (NOR))	Se encontró que el sistema DBD / H 2 O 2 (0.5 mmol / L)	Xu Zimu et al., 2020

		/ Fe 2+ (10 mg / L) era la condición óptima para lograr una alta tasa de degradación de NOR de más del 98% después del tratamiento con plasma durante solo 0.5 min a la alta potencia de 60 W.	
AC-DBD plano a plano	Antibiótico (ofloxacina (OFX) y la ciprofloxacina (CFX))	Los resultados revelaron que el ACP degradó con éxito los antibióticos estudiados y que el mecanismo de reacción está principalmente relacionado con el ataque de radicales hidroxilo y ozono.	Sarangapani C. et al., 2019
DC-CAP Tipo de aguja	Antibiótico quinolonas ciprofloxacino (CIP)	Con el aumento de la potencia de descarga, la eficiencia de degradación aumentó, pero la eficiencia energética se redujo significativamente. La eficiencia de degradación también se redujo bajo alta concentración de las condiciones iniciales de CIP debido a las reacciones competitivas entre los RS inducidos por plasma con los intermedios de degradación de CIP.	Shuheng H. et al., 2018
Burbuja de microplasma AC-DBD	Antibiótico	Los resultados muestran que se logró una degradación de alto rendimiento en el reactor de 10 microagujeros con un rendimiento energético de 1,5 g / kWh, después de 30 min de tratamiento con plasma.	Zhang Tianqi et al., 2021
AC-DBD	Pesticida (ftalato de dimetilo)	Los resultados experimentales mostraron que alrededor del 92,1% de DMP se eliminó en el sistema "SPC + plasma" con el tiempo de tratamiento de 30 min, que fue 30,7% mayor que en el sistema de plasma único, y la intensidad sinérgica para la eliminación de DMP alcanzó hasta 127,0 ; y el rendimiento energético también se incrementó en un 131%.	Wang Tiecheng et al., 2018
Descarga pulsada de alto voltaje (PHVD) de la aguja electrodo	Pesticida (4-clorofenol)	En 40 minutos, el electrodo de punta de descarga tuvo la tasa de eliminación de 4-CP más alta (86,2%) en agua pura, que podría aumentar	Su Yanyu et al., 2021

		aún más al 95,8% mediante el aumento de la profundidad de inmersión del electrodo de red.	
Microburbujas AC-DBD	Anilina	Las tasas de eliminación de anilina con DBD / MB se vieron influenciadas por la potencia de entrada, el tamaño de las burbujas, el pH inicial, la existencia de una solución tampón y la conductividad inicial.	Liu Yanan et al., 2018

Elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación que se usó fue la aplicada, siendo este descrito por Kircher Philipp AT., (2020, p.1), como una búsqueda de conocimientos para el desarrollo de un problema social o científico, el cual se realizará mediante la aplicación de la información adquirida. Debido a ello se usó la investigación de tipo aplicada, ya que, mediante la recolección y estudio sistemático de las diversas literaturas se resolverá el objetivo general planteado.

El diseño que se empleó para este estudio fue el biográfico, siendo la investigación biográfica aquel que se ocupa de la reconstrucción de historias de vida y de la constitución de significados a partir de relatos y documentos biográficos (Landín Miranda M. et al., 2019, p.3). Por tal motivo se usó el diseño biográfico, ya que mediante los documentos científicos extraídos de portales web se estudió las experiencias de vida que obtuvieron los investigadores al realizar los tratamientos hídricos con las tecnologías de plasma frío.

3.2. Categoría, subcategoría y matriz de categorización

En la presente investigación se utilizaron 3 categorías, y sus respectivas subcategorías detalladas en la tabla 5.

Tabla N°5: Matriz apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Criterio 1
Determinar la tecnología de plasma frío más usada para la remediación del agua contaminada	¿Cuál es la tecnología de plasma frío más usada para la remediación del agua contaminada?	Tecnología de plasma frío más usada (Canter L., 2020, p. 12).	Eficiencia energética Volumen de agua contaminada (Chaturvedi S. et al., 2021, p.2)	De acuerdo a la cantidad de veces empleado
Identificar cual es la efectividad de la tecnología de plasma frío como tratamiento hídrico para la remediación	¿Cuál es la efectividad de la tecnología de plasma frío como tratamiento hídrico para la remediación del	Efectividad de la tecnología de plasma frío (Edebali S. et al., 2018, p.4).	Mayor degradación Degradación intermedia Menor degradación	De acuerdo a la clase de contaminante

del agua contaminada	agua contaminada?		(Lin Siyi et al., 2021, p.2).	
Clasificar el impacto de la aplicación de plasma frío adicionado con catalizadores en la remediación de agua	¿Cuál es el impacto de la aplicación de plasma frío adicionado con catalizadores en la remediación de agua?	Efecto catalítico potenciador en la eliminación de contaminantes del agua (Xu Jing et al., 2021, p.801).	Porcentaje de remoción con catalizador Porcentaje de remoción sin catalizador (Sharma Vishal et al., 2021, p.2).	De acuerdo al catalizador empleado

3.3. Escenario de estudio

El escenario de estudio es considerado el lugar donde se realizan los experimentos que permiten resolver un problema. Siendo la presente investigación una revisión sistemática, considero a los escenarios de estudio que se encuentran descritos en los artículos científicos pudiendo ser estos escenarios, laboratorios o lugares de campo, de donde se tomaron las muestras de agua contaminadas y se estudiaron los análisis con la tecnología de plasma frío.

3.4. Participantes

Los participantes involucrados en el estudio son las fuentes que permitieron el acceso y extracción de las diversas literaturas científicas, siendo únicamente considerados los artículos científicos, así mismo cabe señalar que los participantes fueron portales web indizados como: Scielo, Sciencedirect y Redalyc.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

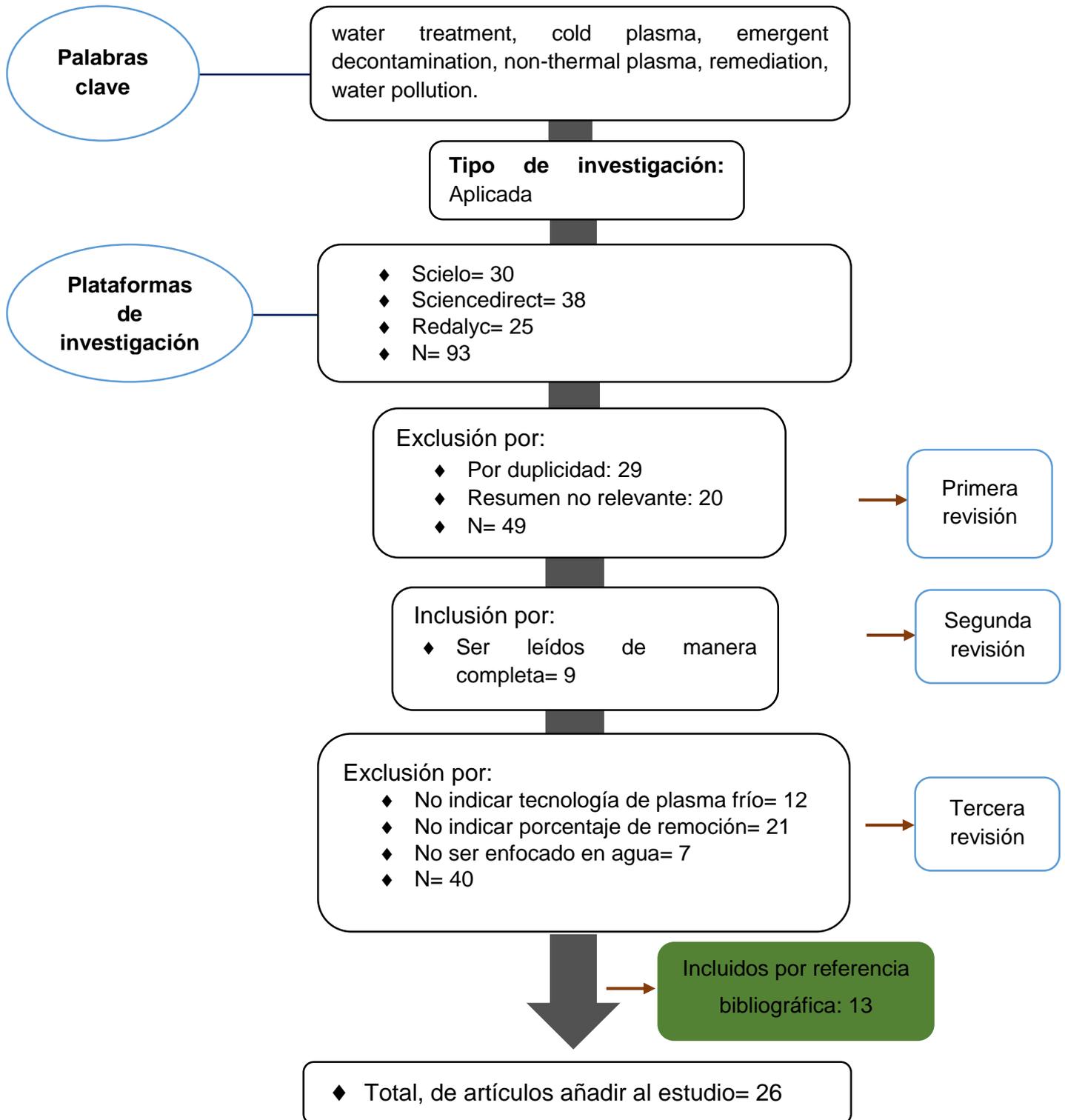
En esta investigación se realizaron recolección de artículos científicos mediante la técnica de análisis documental empleando una ficha de análisis de contenido, como instrumento de recolección.

De acuerdo con Dulzaides Iglesias M. et al., (2004, p.3), el análisis documental es el estudio de documentos para analizar información relevante e importante que pueda servir para resolver problemas en específicos. Siendo así la búsqueda de las categorías planteadas en la matriz, lo que se pretende seleccionar y extraer de cada literatura; ello no es posible sin el uso de la ficha de análisis de contenido, siendo la propuesta en la investigación la que se presenta en el Anexo n°1, donde se detallaran

datos como las tecnologías de plasma frío, porcentaje de degradación, porcentaje de remoción con catalizador y sin catalizador.

3.6. Procedimiento

Gráfico N° 1: Procedimiento de selección de artículos



Elaboración propia

3.7. Rigor científico

Este estudio de investigación cumplió con los criterios suficientes para confirmar el cumplimiento del rigor científico, siendo entre estos criterios la dependencia; el cual es un criterio de replicabilidad, que se enfoca en la estabilidad de los datos que se proporcionen, donde el investigador tendrá que mantener la seguridad de presentar información verídica, aun sabiendo que los datos pueden no siempre ser muy exactos por lo que se trata de un estudio cualitativo. Para tal criterio se realizó la comprobación de la información brindada mediante la comparación de diversos estudios. Así también, se cumplió con el criterio de credibilidad, este se cumple cuando el investigador genera descubrimientos usando únicamente la observación; además, es considerado una investigación verdadera cuando las investigaciones abarcan a una o un grupo de personas. Es así que se cumplió con este criterio, al ser desarrollado la problemática planteada con los artículos científicos añadidos al estudio, así como también mediante la discusión de los mismos en los resultados. Del mismo modo se cumplió con el criterio de conformabilidad; este es un criterio que permite seguir las pistas dejadas por otro investigador para poder continuar con el estudio de manera asertiva. Es así que este criterio fue cumplido, siguiendo los pasos dejados por otros investigadores que tratan acerca de los tratamientos con plasma frío para remediar aguas contaminadas. Por último, el criterio de transferibilidad, es aquel criterio que se centra en el autor, siendo su responsabilidad el brindar la información detallada de datos como metodologías, estadísticas, entre otros, para que nuevos investigadores puedan continuar con la investigación. Esto se cumplió dejando información exacta de la realización del estudio, como la metodología y las referencias bibliográficas para que se pueda aplicar a otros campos y ampliar el uso de los tratamientos hídricos con tecnologías de plasma frío (Hernández, 2016, p. 36).

3.8. Método de análisis de información

Para el análisis de la información se cumplió con el método de triangulación, donde esto implica comparar teorías que permitan explicar un conjunto de observaciones empíricas; dicho ello, se usó la matriz apriorística para detallar y explicar cada objetivos y problema específico, mediante el uso de las categorías y sub categorías.

Las categorías son: Tecnología de plasma frío más usada, Efectividad de la tecnología de plasma frío, Efecto catalítico potenciador en la eliminación de contaminantes del agua.

Las sub categorías son: Eficiencia energética, Volumen de agua contaminada, Mayor degradación, Degradación intermedia, Menor degradación, Porcentaje de remoción con catalizador, Porcentaje de remoción sin catalizador

3.9. Aspectos éticos

Esta investigación cumple con los aspectos éticos de respeto a la autoría, siguiendo el estilo ISO 690-2, así mismo, el código de ética de la universidad cesar vallejo, y el principio de honestidad, donde se pasó por el programa anti plagio (turnitin).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Buscando analizar las tecnologías de plasma frío para el tratamiento de remediación del agua contaminada se buscó resolver 3 objetivos, donde el primero es determinar la tecnología de plasma frío más usada para la remediación del agua contaminada; mostrando los resultados en la tabla 6.

Tabla N°6: Tecnología de plasma frío más usada

Configuración del sistema/reactor CAP (Plasma atmosférico frío)	Eficiencia energética		Volumen de agua (ml)	Cantidad de contam.	Autor
	% remoc.	Tiempo			
AC-Double DBD plano a plano	99,98	20 min.	50	100 mg L ⁻¹	Wang Baowei et al., 2017
Reactor tipo aguja AC	81.4	20 min.	100	20 mg L ⁻¹	De brito B. et al., 2012
RF-Plasma jet	100	12 min.	4	40.8 mg L ⁻¹	Taghvaei H. et al., 2019
AC-Microplasma array	99.4	16 min.	50	50 mg L ⁻¹	Meiyazhagan S. et al., 2020
Burbuja de Microplasma AC	>99.9	3 min.	150	32 mg L ⁻¹	Zhou Renwu et al., 2021
	>99.9	5 min.	150	35 mg L ⁻¹	
Corona pulsada sobre líquido, en aire, multipunto geometría	100	8 L/min	-	1 mg L ⁻¹	Singh Raj et al., 2017
Plasma de descarga de barrera dieléctrica pulsada de nanosegundos (NSP-DBD) plano a plano	>99.5	15–20 min.	15	40 mg L ⁻¹	Meropoulos S. et al., 2021
NSP-DBD plano a plano	100	20 min.	8.5	40 mg L ⁻¹	Aggelopoulos C. et al., 2020
AC-DBD plano a plano	97.1	4 min.	10	10 mg L ⁻¹	Xu Zimu et al., 2020

<i>AC-DBD plano a plano</i>	91	25 min.	25	10 mg L ⁻¹	Sarangapani C. et al., 2019
	88	25 min.	25	10 mg L ⁻¹	
<i>DC-CAP Tipo de aguja</i>	84.1	24 min.	30	10 mg L ⁻¹	Shuheng H. et al., 2018
<i>Burbuja de microplasma AC-DBD</i>	94.8	30 min.	-	100 mg L ⁻¹	Zhang Tianqi et al., 2021
<i>AC-DBD</i>	92.1	30 min.	-	30 mg L ⁻¹	Wang Tiecheng et al., 2018
<i>Descarga pulsada de alto voltaje (PHVD) de la aguja electrodo</i>	95.8	40 min.	200	100 mg L ⁻¹	Su Yanyu et al., 2021
<i>Microburbujas AC-DBD</i>	82.7	60 min.	300	10 mg L ⁻¹	Liu Yanan et al., 2018
<i>DBD</i>	69	25 min.	100	150 mg L ⁻¹	Chen Junyang et al., 2018
<i>Plasma planar circular DBD</i>	80.9	14 min.	150	150 mg L ⁻¹	Xin Lu et al., 2016
<i>Burbujas de plasma AC-submarino</i>	90	5 min.	150	100 mg L ⁻¹	Zhou Renwu et al., 2021
<i>DBD</i>	50	18 min.	8.5	20 mg L ⁻¹	Zhang Guyu et al., 2017
<i>DBD</i>	55	30 min.	100	10 mg L ⁻¹	Wang Jian et al., 2016
<i>Plasma de descarga pulsada</i>	71.3	60 min.	-	10 mg L ⁻¹	Guo He et al., 2019
<i>Plasma de descarga pulsada</i>	76	60 min.	-	20 mg L ⁻¹	Guo He et al., 2019
<i>Plasma de descarga pulsada</i>	51	60 min.	150	30 mg L ⁻¹	Guo et al., 2021

<i>Plasma de descarga pulsada</i>	65	60 min.	500	20 mg L ⁻¹	Guo He Z. et al., 2021
<i>Plasma de descarga pulsada</i>	64.8	60 min.	-	40 mg L ⁻¹	Guo He N. et al., 2019
<i>Plasma de descarga pulsada</i>	65	60 min.	500	20 mg L ⁻¹	Mao Danni et al., 2021

Elaboración propia

Los dispositivos de descarga de barrera dieléctrica (DBD) fueron empleados por 12 de los 26 investigadores, siendo esto corroborado por: Wang Baowei et al., 2017, Meropoulis S. et al., 2021, Aggelopoulos C. et al., 2020, Xu Zimu et al., 2020, Sarangapani C. et al., 2019, Zhang Tianqi et al., 2021, Wang Tiecheng et al., 2018, Liu Yanan et al., 2018, Chen Junyang et al., 2018, Xin Lu et al., 2016, Zhang Guyu et al., 2017 y Wang Jian et al., 2016.

De acuerdo con, Meropoulis S. et al., 2021 y Aggelopoulos C. et al., 2020, utilizando reactor de plasma atmosférico frío el DBD, presentaron una eficiencia del 100% y >99.9%, en un tiempo de 15 a 20 min. con un volumen de agua de 15 y 8.5 ml respectivamente, siendo la cantidad de contaminante presente de 40 mg L⁻¹ para ambos. También está Sarangapani C. et al., 2019, quien realizó dos muestras para dos tipos de contaminantes usando DBD, presentando una eficiencia del 91% y 88%, con los mismos valores para el tiempo, volumen de agua y cantidad de contaminante, siendo estos valores de 25min., 25 ml y 10 mg L⁻¹ respectivamente, comprobando que la variación de la efectividad de la aplicación del plasma atmosférico frío el DBD, depende del tipo de contaminante.

Ello es apoyado por Bali N. et al., quien explica que se ha desarrollado el modelo numérico multiescala para la remediación con plasma frío para suelo y agua que integra los procesos de oxidación con plasma DBD con los procesos macroscópicos de remediación (2019, p.1). Así mismo, se ha revelado tanto en el agua como en el suelo, la configuración del reactor de plasma DBD, el tipo de gas, etc., que afectan de manera crucial a la eficiencia de la descontaminación (Heirman P. et al., 2019, p.1).

Xu Zimu et al., 2020, utilizando AC-DBD plano a plano, obtuvo una eficiencia energética del 97.1% en un tiempo de 4min. con 10 mg L⁻¹ de contaminante en un volumen de agua de 10 ml.

Presentando cierta oposición por lo anterior mente dicho se encuentra (Magureanu M. et al., (2018, p.1), quien afirma que, para el tratamiento de aguas residuales asistido por DBD, la corta vida de las especies reactivas generadas con potenciales de oxidación muy elevados y el rápido decaimiento de su reactividad antes de llegar a la solución de las aguas residuales sigue siendo una cuestión complicada.

De acuerdo con Zhou Renwu et al., 2021, empleó como reactor de plasma frío a un nuevo reactor de burbujas de microplasma (MPB), donde los resultados muestran que la integración de plasma y burbujas resultó en una degradación eficiente de todos los colorantes azo, heterocíclicos y catiónicos, evidenciado por la sobresaliente eficiencia energética de 13.0, 18.1 y 22.1 g / kWh con 3 min de procesamiento, en la degradación del amarillo de alizarina (AY), naranja II (Orng-II) y azul de metileno (MB), individualmente.

Para ello, se han propuesto diferentes tipos de configuraciones de DBD con generación de descargas por encima o dentro de medios líquidos; siendo las configuraciones plano a plano y las coaxiales las principales usadas frente a una amplia gama de contaminantes del agua, incluyendo productos farmacéuticos (antibióticos, glucocorticoides, etc.), pesticidas y disolventes tóxicos (anilina, dimetilformamida) (Liu yan an et al., 2019, p.1).

Tabla N°7: Efectividad de la tecnología de plasma frío

Contaminante	Clase	Porcentaje de degradación	Efectividad	Autor
Azul de metileno (MB)	Tinte	99,98	Mayor degradación 90 - 100%	Wang Baowei et al., 2017
Azul de metileno	Tinte	81.4		De Brito B. et al., 2012
Cristal violeta (CV)	Tinte	100		Taghvaei H. et al., 2019
Colorantes de tinte textil (zul Remazol RGB (RB RGB))	Tinte	99.4		Meiyazhagan S. et al., 2020
Colorantes mixtos MB	Tinte	>99.9		Zhou Renwu et al., 2021
Colorantes mixtos OII	Tinte	>99.9		

Cinco tintes populares (naranja II, azul de metileno, violeta de metilo, naranja de metilo y amarillo ocaso)	Tinte	>99.5		Meropoulis S. et al., 2021
Cristal violeta (CV)	Tinte	69		Chen Junyang et al., 2018
MG	Tinte	80.9		Xin Lu et al., 2016
Azofloxina	Tinte	90		Zhou Renwu et al., 2021
(enrofloxacin (ENRO))	Antibióticos	100	Mayor degradación 90 - 100%	Aggelopoulos C: et al., 2020
Norfloxacin (NOR)	Antibióticos	97.1		Xu Zimu et al., 2020
Ofloxacin (OFX)	Antibióticos	91		Sarangapani C. et al., 2019
Ciprofloxacina (CFX)	Antibióticos	88		Shuheng H. et al., 2018
Quinolonas ciprofloxacino (CIP)	Antibiótico	84.1		Zhang Tianqi et al., 2021
Antibiótico	Antibiótico	94.8		
Ácido 2,4-diclorofenoxiacético (ftalato de dimetilo)	Pesticida	100	Mayor degradación 90 - 100%	Singh Raj et al., 2017
	Pesticida	92.1		Wang Tiecheng et al., 2018
(4-clorofenol)	Pesticida	95.8		Su Yanyu et al., 2021
Acetaminofén	Productos farmacéuticos	50	Mayor intermedia 60 - 70%	Zhang Guyu et al., 2017
Triclocarban	Productos farmacéuticos	55		Wang Jian et al., 2016
Ciprofloxacina	Productos farmacéuticos	71.3		Guo He et al., 2019
Enrofloxacin	Productos farmacéuticos	76		Guo He et al., 2019
Tiamfenicol	Productos farmacéuticos	65		Guo He Z. et al., 2019
Ofloxacin	Productos farmacéuticos	51		Guo et al., 2021

Flumequina	Productos farmacéuticos	64.8		Guo He N. et al., 2019
Bisfenol	Productos farmacéuticos	65		Mao Danni et al., 2021
Anilina	Otros	82.7	Mayor degradación 80%	Liu Yanan et al., 2018

Elaboración propia

La efectividad de la tecnología de plasma frío como tratamiento hídrico para la remediación del agua contaminada se demuestra mediante el promedio de degradación, siendo la efectividad de la tecnología de plasma frío demostrada con la mayor degradación en 4 de 5 tipos de contaminantes presentes en agua, donde el porcentaje fue del 90 al 100% para los contaminantes clasificados en el grupo de tintes o colorantes, los antibióticos presentaron una remoción también del 90 al 100%, al igual que los pesticidas, mientras que los productos farmacéuticos presentaron una degradación intermedia, donde el promedio es del 60 al 70%.

Esto es corroborado por Zhou Renwu et al., (2021), quien demostró que la efectividad de la tecnología de plasma frío presenta una degradación eficaz y simultánea de mezclas de tintes; obteniendo en su estudio una excelente eficiencia energética para la degradación de contaminantes.

Por otro lado, se ha descubierto también que la naturaleza de los contaminantes afecta al proceso; pero, aunque se han examinado varios parámetros que afectan al tratamiento con plasma de los mecanismos implicados son todavía escasos (Abbas Yawar et al., 2020, p.2).

Así también, Aggelopoulos C. A. et al., (2020, p.2), afirma que la sostenibilidad de un método de remediación se define definitivamente por el coste de la operación en términos de consumo de energía, siendo el plasma frío de alto rendimiento energético, eficaz para una amplia gama de contaminantes y la energía eléctrica por orden (EEO) es la energía eléctrica en kWh necesaria para degradar un contaminante en un orden de magnitud en 1 m³ de agua contaminada siendo los tratamientos de plasma frío aplicada en agua <10 OEE (kWh/m³).

Al igual que Aggelopoulos C. A. et al., (2020, p.2), el investigador Guo He Z. et al., (2019), adiciona que, el coste operativo estimado para la tecnología CAP podría

analizarse como los requisitos de energía para la generación de descargas hacia la degradación efectiva de los contaminantes; donde entre los distintos métodos, el plasma frío podría considerarse una opción de remediación ventajosa.

Por otro lado, también se trató, clasificar el impacto de la aplicación de plasma frío adicionado con catalizadores en la remediación de agua contaminada, siendo presentado los resultados en la tabla 8.

Tabla N°8: Efecto catalítico potenciador en la eliminación de contaminantes de agua

Sistema de plasma frío	Catalizador	Contaminante	(%) sin catalizador	(%) con catalizador	Autor
DBD	Persulfato activado con Fe ²⁺	Cristal violeta (CV)	69	97	Chen Junyang et al., 2018
Plasma planar circular DBD	Ag ₃ PO ₄ /TiO ₂	MG	80.9	94.2	Xin Lu et al., 2016
Burbujas de plasma AC-submarino	Pre activación por plasma del CeO ₂	Azofloxacina	90	99.5	Zhou Renwu et al., 2021
DBD	TiO ₂ -rGO	Acetaminofén	50	92	Zhang Guyu et al., 2017
DBD	TiO ₂ /ACFs	Triclocarban	55	84.9	Wang Jian et al., 2016
Plasma de descarga pulsada	Graphene-WO ₃	Ciprofloxacina	71.3	99.6	Guo He et al., 2019
Plasma de descarga pulsada	Grafeno-WO ₃	Enrofloxacin	76	99.1	Guo He et al., 2019
Plasma de descarga pulsada	Nanocompuestos de grafeno-WO ₃ -Fe ₃ O ₄	Tiamfenicol	51	99.3	Guo et al., 2021
Plasma de descarga pulsada	Nanocompuestos de grafeno-Fe ₃ O ₄	Ofloxacina	65	99.9	Guo He Z. et al., 2021

Plasma de descarga pulsada	Nanocompuestos de rGO-TiO ₂	Flumequina	64.8	99.4	Guo He N. et al., 2019
Plasma de descarga pulsada	rGO-WO ₃	Bisfenol	65	78	Mao Danni et al., 2021

Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 8 se tiene que el impacto de la aplicación de plasma frío adicionado con catalizadores en la remediación de agua presenta un aumento significativo en el porcentaje de remoción de todos los estudios que aplicaron catalizadores para eliminar contaminantes del medio hídrico; siendo los catalizadores más empleados el TiO₂, CeO₂ y los derivados del carbono como el grafeno. Ello es debido a que, el plasma frío acoplado a la catálisis se considera un enfoque prometedor para la eliminación de contaminantes del agua, ya que en comparación con el de plasma frío o de catálisis heterogénea por sí solos, se consigue un rendimiento significativamente mejor.

Siendo ello corroborado por 11 de 26 de los investigadores; obteniendo porcentajes de remoción mayores al 90%.

Los siguientes autores lo corroboran: Chen Junyang et al., 2018, Xin Lu et al., 2016, Zhou Renwu et al., 2021, Zhang Guyu et al., 2017, Wang Jian et al., 2016, Guo He et al., 2019, Guo He et al., 2019, Guo et al., 2021, Guo He Z. et al., 2021, Guo He N. et al., 2019, Mao Danni et al., 2021.

En su estudio Zhang Guyu et al., 2017, generó un incremento de la eliminación del contaminante Acetaminofén, usando el sistema de plasma frío DBD de 50% sin catalizador a un 92% con catalizados TiO₂-rGO. Así mismo Wang Jian et al., 2016, también usó la misma tecnología de plasma frío, para el contaminante Triclocarban, donde obtuvo un porcentaje de remoción del 55%, pero adicionando el catalizador TiO₂/ACFs incremento el porcentaje en un 84.9%. Lo que demuestra que el tipo de tecnología de plasma frío requiere de un catalizador para que su porcentaje de eficiencia sea incrementado.

Similar resultado presentó Guo et al., 2021 en sus dos investigaciones; donde usando el plasma de descarga pulsada, para eliminar para eliminar los contaminantes Ciprofloxacina y Enrofloxacin, utilizó el catalizador Grafeno-WO₃ en ambos casos,

generando un incremento de la efectividad en un caso del 76% al 99.1% y en el segundo caso del 71.3% al 99.6%.

Similar fueron los resultados presentados en una investigación por Guo et al., (2021), donde se usó el plasma de descarga pulsada para eliminar Tiamfenicol con un catalizador Nanocompuestos de grafeno-WO₃-Fe₃O₄ nanocompuestos, generando un incremento de la eliminación del 51% al 99.3%.

De acuerdo con Guo et al., (2019, p.1), varios catalizadores, incluidos los disponibles en el mercado o los catalizadores sintetizados como el TiO₂, ZnO, CeO₂ y catalizadores basados en carbono (por ejemplo, catalizadores modificados a base de grafeno) son usados como candidatos potenciales.

También Meiyazhagan S. et al., (2020, p.3), demuestra el porqué del aumento de la eficiencia del plasma frío empleando catalizadores; señalando que los efectos sinérgicos en la catálisis por plasma se basan en la producción directa de más especies oxidativas y en el aumento de la reactividad química de las especies de larga y corta vida; donde el efecto luminoso derivado del CAP y el posterior fotón generado excitan el catalizador para producir los h⁺ y e⁻. Un aumento de la concentración de OH a través de la conversión del O₃ generado a OH y la promoción de la conversión de H₂O₂ inducida por el plasma a OH. En particular, las especies generadas por el plasma (e. g. O₃, H₂O₂) promueven reacciones radicales en cadena, Ecuaciones que aumentan el proceso de degradación (Mao Danni et al., 2021, p.2).

V. CONCLUSIONES

Al realizar la presente revisión se para analizar las tecnologías de plasma frío para el tratamiento de remediación del agua contaminada se ha comprobado en los numerosos estudios estudiados como una importante alternativa de remediación con ventajas significativas en cuanto a la rapidez, el bajo consumo de energía, la no necesidad de productos químicos adicionales y la eficacia contra la contaminación de energía; pudiendo detallarlo con la conclusión de los 3 siguientes puntos:

La tecnología de plasma frío más usada para la remediación del agua contaminada son los dispositivos de descarga de barrera dieléctrica (DBD), presentando porcentajes de eficiencia del >99.9% y 100%, en tiempos muy cortos de 15 a 20 min.

La efectividad de la tecnología de plasma frío como tratamiento hídrico para la remediación del agua contaminada se demuestra mediante el promedio de degradación, siendo la efectividad de la tecnología de plasma frío demostrada con la mayor degradación en 4 de 5 tipos de contaminantes presentes en agua, donde el porcentaje fue del 90 al 100% para los contaminantes clasificados en el grupo de tintes o colorantes, los antibióticos presentaron una remoción también del 90 al 100%, al igual que los pesticidas, mientras que los productos farmacéuticos presentaron una degradación intermedia, donde el promedio es del 60 al 70%.

El impacto de la aplicación de plasma frío adicionado con catalizadores en la remediación de agua presenta un aumento significativo en el porcentaje de remoción de todos los estudios que aplicaron catalizadores para eliminar contaminantes del medio hídrico; siendo los catalizadores más empleados el TIO_2 , CeO_2 y los derivados del carbono como el grafeno. Ello es debido a que, el plasma frío acoplado a la catálisis se considera un enfoque prometedor para la eliminación de contaminantes del agua, ya que en comparación con el de plasma frío o de catálisis heterogénea por sí solos, se consigue un rendimiento significativamente mejor, siendo confirmado por 11 de 26 de los investigadores; obteniendo porcentajes de remoción mayores al 90%.

VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo a la recopilación exhaustiva realizada sobre las tecnologías de plasma frío para el tratamiento de remediación del agua contaminada, se puede recomendar los siguientes puntos:

Este trabajo podría respaldar el desarrollo futuro de tecnologías de eliminación de aguas residuales de alto rendimiento y eficiencia energética, por lo cual se recomienda extender los estudios de los tratamientos con tecnologías de plasma frío en puntos ambientales, como es el caso de los tratamientos de remediación de desechos sólidos y suelos contaminados.

Se recomienda, realizar una comparación con plasma no térmico entre los tratamientos in situ y ex situ, para analizar la comparación de los beneficios que proporcionan cada tipo de métodos.

Así mismo se recomienda realizar estudios prácticos comparativos de los reactores de plasma de descarga de barrera dieléctrica coaxial, a escala de laboratorio y campo, ya que existen amplias variaciones.

REFERENCIAS

1. ABBAS, Yawar, et al. Remediation of pyrene contaminated soil by double dielectric barrier discharge plasma technology: Performance optimization and evaluation. *Environmental Pollution*, 2020, vol. 260, p. 113944. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.113944>
2. AGGELOPOULOS, C. A., et al. Degradation of antibiotic enrofloxacin in water by gas-liquid nsp-DBD plasma: parametric analysis, effect of H₂O₂ and CaO₂ additives and exploration of degradation mechanisms. *Chemical Engineering Journal*, 2020, vol. 398, p. 125622. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125622>
3. AL-BAHRANI, Hussein S., et al. Determining new way to detect hydrocarbon polluted water at vertical and horizontal spaces. *Materials Today: Proceedings*, 2021, vol. 42, p. 2071-2075. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.261>
4. Ameta, S. C. (2018). Introduction. *Advanced Oxidation Processes for Waste Water Treatment*, 1–12. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-810499-6.00001-2>
5. ASHBOLT, Nicholas J. Microbial contamination of drinking water and human health from community water systems. *Current environmental health reports*, 2015, vol. 2, no 1, p. 95-106. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40572-014-0037-5>
6. BAGBI, Yana; PANDEY, Arvind; SOLANKI, Pratima R. Electrospun nanofibrous filtration membranes for heavy metals and dye removal. En *Nanoscale Materials in Water Purification*. Elsevier, 2019. p. 275-288. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813926-4.00015-X>
7. BALI, N., et al. Modeling of a DBD plasma reactor for porous soil remediation. *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 373, p. 393-405. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.05.005>
8. BÖHME, Franziska, et al. Pesticide residue survey of pollen loads collected by honeybees (*Apis mellifera*) in daily intervals at three agricultural sites in South

- Germany. PLoS One, 2018, vol. 13, no 7, p. e0199995. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199995>
9. Brandt, M. J., Johnson, K. M., Elphinston, A. J., & Ratnayaka, D. D. (2017). Water Supply Regulation, Protection, Organization and Financing. Twort's Water Supply, 37–63. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100025-0.00002-8>
10. BULBUL, V. J., et al. Effect of cold plasma treatment on Xanthan gum properties. Polymer Testing, 2019, vol. 79, p. 106056. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2019.106056>
11. CANTER, Larry W. Ground water pollution control. CRC Press, 2020. Disponible en: <https://books.google.es/books?id=dwwLEAAAQBAJ&lpg=PT16&ots=F-iPK4VOhT&dq=Water%20Pollution%20Control%20Technologies&lr&hl=es&pg=PT16#v=onepage&q=Water%20Pollution%20Control%20Technologies&f=false>
12. CHATURVEDI, Anuj, et al. A comprehensive review on the integration of advanced oxidation processes with biodegradation for the treatment of textile wastewater containing azo dyes. Reviews in Chemical Engineering, 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1515/revce-2020-0010>
13. CHEN, Dongjie, et al. Evaluation of Cronobacter sakazakii inactivation and physicochemical property changes of non-fat dry milk powder by cold atmospheric plasma. Food chemistry, 2019, vol. 290, p. 270-276. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.149>
14. CHEN, Junyang, et al. Non-thermal plasma and Fe²⁺ activated persulfate ignited degradation of aqueous crystal violet: degradation mechanism and artificial neural network modeling. Separation and Purification Technology, 2018, vol. 191, p. 75-85. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2017.09.016>
15. COUTINHO, Nathalia M., et al. Cold plasma processing of milk and dairy products. Trends in Food Science & Technology, 2018, vol. 74, p. 56-68. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.02.008>

16. DAI, Lichun, et al. Tuning oxygenated functional groups on biochar for water pollution control: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, p. 126547. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126547>
17. DE BRITO BENETOLI, Luís Otávio, et al. Pyrite-enhanced methylene blue degradation in non-thermal plasma water treatment reactor. *Journal of hazardous materials*, 2012, vol. 237, p. 55-62. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.07.067>
18. DELETIC, Ana; WANG, Huanting. Water pollution control for sustainable development. *Engineering*, 2019, vol. 5, no 5, p. 839-840.
19. DULZAIDES IGLESIAS, María Elinor; MOLINA GÓMEZ, Ana María. Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso. *Acimed*, 2004, vol. 12, no 2. ISSN 1024-9435
20. EDEBALI, Serpil; OZTEKIN, Yasemin; ARSLAN, Gulsin. Metallic engineered nanomaterial for industrial use. En *Handbook of Nanomaterials for Industrial Applications*. Elsevier, 2018. p. 67-73. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813351-4.00004-3>
21. EGGEN, Trine; VOGELSANG, Christian. Occurrence and fate of pharmaceuticals and personal care products in wastewater. En *Comprehensive Analytical Chemistry*. Elsevier, 2015. p. 245-294. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63299-9.00007-7>
22. FEIZOLLAHI, Ehsan; MISRA, N. N.; ROOPESH, M. S. Factors influencing the antimicrobial efficacy of Dielectric Barrier Discharge (DBD) Atmospheric Cold Plasma (ACP) in food processing applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 2021, vol. 61, no 4, p. 666-689. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1743967>
23. GAVAHIAN, Mohsen; SARANGAPANI, Chaitanya; MISRA, N. N. Cold plasma technology for mitigating agrochemical and pesticide residue in food and water: Similarities with ozone and ultraviolet processing, considerations, and research needs. *Food Research International*, 2021, p. 110138. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110138>

24. Guo, R. (2018). Cross-Border Environmental Pollution and Management. Cross-Border Resource Management, 233–268. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64002-4.00009-x>
25. GUO, He, et al. Pulsed discharge plasma induced WO₃ catalysis for synergetic degradation of ciprofloxacin in water: Synergetic mechanism and degradation pathway. Chemosphere, 2019, vol. 230, p. 190-200. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.011>
26. GUO, He, et al. Pulsed discharge plasma assisted with graphene-WO₃ nanocomposites for synergistic degradation of antibiotic enrofloxacin in water. Chemical Engineering Journal, 2019, vol. 372, p. 226-240. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.04.119>
27. GUO, He, Z. et al. Efficient removal of antibiotic thiamphenicol by pulsed discharge plasma coupled with complex catalysis using graphene-WO₃-Fe₃O₄ nanocomposites. Journal of Hazardous Materials, 2021, vol. 403, p. 123673. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123673>
28. GUO, He, et al. Accelerated Fenton reaction for antibiotic ofloxacin degradation in discharge plasma system based on graphene-Fe₃O₄ nanocomposites. Vacuum, 2021, vol. 185, p. 110022. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2020.110022>
29. GUO, He, N. et al. Degradation of flumequine in water by pulsed discharge plasma coupled with reduced graphene oxide/TiO₂ nanocomposites. Separation and Purification Technology, 2019, vol. 218, p. 206-216. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.03.001>
30. GUTIERREZ-URBANO, Isabel, et al. Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in conventional drinking water treatment processes. Journal of Contaminant Hydrology, 2021, vol. 243, p. 103888. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2021.103888>
31. Harikishore Kumar Reddy, D. (2017). Water Pollution Control Technologies. Encyclopedia of Sustainable Technologies, 3–22. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10163-0>

32. HEIRMAN, Pepijn; VAN BOXEM, Wilma; BOGAERTS, Annemie. Reactivity and stability of plasma-generated oxygen and nitrogen species in buffered water solution: A computational study. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2019, vol. 21, no 24, p. 12881-12894. Disponible en: DOI <https://doi.org/10.1039/C9CP00647H>
33. Hernández, E. Contextos sociales de intervención comunitaria, [en línea] Editorial CEP SL.: Madrid, 2016. p. 36. CAPITULO 1: Técnicas de investigación en la intervención social. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=AcY-DwAAQBAJ&pg=PA36&dq=auditabilidad&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiexYyeyY3qAhVpG7kGHdyrDP0Q6AEINzAC#v=onepage&q=auditabilidad&f=false>
34. HU, Qing; ZHAO, Xuetao; YANG, Xiao Jin. China's decadal pollution census. *Nature*, 2017, vol. 543, no 7646, p. 491-491. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/543491d>
35. JAHAN, Sayka; STREZOV, Vladimir. Water quality assessment of Australian ports using water quality evaluation indices. *PloS one*, 2017, vol. 12, no 12, p. e0189284. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0189284>
36. KAFLE, B. P. Application of UV–VIS spectrophotometry for chemical analysis. *Chemical Analysis and Material Characterization by Spectrophotometry*; Elsevier: New York, NY, USA, 2020, p. 79-145. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814866-2.00005-1>
37. KHAN, Muhammad Saiful Islam; LEE, Seung Hyun; KIM, Yun-Ji. A mechanistic and kinetic study of diazinone degradation under the influence of microplasma discharge water. *Journal of Water Process Engineering*, 2020, vol. 36, p. 101310. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101310>
38. KIRCHER, Philipp AT. Search design and online job search—new avenues for applied and experimental research. *Labour economics*, 2020, vol. 64, p. 101820. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.labeco.2020.101820>

39. KOOI, Merel, et al. Multimedia Fate and Transport Modeling - Overview. Freshwater microplastics, 2018, p. 125-152. Disponible en: <https://www.epa.gov/fera/multimedia-fate-and-transport-modeling-overview>
40. KUMAR, Vinod, et al. A tabulated review on distribution of heavy metals in various plants. Environmental Science and Pollution Research, 2017, vol. 24, no 3, p. 2210-2260. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7747-1>
41. KUMAR, Vinod, et al. Temporal distribution, source apportionment, and pollution assessment of metals in the sediments of Beas river, India. Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2018, vol. 24, no 8, p. 2162-2181. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1440529>
42. KUMAR, Vinod, et al. Assessment of heavy-metal pollution in three different Indian water bodies by combination of multivariate analysis and water pollution indices. Human and ecological risk assessment: an international journal, 2020, vol. 26, no 1, p. 1-16. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1497946>
43. LANDÍN MIRANDA, Ma; ROSARIO, Del; SÁNCHEZ TREJO, Sandra Ivonne. El método biográfico-narrativo: una herramienta para la investigación educativa. Educación, 2019, vol. 28, no 54, p. 227-242. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18800/educacion.201901.011>
44. LAZAREVIĆ-PAŠTI, Tamara D., et al. Heteroatom-doped mesoporous carbons as efficient adsorbents for removal of dimethoate and omethoate from water. RSC advances, 2016, vol. 6, no 67, p. 62128-62139. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C6RA06736K>
45. LIN, Siyi, et al. Remediation of emerging contaminated sites due to uncontrolled e-waste recycling. Chemical Engineering Journal, 2021, p. 133169. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133169>
46. LIU, Yanan, et al. Degradation of aniline in aqueous solution using non-thermal plasma generated in microbubbles. Chemical Engineering Journal, 2018, vol. 345, p. 679-687.

47. LIU, Yanan, et al. Degradation of glucocorticoids in water by dielectric barrier discharge and dielectric barrier discharge combined with calcium peroxide: performance comparison and synergistic effects. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2019, vol. 94, no 11, p. 3606-3617. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jctb.6164>
48. LU, Qian, et al. Valorization of oxytetracycline fermentation residue through torrefaction into a versatile and recyclable adsorbent for water pollution control. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2021, vol. 9, no 4, p. 105397. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105397>
49. MAGUREANU, M.; BRADU, C.; PARVULESCU, V. I. Plasma processes for the treatment of water contaminated with harmful organic compounds. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2018, vol. 51, no 31, p. 313002.
50. MAO, Danni, et al. Catalysis of rGO-WO₃ nanocomposite for aqueous bisphenol A degradation in dielectric barrier discharge plasma oxidation process. *Chemosphere*, 2021, vol. 262, p. 128073. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128073>
51. Mareddy, A. R. (2017). Impacts on water environment. *Environmental Impact Assessment*, 217–248. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811139-0.00006-2>
52. MEIYAZHAGAN, S., et al. Process and kinetics of dye degradation using microplasma and its feasibility in textile effluent detoxification. *Journal of Water Process Engineering*, 2020, vol. 37, p. 101519. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101519>
53. MEROPOULIS, S., et al. Structure-Degradation Efficiency Studies in the Remediation of Aqueous Solutions of Dyes using Nanosecond-Pulsed DBD Plasma. *Separation and Purification Technology*, 2021, p. 119031. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119031>
54. MURUGESAN, Pramila, et al. Water decontamination of using non-thermal plasma: Concepts, applications, and prospects. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2020, p. 104377. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104377>

55. OJHA, Shikha, et al. Principles and application of cold plasma in food processing. 2021. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.23033-3>
56. PANKAJ, Shashi K.; KEENER, Kevin M. Cold plasma: Background, applications and current trends. *Current Opinion in Food Science*, 2017, vol. 16, p. 49-52. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.07.008>
57. PANKAJ, Shashi K.; WAN, Zifan; KEENER, Kevin M. Effects of cold plasma on food quality: A review. *Foods*, 2018, vol. 7, no 1, p. 4. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.04.009>
58. Pudasainee, D., Kurian, V., & Gupta, R. (2020). Coal. *Future Energy*, 21–48. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102886-5.00002-5>
59. QU, Liyin, et al. Risk analysis of heavy metal concentration in surface waters across the rural-urban interface of the Wen-Rui Tang River, China. *Environmental pollution*, 2018, vol. 237, p. 639-649. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.02.020>
60. RAHMAN, Kalimur; BARUA, Saurav; IMRAN, H. M. Assessment of water quality and apportionment of pollution sources of an urban lake using multivariate statistical analysis. *Cleaner Engineering and Technology*, 2021, p. 100309. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100309>
61. RICHTER, Brian D., et al. Assessing the sustainability of urban water supply systems. *Journal-American Water Works Association*, 2018, vol. 110, no 2, p. 40-47. Disponible en: <https://ipu.msu.edu/wp-content/uploads/2019/04/awwa.1002.pdf>
62. RUPAKHETI, Dipesh, et al. Assessment of water quality and health risks for toxic trace elements in urban Phewa and remote Gosainkunda lakes, Nepal. *Human and ecological risk assessment: an international journal*, 2017, vol. 23, no 5, p. 959-973. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10807039.2017.1292117>
63. SAHA, Priti; PAUL, Biswajit. Assessment of heavy metal toxicity related with human health risk in the surface water of an industrialized area by a novel

technique. Human and ecological risk assessment: an international journal, 2019, vol. 25, no 4, p. 966-987. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1458595>

64. SARANGAPANI, Chaitanya, et al. Degradation kinetics of cold plasma-treated antibiotics and their antimicrobial activity. Scientific reports, 2019, vol. 9, no 1, p. 1-15. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40352-9>
65. SARKAR, Biplab; ISLAM, Aznarul; DAS, Balai Chandra. Role of declining discharge and water pollution on habitat suitability of fish community in the Mathabhanga-Churni River, India. Journal of Cleaner Production, 2021, p. 129426. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129426>
66. Schweitzer, L., & Noblet, J. (2018). Water Contamination and Pollution. Green Chemistry, 261–290. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809270-5.00011-x>
67. SHAKERI, Mina. Cold plasma coating for protective textiles and clothing. En Advances in Functional and Protective Textiles. Woodhead Publishing, 2020. p. 19-35. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820257-9.00002-3>
68. SHARMA, Vishal, et al. Assessment of water quality using different pollution indices and multivariate statistical techniques. En Heavy Metals in the Environment. Elsevier, 2021. p. 165-178. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821656-9.00009-2>
69. SHUHENG, H. U., et al. Degradation and mineralization of ciprofloxacin by gas–liquid discharge non-thermal plasma. Plasma Science and Technology, 2018, vol. 21, no 1, p. 015501.
70. SINGH, Raj Kamal; PHILIP, Ligy; RAMANUJAM, Sarathi. Removal of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid in aqueous solution by pulsed corona discharge treatment: effect of different water constituents, degradation pathway and toxicity assay. Chemosphere, 2017, vol. 184, p. 207-214. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.05.134>
71. SOHRABI, Hessamaddin, et al. Recent advances on portable sensing and biosensing assays applied for detection of main chemical and biological

pollutant agents in water samples: A critical review. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2021, p. 116344. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116344>

72. STROKAL, Maryna; KROEZE, Carolien. Water, society and pollution in an urbanizing world: recent developments and future challenges. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.10.003>

73. SOME, Sudip, et al. Microbial pollution of water with special reference to coliform bacteria and their nexus with environment. *Energy Nexus*, 2021, vol. 1, p. 100008. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2021.100008>

74. SU, Yanyu, et al. Needle electrode design of pulsed high voltage discharge reactor for performance enhancement of 4-chlorophenol degradation in highly conductive solution. *Chemosphere*, 2021, vol. 266, p. 129203. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129203>

75. TAGHVAEI, H.; KONDETI, V. S. S. K.; BRUGGEMAN, P. J. Decomposition of crystal violet by an atmospheric pressure RF plasma jet: the role of radicals, ozone, near-interfacial reactions and convective transport. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 2019, vol. 39, no 4, p. 729-749. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11090-019-09965-w>

76. TITCHOU, Fatima Ezzahra, et al. Removal of organic pollutants from wastewater by advanced oxidation processes and its combination with membrane processes. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 2021, p. 108631. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cep.2021.108631>

77. VICKERS, Neil J. Animal communication: when i'm calling you, will you answer too?. *Current biology*, 2017, vol. 27, no 14, p. R713-R715. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.05.064>

78. WANG, Baowei, et al. Degradation of methylene blue using double-chamber dielectric barrier discharge reactor under different carrier gases. *Chemical Engineering Science*, 2017, vol. 168, p. 90-100. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ces.2017.04.027>

79. WANG, Hongran, et al. Pre-oxidation of spent lettuce wash water by continuous Advanced Oxidation Process to reduce chlorine demand and cross-contamination of pathogens during post-harvest washing. *Food Microbiology*, 2021, p. 103937. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103937>
80. WANG, Jian, et al. Degradation of triclocarban in water by dielectric barrier discharge plasma combined with TiO₂/activated carbon fibers: effect of operating parameters and byproducts identification. *Chemical Engineering Journal*, 2016, vol. 300, p. 36-46. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.04.041>
81. WANG, Tiecheng, et al. Evaluation of the potential of dimethyl phthalate degradation in aqueous using sodium percarbonate activated by discharge plasma. *Chemical Engineering Journal*, 2018, vol. 346, p. 65-76. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.04.024>
82. WANG, Yubao, et al. Chinese industrial water pollution and the prevention trends: An assessment based on environmental complaint reporting system (ECSR). *Alexandria Engineering Journal*, 2021, vol. 60, no 6, p. 5803-5812. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2021.04.015>
83. WU, Yue, et al. Emerging water pollution in the world's least disturbed lakes on Qinghai-Tibetan Plateau. *Environmental Pollution*, 2021, vol. 272, p. 116032. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116032>
84. XIAO, Jinjing, et al. Analysis of exposure to pesticide residues from Traditional Chinese Medicine. *Journal of hazardous materials*, 2019, vol. 365, p. 857-867. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.11.075>
85. XIN, Lu; SUN, Yabing; FENG, Jingwei. Ag₃PO₄/TiO₂-assisted degradation of malachite green in aqueous solution treated by dielectric barrier discharge plasma. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2016, vol. 91, no 7, p. 2131-2142. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jctb.4840>
86. XU, Jing, et al. Spatial-temporal distribution and evolutionary characteristics of water environment sudden pollution incidents in China from 2006 to 2018. *Science of The Total Environment*, 2021, vol. 801, p. 149677. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149677>

87. XU, Zimu, et al. Degradation effect and mechanism of gas-liquid phase dielectric barrier discharge on norfloxacin combined with H₂O₂ or Fe²⁺. Separation and Purification Technology, 2020, vol. 230, p. 115862. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2019.115862>
88. YIN, Kun, et al. Microorganism remediation strategies towards heavy metals. Chemical Engineering Journal, 2019, vol. 360, p. 1553-1563. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.10.226>
89. ZHANG, Guyu, et al. Decomposition of acetaminophen in water by a gas phase dielectric barrier discharge plasma combined with TiO₂-rGO nanocomposite: Mechanism and degradation pathway. Journal of hazardous materials, 2017, vol. 323, p. 719-729. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.10.008>
90. ZHANG, Han, et al. Source identification of surface water pollution using multivariate statistics combined with physicochemical and socioeconomic parameters. Science of The Total Environment, 2021, p. 151274. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151274>
91. ZHANG, Tianqi, et al. Degradation of cefixime antibiotic in water by atmospheric plasma bubbles: Performance, degradation pathways and toxicity evaluation. Chemical Engineering Journal, 2021, vol. 421, p. 127730. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127730>
92. ZHOU, Renwu, et al. Underwater microplasma bubbles for efficient and simultaneous degradation of mixed dye pollutants. Science of The Total Environment, 2021, vol. 750, p. 142295. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142295>
93. ZHOU, Renwu, et al. Plasmacatalytic bubbles using CeO₂ for organic pollutant degradation. Chemical Engineering Journal, 2021, vol. 403, p. 126413. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.126413>

ANEXOS

ANEXOS N° 1:

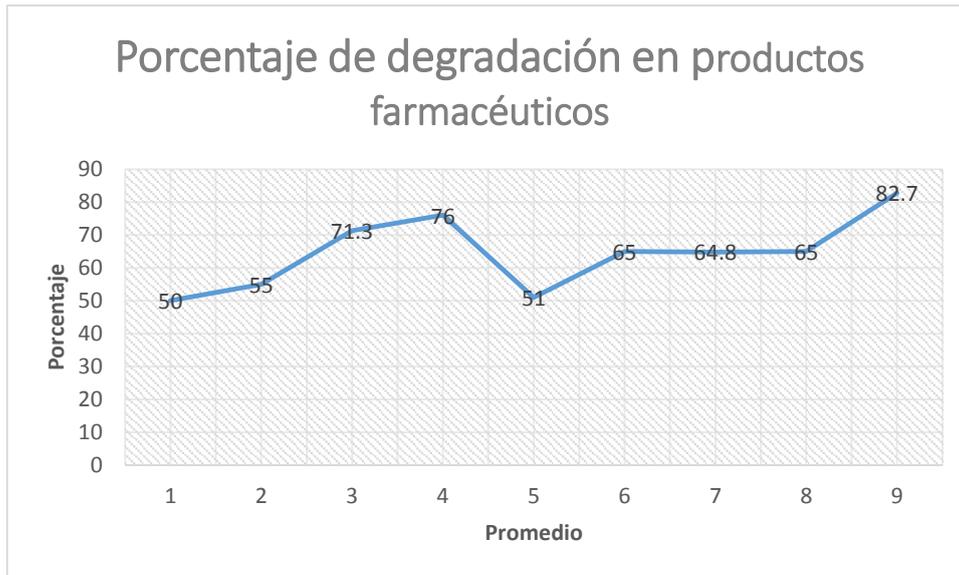
	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO
---	---------------------------------------

TITULO:

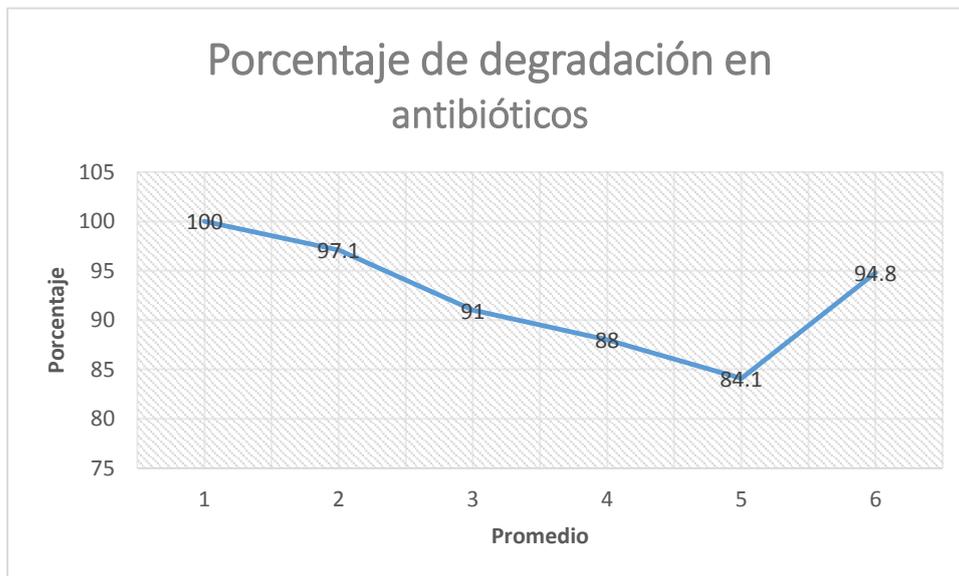
DATOS DEL AUTOR:		
PAGINAS UTILIZADAS	AÑO DE PUBLICACION	LUGAR DE PUBLICACION
TIPO DE INVESTIGACION:		
CÓDIGO:		
PALABRAS CLAVES :		
EFFECTIVIDAD DE LA TECNOLOGÍA DE PLASMA FRÍO:		
EFFECTO CATALÍTICO POTENCIADOR EN LA ELIMINACIÓN DE CONTAMINANTES DEL AGUA:		
TECNOLOGÍA DE PLASMA FRÍO MÁS USADA:		
RESULTADOS :		
CONCLUSIONES:		

Elaboración propia

Anexo N°2:



Anexo N°3:



Anexo N°4:

