



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Un Estudio de la Comparación de Tratamientos de Procesos Avanzados
de Oxidación Electroquímica de Varios Herbicidas Contaminantes en
Aguas Residuales y Suelos: Revisión Sistemática

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Carrasco Choque, Luz Marina (ORCID: 0000-0001-9062-6944)
Quispicuro Mamani, Lezly Yoseline (ORCID: 0000-0002-5083-2791)

ASESOR:

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

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

DEDICATORIA

Le dedicamos este trabajo de investigación a nuestra familia padres y hermanos que en todo momento estuvieron alentándonos y siempre están apoyándonos en todo momento para lograr nuestros objetivos.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer en primer lugar a Dios, a nuestros padres y a la universidad que nos permitió desarrollarnos y cumplir nuestro objetivo de ser profesionales.

ÍNDICE DEL CONTENIDO

CARÁTULA.....	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS	v
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	16
3.1 Tipo y Diseño de Investigación	16
3.2 Categorías, subcategoría y matriz de categorización apriorística.....	16
3.3 Escenario de estudio	18
3.4 Participantes	18
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	18
3.6 Procedimientos	18
3.7 Rigor científico	20
3.8 Método de análisis de información	20
3.9 Aspectos éticos.....	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	22
V. CONCLUSIONES	35
VI. RECOMENDACIONES.....	36
REFERENCIAS.....	37
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Clasificación de herbicidas según su naturaleza química y mecanismo de acción común</i>	6
<i>Tabla 2. Factores que afectan a la capacidad de un plaguicida</i>	9
<i>Tabla 3. Matriz de categorización apriorística</i>	17
<i>Tabla 4. Procesos avanzados de oxidación electroquímica</i>	22

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Clasificación de insecticidas</i>	5
<i>Figura 2. Cadena de contaminación del suelo y agua por herbicidas</i>	7
<i>Figura 3. Procesos electroquímicos de oxidación avanzada</i>	10
<i>Figura 4. Principales reacciones de los EAOP</i>	11

ÍNDICE DE GRÁFICOS

<i>Gráfico 1. Procedimientos de selección de artículos al estudio</i>	19
<i>Gráfico 2. Herbicidas estudiados</i>	28
<i>Gráfico 3. Porcentajes de remoción usando procesos avanzados de oxidación electroquímica</i>	30
<i>Gráfico 4. Sistema usado por los procesos avanzados de oxidación electroquímica</i>	32

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

PC : Fotocatálisis

AOP : Procesos avanzados de oxidación

E : Electroquímica

SE : Sonoelectrólisis

PE : Fotoelectrólisis

PEC : Fotoelectrocatalisis

PEF : Fotoelectro-Fenton

EF : Procesos electro-Fenton

AO : Oxidación anódica

EAOP : Procesos avanzados de oxidación electroquímica

RESUMEN

Este trabajo de investigación presenta como objetivo de estudio analizar cuáles son los tipos de tratamientos de procesos avanzados de oxidación electroquímica de los diversos herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos; para lo cual se usó un método de análisis documental empleando como instrumento la ficha de recolección, obteniendo mediante un proceso de exclusión y adición 32 artículos a nivel mundial; obteniendo lo siguiente:

El proceso avanzado de oxidación electroquímica que presenta mayor uso para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos son 3; el proceso híbrido, oxidación anódica con H_2O_2 electrogenerado y oxidación anódica. Siendo la oxidación anódica la técnica más sencilla, aplicándose en muchos casos como ensayo en blanco de otras tecnologías, por ejemplo, en PEC; también se destaca el amplio estudio de procesos combinados, híbridos y secuenciales. Los mejores resultados de los procesos avanzados de oxidación electroquímica presentan promedios de porcentajes de remoción de 90 a 100%, ello debido a su comportamiento análogo debido al bajísimo poder de oxidación del H_2O_2 , el cual genera más cantidad de cloro activo que puede oxidar más rápidamente el herbicida objetivo. El tipo de sistema usado por los procesos avanzados de oxidación electroquímica para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos es el ánodo - cátodo, siendo comprobado por el 84%, mientras que el fotoánodo – cátodo presenta un 16%; además, los ánodos más utilizados en AO son los electrodos BDD, enfocándose en la eliminación del herbicida atrazina.

Palabras clave: Herbicidas contaminantes, tratamientos de procesos avanzados, aguas residuales y suelos

ABSTRACT

The objective of this research work is to analyze which are the types of advanced electrochemical oxidation process treatments of the different herbicide pollutants in wastewater and soils; for which a documentary analysis method was used using the collection card as an instrument, obtaining through a process of exclusion and addition 32 articles worldwide; obtaining the following:

The advanced electrochemical oxidation process that presents greater use for the treatment of herbicide pollutants in wastewater and soils are 3; the hybrid process, anodic oxidation with electrogenerated H_2O_2 and anodic oxidation. Anodic oxidation is the simplest technique, being applied in many cases as a blank test for other technologies, for example, in PEC; the extensive study of combined, hybrid and sequential processes is also highlighted. The best results of the advanced electrochemical oxidation processes show average removal percentages of 90 to 100%, due to their analogous behavior due to the very low oxidation power of H_2O_2 , which generates more active chlorine that can more rapidly oxidize the target herbicide. The type of system used by advanced electrochemical oxidation processes for the treatment of herbicide pollutants in wastewater and soils is the anode-cathode, being tested by 84%, while the photoanode-cathode presents 16%; in addition, the most used anodes in AO are BDD electrodes, focusing on the removal of the herbicide atrazine.

Keywords: Polluting Herbicides, Advanced Process Treatments, Wastewater and Soil

I. INTRODUCCIÓN

La palabra "plaguicidas" es una palabra compleja que abarca todos los compuestos que se aplican para destruir o regular plagas; esto incluye insecticidas (insectos), herbicidas (malezas) y fungicidas (hongos) (Yadav Ishwar C. et al., 2016, p.511). Uno de los principales patrocinadores de la revolución verde fue encontrar formas de mejorar y usar pesticidas seguros para controlar la amplia gama de plagas de hierbas e insectos, que afectan negativamente la cantidad y calidad de la producción mundial de alimentos (Dominguez Carmen M. et al., 2018, p.1).

Pese a ello, en los últimos años, los estudios han demostrado un peligro potencial del uso de los herbicidas en la salud ambiental y humana; debido a su toxicidad, uso generalizado, estabilidad relativamente alta en agua y suelo Vagi Maria c. et al., (2020, p.1).

Pero, en las últimas décadas, el uso de herbicidas y pesticidas en actividades agrícolas se ha convertido en un estándar y necesario para controlar plagas agrícolas, aumentar la eficiencia y prevenir daños económicos notables (Rostami Saeid et al., 2021, p.1). Siendo así, que el uso de estos productos químicos en la agricultura ha aumentado progresivamente después de la Segunda Guerra Mundial (Jia Zhong Q. et al., 2020, p.1).

Los pesticidas son productos químicos que se aplican a jardines privados, terrenos agrícolas y otras áreas públicas para matar organismos indeseables (Bertero Alessia et al., 2020, p.1).

Pero, se ha calculado que la pérdida media de herbicidas agrícolas del volumen de plaguicidas aplicados es de aproximadamente el 1%, mientras que más del 95% y el 98% de los herbicidas e insecticidas pulverizados o esparcidos por todo el campo agrícola, respectivamente, pueden llegar a un destino distinto de sus especies objetivo (Petsas Andreas S. y Vagi Maria C., 2017, p.39).

Además, cada año se aplican millones de kilos de ingredientes activos de plaguicidas en las cuencas hidrográficas costeras, por lo tanto, los medios acuáticos (ríos, lagos, mar) reciben aportes directos e indirectos de plaguicidas, exponiendo inevitablemente a sus habitantes a los mismos y afectando así a su fisiología (Glfinoopoulos S. et al., 2017, p.2).

Quedando demostrado que los plaguicidas pueden tener importantes problemas de salud (Eddleston M., 2020, p.1). Si bien el uso de compuestos químicos en la agricultura está controlado para un número limitado de compuestos, la agricultura es uno de los pocos sectores en los que los productos químicos se descargan intencionalmente al medio ambiente por la razón de que destruyen cosas (Qiu Yao Wen et al., 2017, p.3).

Así mismo, se ha pensado que esos materiales son probables mutágenos, ya que comprenden componentes que desencadenan desviaciones en el ADN (Warra Aliyu A. et al., 2020, p.2). Según la organización mundial de la salud (OMS), alrededor de 1.000.000 de seres humanos se ven afectados por intoxicaciones agudas por contacto con plaguicidas (Sjerps Rosa M. et al., 2019, p.2).

Pero, estos compuestos orgánicos sintéticos son altamente biorrecalcitrantes y estables en condiciones suaves y no pueden destruirse eficazmente en las instalaciones convencionales de tratamiento de aguas residuales (Correira Núbia et al., 2020, p.2). Por tal motivo, entre los procesos de oxidación avanzados que se utilizan para eliminar herbicidas, se han desarrollado recientemente tecnologías electroquímicas a escala de laboratorio como posibles tratamientos potentes (Dewil Raf et al., 2017, p.1).

Debido a ello se plantea como problema de estudio: ¿Cuáles son los tipos de tratamientos de procesos avanzados de oxidación electroquímica de los diversos herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos?, así mismo los problemas específicos de la investigación son los siguiente:

PE1: ¿Cuál es el proceso avanzado de oxidación electroquímica que presenta mayor uso entre los investigadores para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos?

PE2: ¿Cuáles son los mejores resultados de los procesos avanzados de oxidación electroquímica para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos?

PE3: ¿Cuál es el tipo de sistema usado por los procesos avanzados de oxidación electroquímica para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos?

Y como objetivo general se tiene: Analizar cuáles son los tipos de tratamientos de procesos avanzados de oxidación electroquímica de los diversos herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos. Así mismo, los objetivos específicos son:

OE1: Determinar cuál es el proceso avanzado de oxidación electroquímica que presenta mayor uso entre los investigadores para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos

OE2: Definir cuáles son los mejores resultados de los procesos avanzados de oxidación electroquímica para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos

OE3: Detallar cuál es el tipo de sistema usado por los procesos avanzados de oxidación electroquímica para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos

Ante lo mencionado anteriormente este estudio se pretende realizar por los diversos efectos negativos que conlleva el uso de las familias de herbicidas en las aguas residuales y el recurso suelo. Ante ello, se menciona también que este estudio presenta una justificación teórica, debido a que se analizará cada tratamiento de procesos avanzados de oxidación electroquímica mediante la búsqueda y recolección de literaturas a nivel internacional, para determinar mediante los resultados sobre las eliminaciones de los tipos de herbicidas el papel que tienen y su efectividad; siendo enfocado este trabajo en los futuros estudiantes que deseen ampliar o ahondar en los tratamiento de procesos avanzados de oxidación electroquímica (EAOP), para que puedan continuar con nuevos estudios actualizados en función a los próximos años.

II. MARCO TEÓRICO

Los plaguicidas o agroquímicos orgánicos, por definición, son sustancias sintéticas o una mezcla de sustancias producidas antropogénicamente y aplicadas para prevenir, destruir o controlar cualquier especie no deseada definida como plaga de hongos o animales (Vagi Maria C. et al., 2020, p.2).

En consecuencia, estas sustancias interfieren en la producción, el procesamiento, el almacenamiento, el transporte o la comercialización de varios productos alimenticios de origen vegetal o animal (Claudle W., 2016, p.225). Además, también se incluyen en el mismo término varios productos químicos utilizados en los cultivos antes o después de la cosecha para proteger el producto básico del deterioro durante el almacenamiento y el transporte, reguladores del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes y agentes para el adelgazamiento de la fruta o la prevención de su caída prematura (Fernandez M. et al., 2022, p.4).

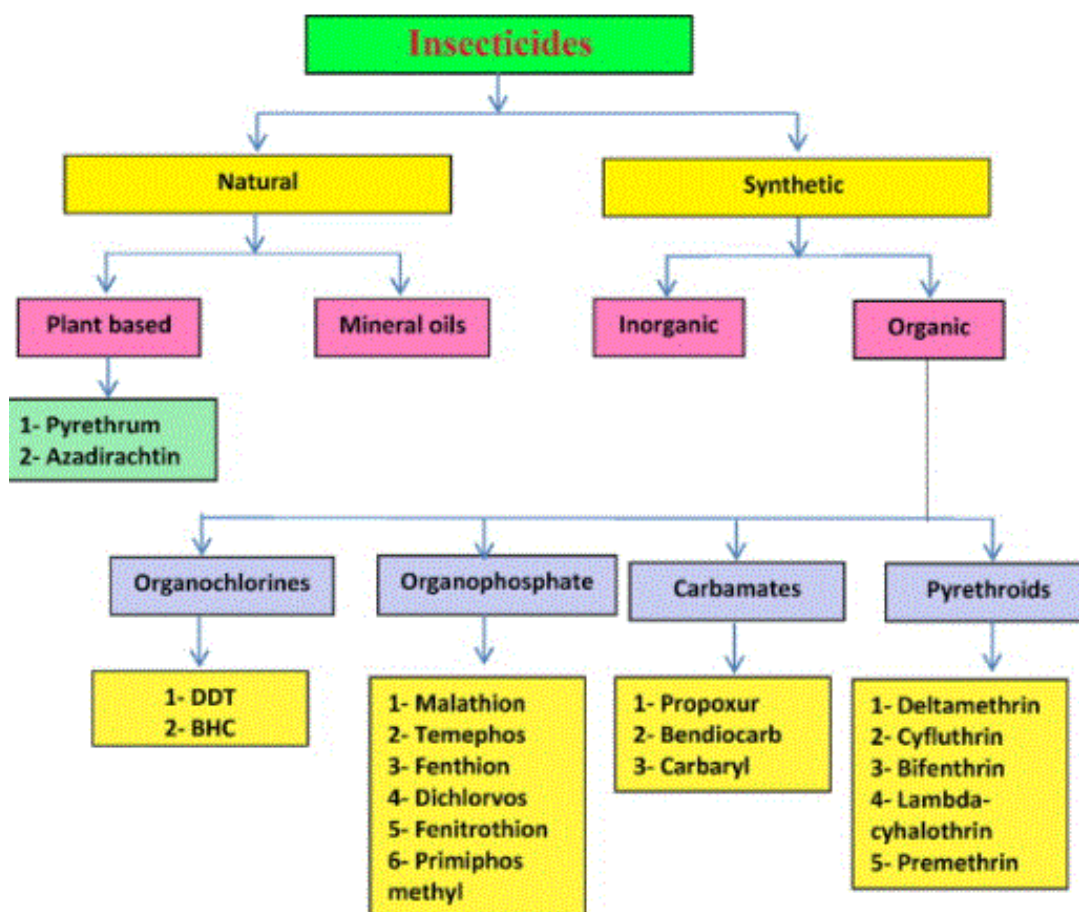
Ante ello, se expone que los plaguicidas están formados por varios compuestos de diferentes propiedades fisicoquímicas, muchos de los cuales son muy selectivos y se aplican contra determinadas especies objetivo, mientras que muchos otros son completamente no selectivos y, por tanto, eficaces para casi todas las especies de plantas como moléculas de amplio espectro (Duhan A. et al., 2020, p.2).

Según los organismos a los que se dirigen, los plaguicidas han sido clasificados por los científicos en categorías; herbicidas, insecticidas, fungicidas, nematocidas, avicidas, rodenticidas, defoliantes y desecantes son algunos de los principales grupos de plaguicidas (Marín Benito J. et al., 2020, p.1).

A pesar de su bajo contenido, son considerados contaminantes orgánicos persistentes (COP) prioritarios debido a su potencial toxicidad aguda y crónica que puede afectar los ecosistemas y la salud humana (Karim R. et al., 2021, p.3).

En función de su estructura química, los científicos también han clasificado los plaguicidas en familias químicas, como organoclorados, organofosforados, carbamatos, sulfonilureas, triazinas, cloroacetanilidas, etc., y en función de su modo de acción hacia las especies objetivo en inhibidores de la síntesis de lípidos, inhibidores de la fotosíntesis, inhibidores de aminoácidos, reguladores del crecimiento, inhibidores del metabolismo del nitrógeno y otros. (Ver figura 1).

Figura N°1: Clasificación de insecticidas



Fuente: Yadav y Devi., (2017)

Pero también, muchos de los primeros productos químicos utilizados como herbicidas incluyen ácido sulfúrico, clorato de sodio, trióxido de arsénico, arseniato de sodio, aceites de petróleo, etc. Sulfato de hierro y cobre o borato de sodio eran generalmente difíciles de manejar y/o eran tóxicos, relativamente inespecíficos o fitotóxicos para el cultivo/planta, si no se aplicaban en el momento adecuado (Da Costa M. et al., 2019, p.2). Debido a ello se ha clasificado a los herbicidas por su mecanismo de acción y su naturaleza química como se observa en la tabla 1.

Tabla N°1: Clasificación de herbicidas según su naturaleza química y mecanismo de acción común

Clase de clasificación	Ejemplos
Derivados del ácido fenoxi	2,4-D, 2,4,5-T, diclorprop o 2,4-DP, 2,4-DB, dalapon, MCPB, MCPA, mecoprop, mecoprop-P, Silvex o fenprop
Derivados de bipiridilo	paraquat, dicuat

Ureas y tioureas (fenil o ureas sustituidas)	Chlorbromuron, chlorotoluron, diuron, fenuron, fenuron-tca, fluometuron, flupyrsulfuron, isoproturon, linuron, metobromuron, metoxuron, monolinuron, monuron, monuron-tca, neburon, noruron, siduron, tebuthiuron, thidiazuron
Fósforo orgánico /fosfometilaminoácidos o inhibidores de la biosíntesis de ácidos aromáticos	Glifosato, glufosinato
Inhibidores de la protoporfirinógeno oxidasa (PROTOX) DPE o no DPE	Nitrofen, oxadiazon, carfentrazone, JV 485 y oxadiargyl
Triazinas y triazoles	
Triazinas simétricas	Simazina, atrazina, propazina, cianazina, ametrina, prometrina, terbutrina, prometón
Triazinas asimétricas	metribuzina
Anilinas sustituidas	Alacloro, acetocloro, butacloro, metolacoloro, propacloro
Amidas y acetamidas	Bensulida, dimetenamida-P, propanil
Compuestos dinitro	Binapacryl, DNOC, dinoterb, dinoseb
Triazolopirimidinas	Cloransulam-metil, diclosulam, flumetsulam, metosulam
Imidazolinonas	Imazapir, imazametabenzmetil, imazetapir, imazaquin
Ácidos benzoicos	Cloramben, dicamba, napalm
Compuestos de carbamato y tiocarbamato	Asulam, clorprofam, butilato, EPTC, di-alato, pebulate, terbutol, tiobencarb, triallatea, vernolato
Compuestos de metil uracilo	bromacilo, terbacilo
Ácidos alcanoicos policíclicos	Diclofop, fenoxaprop etil, fentiaprop, fluazifop, haloxifop
Sulfonilureas	Clorsulfuron, sulfometuron, metsulfuron metil, primisulfuron
Dintroanilina	Trifluralina, tridifano
Nitrilos	loxinil, bromoxinil

Fuente: Gupta P., (2012)

En las prácticas agrícolas intensivas para acabar con la vegetación no deseada y mantener la calidad y cantidad de la cosecha agrícola se convirtió en una práctica generalizada que condujo a un aumento de la producción mundial de alimentos (Knight et al., 2015, p.4).

Sin embargo, los plaguicidas no siempre permanecen en los suelos agrícolas donde se aplican predominantemente para la protección de los cultivos y el tratamiento de los árboles frutales, sino que inevitablemente encuentran su camino hacia los ecosistemas acuáticos a través de diversas vías, como la lixiviación, la escorrentía superficial, la deriva de la pulverización, la erosión del suelo, la volatilización y la deposición (Beasley V., 2020, p.2).

Aparte de las anteriores entradas indirectas de plaguicidas orgánicos en los ecosistemas acuáticos (transportados a los procesos físicos del agua), las entradas

directas de estos tóxicos en las masas de agua pueden considerarse los vertidos accidentales de plaguicidas (Carles Luis et al., 2021, p.3).

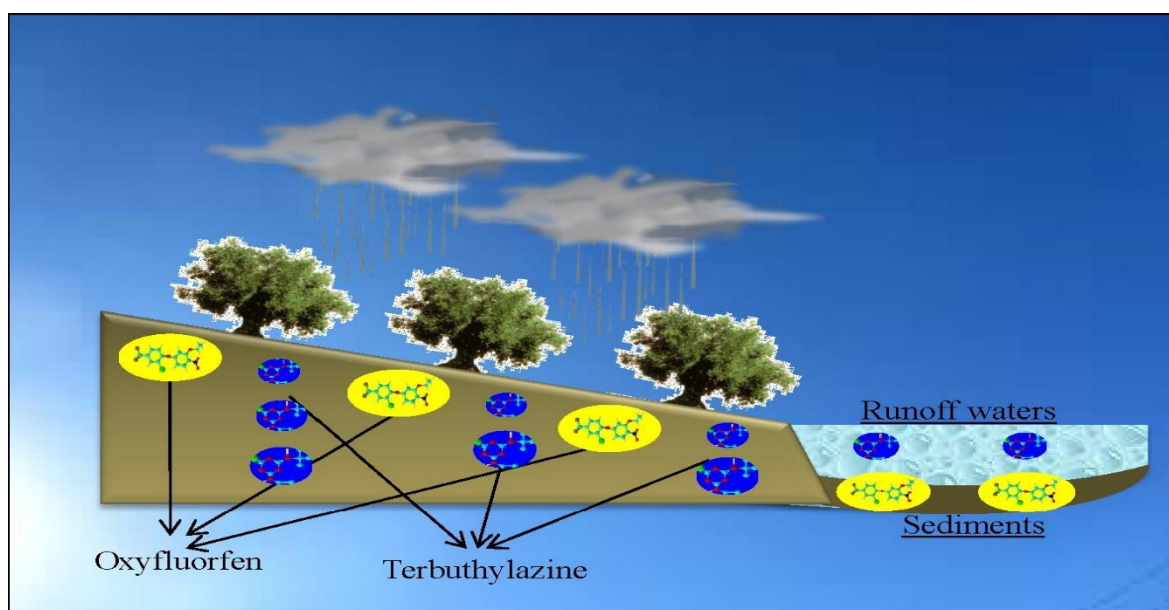
Así mismo, la cantidad de herbicida que se aleja del área de aplicación dependerá de las propiedades físico-químicas del químico y de las características agroclimáticas del sitio objetivo (Reis F. et al., 2019, p.1). En condiciones medias, la cantidad de herbicida que se pierde por el movimiento de un perfil de suelo es típicamente <0,1% a 1% de la masa aplicada, pero, en determinadas circunstancias localizadas, puede alcanzar hasta un 5% o más (Gharde Yogita et al., 2018, p.1).

Es así que, la lixiviación, el flujo de drenaje y la escorrentía superficial son las principales vías responsables del movimiento de herbicidas dentro de los suelos (Carneiro Gabriella D. et al., 2020, p.2).

Los procesos suelo / herbicida que determinan las pérdidas también son variables tanto en el tiempo como en el espacio, por tanto, es necesario comprender las características espaciales de los suelos, su hidrología y los patrones de uso de herbicidas asociados (Taak Pooja et al., 2021, p.5).

Los casos de contaminación de aguas superficiales por herbicidas revelan también la necesidad de comprender los procesos del suelo que afectan el destino de los herbicidas a escala de campo; por ello se muestra la figura 2.

Figura N°2: Cadena de contaminación del suelo y agua por herbicidas



Fuente: Calderon M. et al., (2016)

De acuerdo con la figura 2 se observa como los herbicidas como el oxifluorfenol se cotransporta con los sedimentos en la escorrentía, quedando atrapado y/o adsorbido en los agregados de partículas del suelo, debido en parte a su baja solubilidad en agua. En contraste, la disipación del suelo con los herbicidas se asocia con los procesos de lixiviación, favorecidos por su alta solubilidad en agua, baja sorción y lenta degradación.

Añadiendo que los herbicidas se eligen por su alta toxicidad para las plantas objetivo y su menor toxicidad para los animales, incluidos los humanos, pero, aun así, los impactos tóxicos directos de los herbicidas en los animales siguen siendo una preocupación grave (Liu Jintong et al., 2021, p.2).

Hay muchos grupos de herbicidas con diferentes químicas y diferentes mecanismos de acción tóxicos. Los principales mecanismos tóxicos que afectan a las plantas son a veces los mismos que afectan a los animales (Yu Ting et al., 2021, p.1). En otros casos, un herbicida puede atacar un aspecto único de la bioquímica de la planta, pero un tipo diferente de receptor bioquímico puede ser importante en los animales expuestos (Kocarek M. et al., 2018, p.2).

La toxicidad y los impactos tóxicos de la exposición a herbicidas para los anfibios varían por una serie de razones (Zuanazzi N. et al., 2020, p.1). Estos incluyen la diversidad de estructuras de herbicidas, las concentraciones utilizadas, los otros químicos presentes en la formulación (p. ej., otros herbicidas y/o surfactantes o compuestos que contienen silicio para reducir la tensión superficial para que el material se adhiera a la planta), el uso tasas, y dónde, cuándo y cómo se utilizan (Kniss A. et al., 2017, p.2).

Los plaguicidas en los recursos hídricos afectan negativamente tanto a los ecosistemas como a los seres humanos y se ha demostrado que cada año, se registra una tasa de mortalidad entre 0,4 y 1,9% (Singh S. et al., 2018, p.1).

Pero también, el contacto laboral con plaguicidas podría estar detrás del 70% de estas muertes, además, el contacto constante con dosis más bajas de plaguicidas se asoció con un grupo de síndromes a mediano y largo plazo, que involucran numerosos tumores y trastornos del sistema nervioso (Bertero et al., 2020, p.1).

Asimismo, la OMS planificó la taxonomía de los plaguicidas en función de su peligro para la salud y su rendimiento letal en ratones u otras criaturas de laboratorio administrados por vía oral o dérmica y aproximándose a la DL50 que genera mortalidad en el 50% de los animales sometidos (Ye Fei et al., 2019, p.2).

Más de 150.000 personas mueren cada año por intoxicación por pesticidas. La mayoría de las muertes resultan de autoenvenenamiento por ingestión, en lugar de exposiciones ocupacionales o accidentales, que suelen ser tóxicas o por inhalación (Shahid M. et al., 2018, p.1). La intoxicación grave por plaguicidas es más común en los países rurales de ingresos bajos y medianos donde los plaguicidas se utilizan ampliamente en la práctica agrícola de los pequeños agricultores y, por lo tanto, están disponibles gratuitamente (Owagboriaye F. et al., 2017, p.2).

El envenenamiento por insecticidas organofosforados y carbamatos causa los casos más graves y las muertes, aunque las cifras están disminuyendo a medida que los compuestos más altamente tóxicos se retiran de la práctica agrícola (Gupta P., 2018, p.2). La intoxicación grave por organofosforados requiere reanimación urgente y administración de oxígeno, atropina y oximas; mientras que el paraquat y el fosforo de aluminio son problemas importantes en algunos países, con letalidad generalmente > 50% y sin tratamientos efectivos (Vonk J. y Kraak M., 2020, p.3).

Según los datos pertinentes, entre los numerosos factores que afectan a la capacidad de un plaguicida para contaminar el agua se muestra la tabla 2.

Tabla N°2: Factores que afectan a la capacidad de un plaguicida

N°	FACTORES	DESCRIPCIÓN
1	Propiedades fisicoquímicas	solubilidad en agua, polaridad, volatilidad, valor pKa, lipofilia, etc
2	Distancia geográfica	entre el lugar de aplicación y el depósito acuático
3	Condiciones ambientales	temperatura, humedad, etc.
4	Tipo y las propiedades fisicoquímicas del suelo	contenido de materia orgánica, pH, textura del suelo, etc.
5	Presencia de un cultivo en crecimiento	-
6	Método utilizado para aplicar el plaguicida	-

Fuente: Despotovic J. et al., (2019)

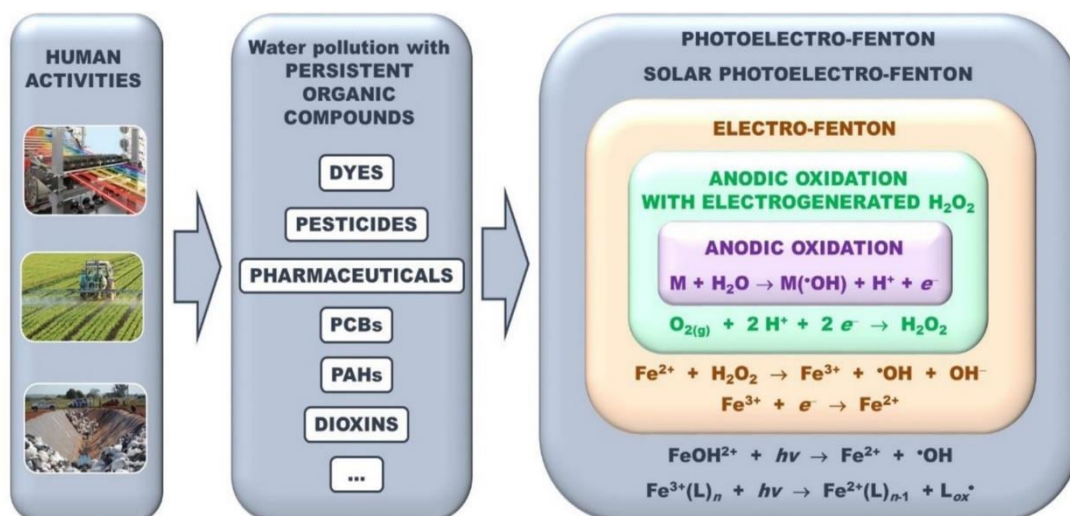
La mayoría de los herbicidas son química y fotoquímicamente estables en condiciones suaves, por ello, apenas se degradan en las instalaciones de tratamiento de aguas residuales por procesos fisicoquímicos y biológicos (abióticos y/o bióticos) convencionales (Khan J. et al., 2020, p.3). Pero, el tratamiento de suelos requiere la extracción previa de los herbicidas con surfactantes para obtener un efluente de lavado para la remediación (Zhou Z. et al., 2019, p.2).

Entre las diferentes técnicas desarrolladas para eliminar herbicidas de aguas residuales y suelos, los procesos de oxidación avanzada (POA) se han descrito como los tratamientos más eficientes (Nidheesh V. et al., 2019, p.2). Además, los POA se caracterizan por la producción in situ de radicales hidroxilo (\bullet OH) los cuales pueden reaccionar con compuestos nocivos hasta su degradación (Chaplin B. et al., 2016).

Los procesos de oxidación avanzada que involucran la generación in situ de oxidantes químicos altamente potentes como el radical hidroxilo ($\text{OH} \bullet$) han surgido recientemente como una clase importante de tecnologías para acelerar la oxidación y destrucción de una amplia gama de contaminantes orgánicos en las aguas residuales (Sonawane G. et al., 1).

Pero, se han descrito procesos más efectivos con AOP electroquímicos (EAOP) como oxidación anódica para la eliminación eficiente de contaminantes del agua, el suelo y el aire (Martinez H. et al., 2018, p.4). (Ver figura 3).

Figura N°3: Procesos electroquímicos de oxidación avanzada



Fuente: Moreira Francisca C. et al., (2017)

En las últimas dos décadas, los procesos electroquímicos de oxidación avanzada (EAOPs) han ganado una creciente atención como una clase prometedora de AOPs (Mcbeath S. et al., 2020, p.3).

El primero, más simple y más popular de los EAOP es la oxidación anódica (AO), en la que los orgánicos pueden ser directamente oxidados en la superficie del ánodo por transferencia de electrones y/o indirectamente oxidados por $\cdot\text{OH}$ débilmente fisurados en la superficie del ánodo y/o agentes en la solución principal como especies de cloro activo, O_3 , persulfatos y H_2O_2 (Sadeghfar F. et al., 2021, p.4). En la figura 4 se muestra las reacciones que presentan los EAOP más empleados.

Figura N°4: principales reacciones de los EAOP

ANODIC OXIDATION (AO)	WATER OXIDATION AT THE ANODE SURFACE: $\text{M} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{M}(\cdot\text{OH}) + \text{H}^+ + e^-$
ANODIC OXIDATION WITH ELECTROGENERATED H_2O_2 (AO-H_2O_2)	REACTIONS OF AO + H_2O_2 ELECTROGENERATION AT THE CATHODE: $\text{O}_{2(\text{g})} + 2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$
ELECTRO-FENTON (EF)	REACTIONS OF AO, AO-H_2O_2 + FENTON'S REACTION: $\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \cdot\text{OH} + \text{OH}^-$ Fe^{3+} REGENERATION TO Fe^{2+} AT THE CATHODE: $\text{Fe}^{3+} + e^- \rightarrow \text{Fe}^{2+}$
PHOTOELECTRO-FENTON (PEF) SOLAR PHOTOELECTRO-FENTON (SPEF)	REACTIONS OF AO, AO-H_2O_2, EF + PHOTOLYSIS OF FeOH^{2+}: $\text{FeOH}^{2+} + h\nu \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \cdot\text{OH}$ PHOTOLYSIS OF FERRICARBOXYLATE COMPLEXES: $\text{Fe}^{3+}(\text{L})_n + h\nu \rightarrow \text{Fe}^{2+}(\text{L})_{n-1} + \text{L}^{\cdot\text{ox}}$

Fuente: Sadeghfar F. et al., (2021)

Cuando la AO se realiza junto con la electrogeneración catódica de H_2O_2 , el proceso se denomina oxidación anódica con H_2O_2 electrogenerado (AO- H_2O_2) (Martínez H. et al., 2018, p.3). Así mismo, la producción electroquímica de H_2O_2 con la adición de Fe^{2+} a la masa origina el común y ampliamente estudiado proceso de electro-Fenton (EF), en el que se producen $\cdot\text{OH}$ adicionales en la masa a partir de la reacción de Fenton (Moreira F. et al., 2017, p.3).

Otros EAOPs como la peroxi-coagulación (PC), el Fered-Fenton, la peroxidación electroquímica y el sonoelectro-Fenton también se han aplicado a la remediación de varias aguas residuales (Brillas E. et al., 2016, p.1). Pero, debido a los elevados costes de capital y de explotación de los EAOP, también se ha propuesto el desarrollo

de estrategias de tratamiento combinadas que incluyen procesos biológicos, coagulación química, electrocoagulación (EC) y procesos de membrana para optimizar el tratamiento de las aguas residuales. para optimizar el tratamiento de las aguas residuales (Moreira F. et al., 2016, p.2).

El presente estudio cuenta con 25 antecedentes acerca de los tratamientos de procesos avanzados de oxidación electroquímica de varios herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos, siendo mostrado 10 de los más resaltantes a continuación:

Samarghandi M. et al., (2019), en su estudio experimental utilizó una celda electroquímica (100 cc) equipada con electrodos de ánodo de SS316 y grafito y el electrodo de cátodo de SS316 en forma paralela a una distancia de 1 cm entre sí para degradar el ácido 2,4-Diclorofenoxi acético (2,4-D) herbicida. Donde el método experimental consistió en mostrar que la eficiencia de remoción del herbicida 2,4-D en concentraciones iniciales de 50 y 100 mg/L en condiciones óptimas (pH = 7, tiempo de electrólisis = 50 min y densidad de corriente = 3 mA/cm²) utilizando el electrodo de ánodo de grafito fue de 73,5% y 47,76%, respectivamente. Presentando como resultado que la mayor remoción de 2,4-D en el proceso electroquímico fue de 95,87% para una concentración inicial de herbicida de 50 mg/L por electrodo de ánodo de grafito. Pudiendo concluir que los resultados revelaron que el proceso electroquímico con electrodo de ánodo de grafito tiene una eficiencia aceptable en la eliminación del herbicida 2,4-D y puede usarse como un pretratamiento apropiado en el tratamiento de aguas residuales que contienen compuestos resistentes como los herbicidas del grupo fenoxi (2,4-D).

Souza Fernanda et al., (2016), en su estudio evaluó el efecto de aumentar el número de compartimentos en un mismo módulo electroquímico (DiaCell 1001) en el tratamiento de aguas residuales sintéticas con pesticida 2,4-D y cloruros. Donde los resultados del estudio demuestran que un aumento en el número de células y una disminución en la densidad de corriente resultante a la misma intensidad de corriente provocaron un aumento en las tasas de remoción y mineralización. Se logró una mineralización completa en todas las configuraciones probadas. La producción de especies peligrosas, como cloratos y percloratos, también se ve afectada por la cantidad de celdas apiladas, lo que hace que se coloquen más abajo en la pila debido a la gran cantidad de celdas. Pudiendo concluir que no se observan diferencias claras

en la eficiencia electroquímica entre las diferentes configuraciones probadas. Sin embargo, se observa una clara mejora en la eficiencia energética (g kWh⁻¹) con un aumento en el número de celdas apiladas debido al potencial de pila reducido.

Forti Juliane C. et al., (2020), en su artículo científico presenta como objetivo degradar el 2,4-D presente en Tordon mediante diferentes procesos oxidativos, tales como oxidación anódica, reacciones de Fenton, procesos de electro-Fenton, fotoelectrooxidación y fotoelectro-Fenton. Para lo cual se preparó un electrodo de óxido con la composición nominal Ti/Ru 0.3 Ti 0.7 O₂ y se insertó en una celda electroquímica que contenía 100 mL de 0.05 mol L⁻¹ Na₂SO₄ (pH 3) y 100 mg L⁻¹ de Tordon. Donde los resultados demostraron la oxidación de 2,4-D en todos los procesos oxidativos, y se obtuvieron resultados significativos para la remoción de TOC y DQO. Pudiendo concluir que los procesos que formaron subproductos de cadena corta no generaron un estrés oxidativo significativo durante el crecimiento de las semillas y, por lo tanto, las pruebas de germinación de semillas fueron exitosas.

Santos Tarciso E. et al., (2016), evaluó la naturaleza electrocatalítica de ambos electrodos mediante la degradación electroquímica de un compuesto orgánico persistente (herbicida atrazina) aplicando 10 y 20 mA cm⁻², y comparado, por primera vez, con un electrodo no activo con mayor poder de oxidación (diamante dopado con boro (BDD)). Donde los resultados mostraron claramente que los electrodos obtenidos por el método IL lograron mayores eficiencias de degradación. Comparado con el ánodo BDD, el electrodo Ti/(RuO₂)_{0.8}-(Sb₂O₅)_{0.2} mostró un desempeño similar para remover atrazina (98% en 100 min), evidenciando una mejora en su poder de oxidación como ánodo activo.

Rubí Juárez H. et al., (2016), en su trabajo de investigación tiene como objetivo la remoción del herbicida glifosato por electrólisis con ánodos de diamante dopados con boro. Donde, los resultados muestran que es posible lograr una mineralización completa de este herbicida y señalan el papel clave del electrolito de soporte en la eficiencia del proceso. Además, en cuanto a la influencia de la densidad de corriente de operación, se encuentra que el proceso es más eficiente a bajas densidades de corriente pero en estas condiciones no es posible lograr la mineralización completa del contaminante. Concluyendo que el glifosato se puede eliminar de las aguas residuales mediante electrólisis con ánodos de diamante.

Lima Nayara S. et al., (2019), en su estudio presenta como objetivo evaluar las capacidades de oxidación electroquímica (ECO) como tecnología emergente amigable con el medio ambiente. Donde, se estudió el efecto de la variación de la densidad de corriente (j), el pH y la concentración inicial de electrolito de soporte al emplear ánodos expandidos DSA® de Ti/Ru 0.36 Ti 0.64 O₂; se prestó especial atención a la influencia del pH debido a la especiación característica del glifosato que puede influir en el desempeño de ECO. Donde los resultados muestran una mineralización casi completa (>90 %) del glifosato puro después de 3 h de tratamiento ECO con NaCl 0,15 M a 40 mA cm⁻² y pH 3,0. Mientras tanto, solo el 60 % de la mineralización se logró en condiciones idénticas al tratar productos pesticidas comerciales con glifosato.

Zhu Kai et al., (2019), en su artículo científico, investigó las capacidades de oxidación anódica de electrodos de grafito y platino (Pt) para la degradación del herbicida atrazina en medio acuoso sintético. La electrooxidación de atrazina bajo varios electrolitos de apoyo y corrientes aplicadas se llevó a cabo en un reactor no dividido con diferentes materiales de electrodos. Donde el ánodo de grafito exhibió una buena capacidad de oxidación para la degradación de 10 mg L⁻¹ de atrazina en condiciones de pH casi neutro, logrando una eficiencia de eliminación superior al 90 % en todos los casos en 60 min. Se obtuvo una eficiencia de eliminación de atrazina del 100 % con ánodo de grafito en 60 min de tiempo de reacción con una corriente aplicada de 60 mA, concentración de NaCl de 0,05 mol L⁻¹, y pH inicial 6,8; sin embargo, se logró menos del 60% de remoción con el ánodo de Pt bajo las mismas condiciones.

De matos D. et al., (2020), en su artículo, presenta como objetivo diseñar y construir un reactor electroquímico de electrodos concéntricos y alimentación tangencial (RECT), es necesario caracterizarlo y estudiar su comportamiento. Donde el estudio experimental de la distribución del tiempo de residencia (RTD) se realizó para caudales de $2,78 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, $8,33 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y $13,9 \times 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Según los valores obtenidos del número Pe (0,67-1,52), el RECT se ajusta como tubular con gran dispersión. Presentando como resultado una cinética de decaimiento de pseudo-primer orden con el decaimiento de la concentración de diurón y se obtuvo un 30% de mineralización en 180 min de proceso, teniendo un volumen total de $4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ y una concentración inicial de Diuron comercial en 215,83 mg dm⁻³. Once subproductos fueron identificados por análisis HPLC-MS y, a partir de esto, fue posible proponer una ruta de degradación del diurón. De estas observaciones se

puede inferir que el reactor electroquímico estudiado tuvo aplicabilidad en la degradación de compuestos recalcitrantes.

Pereira Gabriel F. et al., 2017), presento como metodología experimental la degradación electroquímica de tebutiurón (TBH; 100 mg L^{-1}) en condiciones de transporte de masa mejoradas (utilizando una celda de flujo con un ánodo de BDD), mientras que se investigó el efecto de pH de la solución, la ausencia y presencia de Cl^- iones en el solución electrolítica de apoyo ($0,1 \text{ mol L}^{-1} \text{ Na}_2 \text{SO}_4$) y densidad de corriente ($j = 10, 30, 50 \text{ mA cm}^{-2}$) en la degradación del herbicida y los intermedios de oxidación resultantes. Como resultados, las condiciones de transporte masivo mejoradas condujeron a rendimientos significativamente mejorados, en comparación con los resultados anteriores obtenidos con un común celda electroquímica. El pH de la solución o la presencia de iones Cl^- no afectaron la tasa de eliminación de TBH. Sin embargo, la tasa de remoción de DQO, a pesar de ser independiente del pH, fue significativamente más rápida en presencia de iones Cl^- , muy probablemente debido a resultados falsos causados por intermediarios organoclorados.

Thiam Abdoulaye S. et al., (2019), en su trabajo de investigación explora el papel del material del electrodo y la capacidad de oxidación de los procesos electroquímicos de oxidación avanzada (EAOP), como la electrooxidación (EO) con o sin H_2O_2 producción, electro-Fenton (EF), y fotoelectrón-Fenton UVA (PEF), en la degradación del metolaclo. El rendimiento de los EAOP que utilizan diamante dopado con boro (BDD) o Pt como ánodo se comparó a partir del análisis de la cinética de descomposición, el perfil de mineralización y el consumo de energía utilizando una pequeña celda de lote no dividida. Y los resultados muestran que la concentración de metolaclo siempre decae siguiendo una cinética de pseudo-primer orden. Utilizando el ánodo de Pt, ninguno de los procesos alcanza el 30% de mineralización, incluido el PEF. Por el contrario, el ánodo de BDD mostró una mayor tasa de mineralización, lo que permitió una mineralización casi total en PEF debido a la acción sinérgica de la luz UVA y los radicales hidroxilo oxidantes formados en la mayor parte de la reacción de Fenton, así como en el BDD, que tiene una gran reactividad para oxidar.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y Diseño de Investigación

En nuestra sociedad podemos encontrar problemáticas que generaran interrogativas en el ser humano quien se encargará de estudiarlos con el fin de generar nuevos conocimientos o incrementar los ya obtenidos para llegar a resolver o intentar solucionar los fenómenos estudiados.

Tipo de investigación: este trabajo de investigación es aplicada, de esta manera se desarrollan nuevos conocimientos a través de la aplicación de los conocimientos sobre la problemática surgida en la sociedad y determina si estos nuevos conocimientos pueden ser aplicados beneficiosamente sin filtrar lo obtenido (Vera, 2008, p.147). En el estudio de la Comparación de Tratamientos de Procesos Avanzados de Oxidación Electroquímica de Varios Herbicidas Contaminantes en Aguas Residuales y Suelos nos permitió aplicar los conocimientos en los propósitos determinados.

Diseño de investigación: se hizo uso de un diseño narrativo el cual implica según Hernández (2014, p.7) tener un conocimiento profundo de los hechos relatados y vividos por las personas que han estado en el tiempo y espacio del fenómeno dado. Describiendo así el investigador los hechos narrados de manera que no implique lo subjetivo.

El diseño es narrativo de tópico, ya que, se encuentra enfocado en un determinado tema, de cual se recolecta información de diferentes tipos de investigadores (Salgado, A., 2007, p.73). Es decir, para el presente estudio se realizará una revisión bibliográfica del estudio de la Comparación de Tratamientos de Procesos Avanzados de Oxidación Electroquímica de Varios Herbicidas Contaminantes en Aguas Residuales y Suelos.

3.2 Categorías, subcategoría y matriz de categorización apriorística

La construcción de categorías y sub categorías surge de los problemas y objetivos específicos como se describe a continuación:

Tabla N°3: Matriz de categorización apriorística

PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CATEGORÍAS	SUB CATEGORÍAS	CRITERIO 1	CRITERIO 2
¿Cuál es el proceso avanzado de oxidación electroquímica que presenta mayor uso de tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos?	Analizar el proceso avanzado de oxidación electroquímica que presenta mayor uso de tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos	Proceso de oxidación electroquímica (Nidheesh V. et al., 2019, p.2)	Fotocatalisis Oxidación anódica Tratamientos combinados (Moreira F. et al., 2016, p.2).	De acuerdo al sistemas electroquímico usado	De acuerdo a la naturaliza del material del ánodo
¿Cuáles son los mejores resultados de los procesos avanzados de oxidación electroquímica para el tratamiento de herbicidas?	Clasificar los mejores resultados de los procesos avanzados de oxidación electroquímica para el tratamiento de herbicidas	Mejores resultados de los procesos avanzados de oxidación electroquímica (Dominguez Carmen M. et al., 2018, p.1).	Por el porcentaje de degradación Por el tiempo de degradación (Sonawane G. et al., 1).	De acuerdo al tipo de proceso utilizado	De acuerdo a la cantidad de estudios con mejores resultados
¿Cuál es el tipo de sistema usado por los procesos avanzados de oxidación electroquímica para el tratamiento de herbicidas?	Evaluar el tipo de sistema usado por los procesos avanzados de oxidación electroquímica para el tratamiento de herbicidas.	Tipo de sistema de los procesos avanzados de oxidación electroquímica (Kocarek M. et al., 2018, p.2).	Sistema ánodo Sistema cátodo Sistema fotoánodo (Khan J. et al., 2020, p.3).	De acuerdo al tipo de contaminante	De acuerdo al tipo de tratamiento de procesos avanzados de oxidación electroquímica usado

Fuente: Elaboración propia

3.3 Escenario de estudio

Escenario: lugar o espacio donde se desarrollan ciertos hechos, situaciones o fenómenos.

En el presente trabajo el escenario de estudio lo forman todos los escenarios encontrados en los artículos recolectados que fueron usados como respaldo para la investigación y el desarrollo de ella. En el escenario tenemos presente a los laboratorios, campos de investigación, bibliotecas y otros.

3.4 Participantes

Las plataformas usadas formaron parte de participantes en el presente estudio, ya que a través de ellas se extrajeron la información necesaria para el desarrollo del presente trabajo de investigación, se hizo uso de artículos científicos al ser esta una revisión sistemática a través de los portales como: Sciencedirect, Redalyc y Pubmed.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Análisis documental: esta técnica implica la recolección de información de diferentes fuentes y el análisis para la extracción de ideas más relevantes. Se genera a través de la síntesis de toda la información tomada un documento nuevo que representará o será la guía para el lector, así encontrará de manera más fácil la información a recuperar.

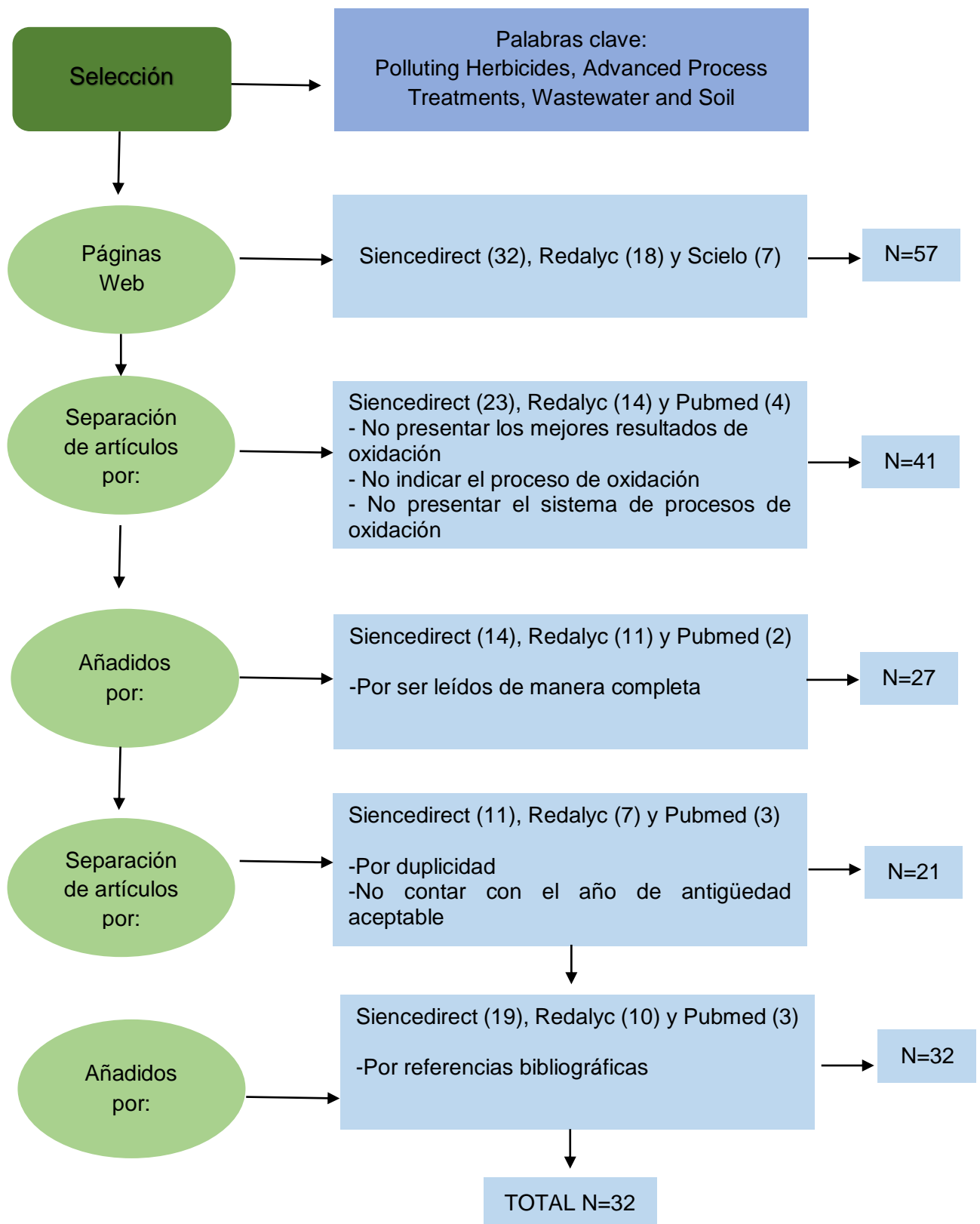
Instrumentos de recolección de datos

Ficha de análisis de contenido: este es un instrumento que nos permitirá realizar el análisis documental, analizando el contenido de los documentos extraídos.

3.6 Procedimientos

Los artículos tomados fueron seleccionados de acuerdo a las palabras que se indican a continuación:

Grafica N°1: Procedimientos de selección de artículos al estudio



Elaboración propia

3.7 Rigor científico

En busca de la transparencia en una investigación se emplea el cumplimiento del rigor científico para Castillo E. y Vásquez M.L (2003) la investigación debe cumplir con tres criterios:

Primer criterio empleado es la credibilidad, es un criterio sumamente importante permitiendo demostrar la realidad de los hechos o de los sucesos vividos por las personas, plasmando en los resultados la realidad de lo sucedido donde lo estudiado tenga relación con los resultados obtenidos (Salgado Lévano, 2007, p.6). Por ello en el presente estudio se plasmaron los hechos como se han vivido teniendo la veracidad de la información.

Segundo criterio aplicado, confirmabilidad: denominado también objetividad, con este criterio se asegura la veracidad de las descripciones que realizan los sujetos participes de la investigación. Conociendo además las limitaciones del investigador, esperando así que controle los juicios que se podrían generar en el estudio buscando así la neutralidad (Noreña et al., 2012, p.6). Se aplicó este criterio usando la información de los artículos científicos de manera objetiva evitando tergiversar lo extraído.

Último criterio, transferibilidad: este criterio permite aplicar los resultados obtenidos a otros contextos, es decir, teniendo un conocimiento exhaustivo a través de las descripciones del contexto y de los sujetos participantes. Esta descripción permitirá comparar lo común con otras investigaciones y lo específico (Noreña et al., 2012, p. 5). Se aplicó este criterio haciendo descripciones minuciosas del estudio en la comparación de tratamientos de procesos avanzados de oxidación electroquímica de varios herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos.

3.8 Método de análisis de información

El método usado fue el de triangulación, mediante esta técnica se usó diferentes fuentes y métodos. El método mas usado es la matriz de categorización el cual es dividido en categorías y sub categorías.

Las categorías se dividen en tres:

- ✓ Proceso de oxidación electroquímica.

- ✓ Mejores resultados de los procesos avanzados de oxidación electroquímica.
- ✓ Tipo de sistema de los procesos avanzados de oxidación electroquímica.

Las sub categorías se dividen en:

- ✓ Foelectrocatalisis
- ✓ Oxidación anódica
- ✓ Tratamientos combinados
- ✓ Por el porcentaje de degradación
- ✓ Por el tiempo de degradación
- ✓ Sistema ánodo
- ✓ Sistema cátodo
- ✓ Sistema fotoánodo

3.9 Aspectos éticos

Para el cumplimiento de la veracidad de la información y transparencia de lo investigado se usaron los siguientes criterios:

Norma ISO 690, a través de este aspecto ético se respetó la autoría, empleando de manera correcta las referencias bibliográficas usadas para el desarrollo de la investigación.

Turnitin, este programa permite verificar la originalidad del contenido.

Guía de productos observables de la Universidad Cesar Vallejo, se siguió esta guía respetando así el código de ética.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso avanzado de oxidación electroquímica que presenta mayor uso entre los investigadores para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos se analiza mediante la tabla 4:

Tabla N° 4: Procesos avanzados de oxidación electroquímica

Grupo químico / Contaminante	Sistema (ánodo, cátodo)	Mejores resultados	Art.
OXIDACIÓN ANÓDICA			
ácido clorofenoxi			
2,4-D	Planta de flujo con celda Diacell 1001, 10 compartimentos (BDD, SS ^b)	100 % de degradación (130 min), $k_1 = 0,031 \text{ min}^{-1}$, 100 % de eliminación de TOC	Sousa Fernanda et al. (2016)
	Célula cúbica (grafito, SS)	70% de degradación. Subproductos detectados	Samargandi Mohammad R. et al. (2019)
	Célula cúbica (Ti/Ru _{0,3} Ti _{0,7} O ₂ , Pt)	42 % de degradación, 21 % de eliminación de TOC, 19 % de eliminación de DQO, ACE = 20 %	Forti Juliane et al. (2020)
Difenil éter			
Oxifluorfenol	Celda de filtro-prensa (BDD, SS)	100 % de degradación, 98 % de eliminación de SDS. 650 mg L ⁻¹ SO ₄ ²⁻ liberado	Santos Tarciso E. et al. (2016)
organofosforados			
glifosato	Con celda de filtro-prensa (BDD, SS)	Reducción TOC: 38% (Na ₂ CO ₃), 80% (Na ₂ SO ₄), 100% (NaCl). Subproductos detectados	Rubí-Juárez H. et al. (2016)
	Celda cilíndrica (Ti/Ru _{0,36} Ti _{0,64} O ₂ , SS)	100 % de eliminación de TOC (herbicida puro), 60 % de eliminación de	Lima Nayara S. et al. (2019)

		TOC (herbicida comercial)	
triazina			
atrazina	Celda cilíndrica (Pt o grafito)	Degradación: 94% (grafito, Na ₂ SO ₄), 96% (grafito, NaCl), 24% (Pt, Na ₂ SO ₄), 38% (Pt, NaCl)	Zhu Kai et al. (2019)
metribuzina	Vaso de precipitados (PbO ₂ / WO ₃ , Ti)	100 % de degradación, $k_1 = 0,040 \text{ min}^{-1}$, 76 % de reducción de DQO, ACE = 2,5 %. Subproductos detectados	Yang Yang et al. (2019)
Urea			
diurón	Célula cilíndrica (Co ₃ O ₄ /fieltro de grafito, Pt) (Ti/Ru _{0,36} Ti _{0,64} O ₂ , SS)	100 % de degradación, 67 % de eliminación de DQO 30 % de eliminación de TOC, MCE = 2,0 %, EC _{TOC} = 0,67 kWh (g TOC) ⁻¹ . Subproductos detectados	Zhu Kai et al. (2019) De Matos D. et al. (2020)
Tebutiuron	Planta de flujo con una celda	100 % de degradación (Na ₂ SO ₄ y/o NaCl), 80 % de reducción de DQO (Na ₂ SO ₄), 100 % de reducción de DQO (Na ₂ SO ₄ + NaCl). Subproductos detectados	Pereira Gabriel et al. (2017)
OXIDACIÓN ANÓDICA CON H₂O₂ ELECTROGENERADO			
cloroacetoanilida			
metolacloro	Celda cilíndrica (BDD, difusión de aire con generación de H ₂ O ₂)	100 % de degradación, $k_1 = 1,47 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, E _{EO} = 86,2 kWh m ⁻³ orden ⁻¹ , 58 % de eliminación de	Thiam y Salazar (2019)

		TOC, MCE = 7,1 %, EC _{TOC} = 2,32 kWh (g TOC) ⁻¹	
triazina			
metribuzina	Celda cilíndrica (BDD, difusión de aire con generación de H ₂ O ₂)	100 % de degradación (180 min), $k_1 = 0,0189 \text{ min}^{-1}$, 95 % de eliminación de TOC, MCE = 2,6 %. Subproductos detectados	Guelfi et al. (2019)
Contaminante	Sistema fotoelectrocatalisis (PEC) (fotoánodo, cátodo)	Mejores resultados	Art.
organoclorados			
pentaclorofenol	Célula cilíndrica de vidrio sobre dos rayos UVA de 36 W (GO ^b /TiO ₂ NTs, Cu)	92 % de degradación, EC = 2,72 kWh m ⁻³ . Subproductos detectados	Rajput H. et al. (2018)
triazina			
atrazina	Con una luz UVC de 5,4 mW cm ⁻² (Ti/TiO _{2-x} , grafito)	55% de degradación (AO), 100% de degradación (PC), 100% de degradación a los 60 min (PEC).	Komtchou et al. (2016)
	Celda cilíndrica de cuarzo sobre una luz Xe de 1000 W a $\lambda = 360 \text{ nm}$ (WO ₃ , Pt)	100% de degradación (180 min), $k_1 = 0,0233 \text{ min}^{-1}$, , 72 % de eliminación de TOC.	Fernández-Domene R. et al. (2018)
	Celda cilíndrica de cuarzo sobre luz Xe de 500 W (B,F-TiO ₂ NTs, Ag)	21 % de degradación (AO), 30 % de degradación (PC), 76 % de degradación (PEC)	Wang Huan et al. (2019)
Urea			
diurón	Celda cilíndrica de cuarzo sobre una luz Xe de 1000	73 % de degradación, $k_1 = 0,0035 \text{ min}^{-1}$,	Fernández-Domene R.

	W a $\lambda = 420 \text{ nm}$ (WO_3 , Pt)	Cl^- y NO_3^- detectados	et al. (2018)
Contaminante	Sistema (ánodo, cátodo)	Mejores resultados	Art.
PROCESO HÍBRIDO			
OXIDACIÓN ANÓDICA/UV (FOTOELECTRÓLISIS, PE)			
Ácido benzoico			
clopiralida	Célula cilíndrica bajo luz UVC de 9 W ($\text{MMO-RuO}_2 \text{ TiO}_2$ o BDD, Pt)	100 % de degradación (BDD), 43 % de eliminación de DQO (BDD), 89 % de degradación (MMO), 47 % de eliminación de DQO (MMO)	Santos Gessica Os et al. (2020)
ácido clorofenoxi			
2,4-D	Con una celda de filtro-prensa con un sitio de cuarzo sobre una luz UVC de 15 W (BDD, SS)	$k_1 = 0,62 \text{ h}^{-1}$ ($\text{Na}_2 \text{SO}_4$), $k_1 = 0,72 \text{ h}^{-1}$ (NaCl), 100 % de eliminación de TOC ($\text{Na}_2 \text{SO}_4$) 78 % de descomposición de TOC (NaCl) Subproductos detectados Iones inorgánicos detectados	Sousa F. et al. (2016)
Difenil éter			
Oxifluorfenol	Con una celda de filtro prensa sobre una luz UVC de 15 W (BDD, SS)	100 % de degradación, 100 % de eliminación de SDS. 1,2 g $\text{L}^{-1} \text{SO}_4^{2-}$ liberado	Dos Santos E. et al. (2017)
glifosato	Con una celda de filtro prensa sobre una luz UVC de 4 W (BDD, SS)	Reducción TOC: 78% ($\text{Na}_2 \text{CO}_3$), 92% (NaCl), 100% ($\text{Na}_2 \text{SO}_4$).	Rubí-Juárez H. et al. (2016)

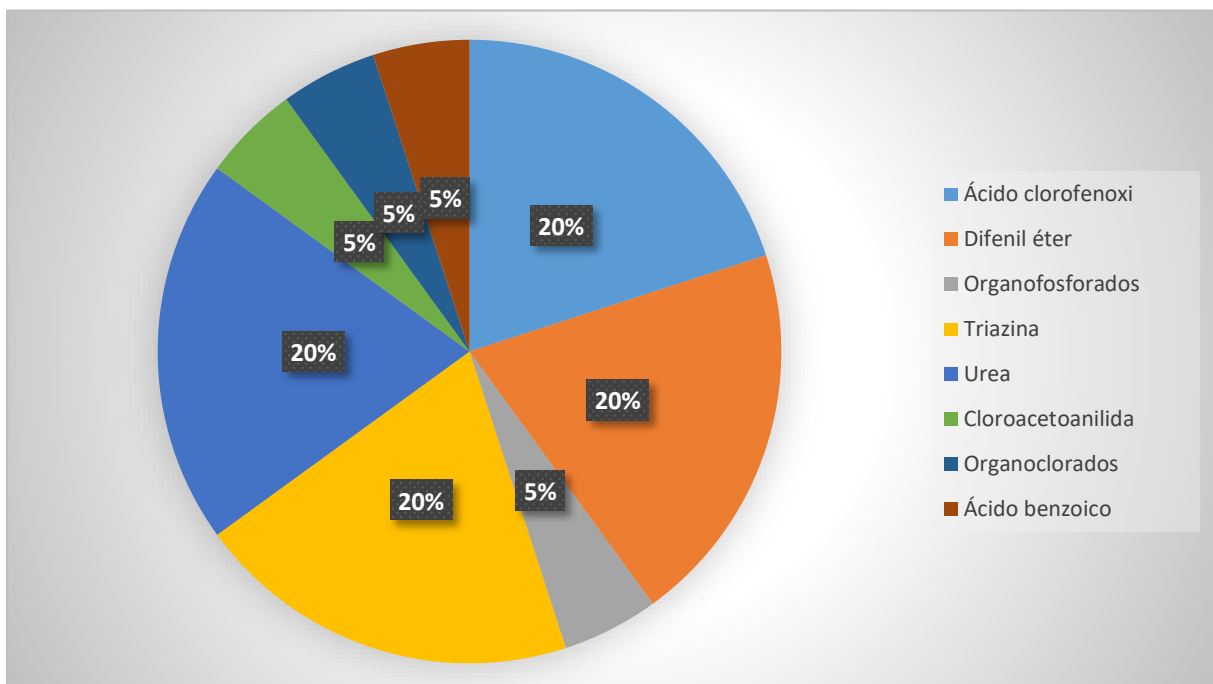
		iones inorgánicos detectados	
	Con una celda de filtro-prensa y una luz UVC sumergida de 9 W (DSA-Ti/Ir _{0.3} Ti _{0.7} O ₂ o BDD, SS)	Reducción de TOC: 100 % (DSA) con MCE = 18 %, 67 % (BDD) con MCE = 13 %. Subproductos detectados iones inorgánicos detectados	Sánchez-Montes I. et al. (2020)
Urea			
Tebutiuron	Con una celda de filtro-prensa sobre una luz UVC de 125 W (Ti/Ir _{0.3} Ti _{0.7} O ₂ , SS)	100 % de degradación (90 min), 95 % de eliminación de TOC, MCE = 6 %, EC _{TOC} = 6 kWh (g TOC) ⁻¹ . Subproductos detectados	Montes I. et al. (2017)
OXIDACIÓN ANÓDICA/US (SONOELECTRÓLISIS, SE)			
ácido clorofenoxi			
2,4-D	Con celda Diacell 401 hasta 3 compartimentos, US de 24 kHz y 200 W (BDD, BDD)	Para 3 compartimentos: 100 % de degradación, 100 % de eliminación de DQO, 100 % de eliminación de TOC. Subproductos detectados	Sousa F. et al. (2016)
Difenil éter			
Oxifluorfenol	US de 24 kHz y 200 W (BDD, SS)	100 % de degradación, 100 % de eliminación de DQO, 100 % de eliminación de TOC.	Dos Santos E. et al. (2017)

		900 mg L ⁻¹ SO ₄ ²⁻ liberado	
FOTOELECTROLISIS, SONOELECTROLISIS			
triazina			
atrazina	Con celda filtro-prensa sobre luz UVC de 15 W, US de 24 kHz y 200 W (BDD, SS)	100 % de degradación: 420 min (AO o SE) 300 min (PE), 100 % de eliminación de TOC: 360 min (AO) 300 min (SE) 180 min (PE)	Dos Santos et al. (2018)
	Con un depósito con luz UVC de 9 W y US de 60 W (Ti/Ru _{0,3} Ti _{0,4} O ₂ , Ti)	100 % de degradación: 50 min (PE o SE) 30 min (PE/SE) 98 % de eliminación de TOC (PE/SE) EC = 3,36 kWh m ⁻³	Pinto Camila F. et al. (2019)
OTROS TRATAMIENTOS HÍBRIDOS			
ácido clorofenoxi			
2,4-D	5c con 40 g L ⁻¹ GAC ^b (β-PbO ₂ , SS)	72 % de degradación (pH 3,0, sin GAC) 92 % de degradación (pH 3,0, con GAC). Subproductos detectados	Dargahi Abdollah et al. (2018)
Urea			
diurón	Celda cilíndrica, O ₃ + H ₂ O ₂ , electro-peroxona (Pt, RVC con electrogeneración de H ₂ O ₂) 100 mL de 40 mg L ⁻¹ de herbicida, 0.050 M Na ₂ SO ₄ , pH 10, caudal de O ₃ = 260 mg L ⁻¹ h ⁻¹ , 24 °C, I = 50 mA, 180 min	100 % de degradación (30 min), 92 % de eliminación de TOC, MCE = 9 %	Bavasso I. et al. (2020)
PROCESO SECUENCIAL			

Difenil éter			
Oxyflourfen	Tratamiento biológico seguido de AO con un sistema de flujo con una celda Diacell 101 (BDD, SS)	88 % de degradación tras tratamiento biológico. 100 % de degradación y 100 % de eliminación de TOC tras AO a $Q = 26 \text{ Ah L}^{-1}$, 100 % de eliminación de TOC tras AO añadiendo $0,035 \text{ M Na}_2\text{SO}_4$ a 18 Ah L^{-1}	Carbonera M. et al. (2020)
	Biosorción seguida de AO con un sistema de flujo con una celda de filtro-prensa (BDD, SS)	100 % de degradación (50 Ah L^{-1}), 100 % de eliminación de TOC. Iones inorgánicos detectados	Chair K. (2017)

Elaboración propia

Gráfico N°2: Herbicidas estudiados



Elaboración propia

De acuerdo con la tabla 4 el proceso avanzado de oxidación electroquímica que presenta mayor uso entre los investigadores para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos son 3; el proceso híbrido, oxidación anódica con H_2 o H_2 electrogenerado y oxidación anódica.

Siendo la oxidación anódica la técnica más sencilla, aplicándose en muchos casos como ensayo en blanco de otras tecnologías, por ejemplo, en PEC.

También se destaca el amplio estudio de procesos combinados, híbridos y secuenciales, como se puede apreciar en la tabla 3 y siendo confirmado por los siguientes estudios: Dargahi Abdollah et al. (2018), Bavasso I. et al. (2020) y Carbonera M. et al. (2020), Chair K. (2017).

Ello es debido a que la oxidación avanzada anódica es el EAOP más simple y popular para el tratamiento de aguas residuales; además, la efectividad de este procedimiento depende de la naturaleza del material del ánodo porque determina no solo los oxidantes electrogenerados, sino también su poder de oxidación (Moreira F. et al., 2017, p.3).

Así también entre los herbicidas más estudiados por los 32 investigadores se tiene que son 8 las familias más estudiadas, encontrándose como más recurrentes el ácido clorofenoxi, Difenil éter, triazina y Urea, seguidos de organofosforados, cloroacetoanilida, organoclorados y ácido benzoico.

Siendo de acuerdo con el gráfico 2 respecto a la tabla 3 el ácido clorofenoxi (20%), Difenil éter (20%), triazina (20%), Urea (20%), cloroacetoanilida (5%), organoclorados (5%) y ácido benzoico (5%).

Ello es corroborado por Sousa Fernanda et al. (2016), Samargandi Mohammad R. et al. (2019), OForti Juliane et al. (2020), Sousa F. et al. (2016), Sousa et al. (2016), Dargahi Abdollah et al. (2018), estudiando el ácido clorofenoxi.

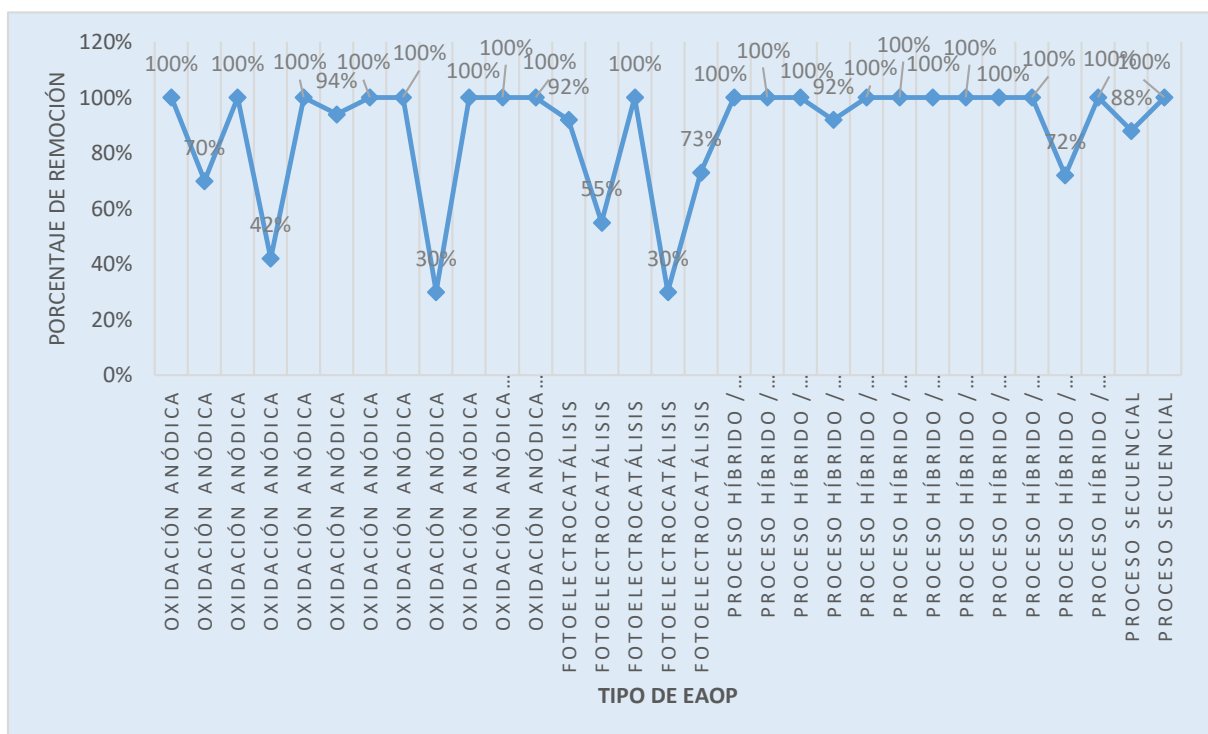
Por otro lado, presentando respaldo a los resultados obtenidos, se menciona que los tratamientos híbridos y secuenciales de aguas residuales con herbicidas se utilizan con el fin de acelerar la eliminación de contaminantes orgánicos y reducir costos; por tal motivo es uno de los procesos de oxidación avanzada electroquímica.

Entre estos, el proceso híbrido se realiza por combinación directa del sistema electroquímico con técnicas adicionales de oxidación o adsorción sobre materiales carbonosos. Siendo ello respaldado por: Bavasso I. et al. (2020) y Dargahi Abdollah et al. (2018).

Mientras que los procesos secuenciales se emplean en menor cantidad siendo comparados con los procesos híbridos de oxidación anódica, fotoelectrolisis y otros tratamientos híbridos; mientras que los secuenciales solo fueron empleados por dos investigadores (Carbonera M. et al. (2020) y Chair K. (2017)).

Por otro lado, los mejores resultados de los procesos avanzados de oxidación electroquímica para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos se demuestran en el gráfico 3 respecto a la tabla 4.

Gráfico N°3: Porcentajes de remoción usando procesos avanzados de oxidación electroquímica



Elaboración propia

De acuerdo con los resultados presentados el gráfico 3 se tiene que los procesos de oxidación avanzada electroquímica presentan promedios de porcentajes de remoción de 90 a 100% para los herbicidas. Ello debido a su comportamiento análogo debido

al bajísimo poder de oxidación del H_2O_2 , el cual genera más cantidad de cloro activo que puede oxidar más rápidamente el herbicida objetivo.

Así también, en el caso de los procesos híbridos presentan la función de mejora de los tratamientos AO de aguas residuales herbicidas por proceso electroquímico con luz UVC y SE.

Por su parte el investigador Lima Nayara S. et al. (2019), señala que el tratamiento de proceso electroquímico produce una degradación y mineralización del herbicida más rápida que el SE

Pero ello es refutado por Dos Santos E. et al. (2017), quien menciona que la remediación de efluentes de lavado de suelo obtenidos de suelos se mejora fuertemente usando PE y SE en lugar de AO.

Siendo lo mencionado anteriormente apoyado por los estudios de Sousa F. et al. (2016), Dos Santos E. et al. (2017), Santos Gessica Os et al. (2020), Sousa F. et al. (2016), Rubí-Juárez H. et al. (2016), Sánchez-Montes I. et al. (2020), Montes I. et al. (2017)., quien menciona como el rendimiento del proceso PE/SE combinado es superior al de los tratamientos individuales

Pero esto es rechazado por Wang He xuan et al. (2019), quien utiliza el sistema de fotoelectrocatalisis para la eliminación de la atrazina presentandon un 21 % de degradación (AO), 30 % de degradación (PC) y 76 % de degradación (PEC).

Lo que viene siendo opuesto por Komtchou et al. (2016), con un porcentaje de remoción para la atrazina de 55% de degradación (AO), 100% de degradación (PC) y 100% de degradación a los 60 min (PEC). Así también Fernández-Domene R. et al. (2018), degradó el 100% de la atrazina con el proceso de fotoelectrocatalisis en 180 min., así mismo eliminó el 72% de TOC.

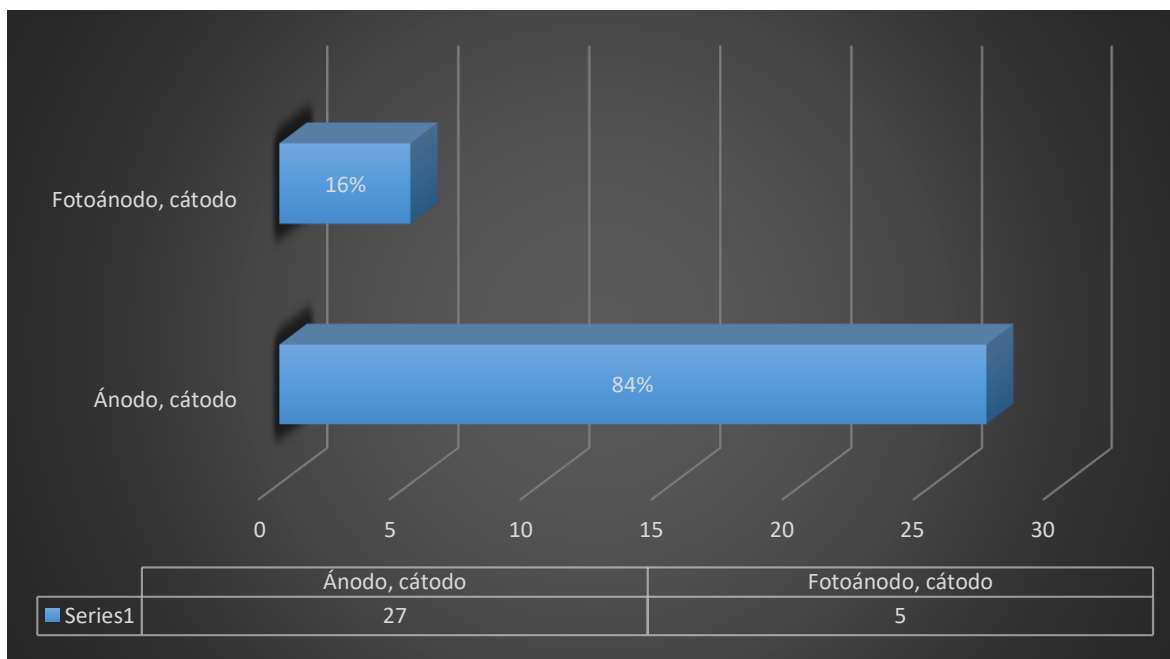
Así también en el caso de Santos Gessica Os et al. (2020), muestra una gran mejora de este proceso para los electrodos DSA, aunque si bien es cierto que logró una degradación del 100 % con una eliminación del TOC del 43 % para la clopiralida con un ánodo BDD, se logró una degradación levemente menor del 89 % con una mayor descomposición del TOC del 47 % con un ánodo de RuO_2/TiO_2 .

En el caso del difenil éter, Sánchez-Montes et al. (2020) reportaron incluso una mayor reducción de TOC con un ánodo Ti/Ir 0.3 Ti 0.7 O₂ que con uno BDD (100% vs. 67%). Este comportamiento resulta de la gran fotogeneración de •OH, Cl• y Cl₂•- que destruyen los contaminantes orgánicos a gran velocidad, prácticamente independientemente de las ROS producidas por el simple proceso AO.

Además, en el estudio de los procesos electroquímicos Sousa F. et al. (2016) realizó una comparación del proceso híbrido de oxidación anódica / UV (fotoelectrólisis) y SE para el tratamiento de 2,4 - D, usando una celda BDD/BDD de filtro-prensa de flujo y atrazina en NaCl 1,73 M pH 7.0, comparándolo con el estudio de Pinto Camila F. et al. (2019), en el cual con un ánodo Ti/Ru 0.3 Ti 0.4 O₂, un cátodo Ti y un reservorio con luz UVC de 9 W y US de 60 W, optimizaron el proceso por RSM y determinaron que los mejores resultados se obtenían con remoción total de herbicida a los 50 min para PE o SE y solo 30 min para el proceso combinado fotoelectrólisis (PE) / sonoelectrólisis (SE), donde se redujo el 98% del TOC en 240 min.

Por último, el tipo de sistema usado por los procesos avanzados de oxidación electroquímica para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos se detallan en el gráfico 4 respecto a la tabla 4.

Gráfico N° 4: Sistema usado por los procesos avanzados de oxidación electroquímica



Elaboración propia

De acuerdo a la comparación de 32 estudios en la tabla 4, buscando evaluar el tipo de sistema usado por los procesos avanzados de oxidación electroquímica para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos, obteniendo que el sistema ánodo – cátodo es el más usado entre los investigadores, siendo comprobado por el 84%, mientras que el fotoánodo – cátodo presenta un 16%.

Ello se debe a la baja conductividad de los fotoánodos empleados en los tratamientos de fotoelectrocatalisis (PEC), el cual solo permite el uso de valores E an y j relativamente pequeños y esta es la principal desventaja de esta técnica para el tratamiento de contenidos relativamente altos de herbicidas de aguas residuales industriales (García Segura S. y Brillas Enric, 2017, p.2).

Se han utilizado ánodos activos como grafito o Pt para eliminar, diurón, 2,4-D y atrazina (Khongthon et al., 2016), (Samarghandi et al., 2019) y (Zhu et al., 2019), obteniendo mediante buenas degradaciones obtenidas en estos tratamientos, normalmente superiores para el grafito gracias a la adsorción del herbicida a pesar de su inestabilidad.

Los ánodos más utilizados en AO son los electrodos BDD, enfocándose en la eliminación del herbicida atrazina; ello es corroborado por Zhu Kai et al. (2019), Komtchou et al. (2016), Fernández-Domene R. et al. (2018), Wang He xuan et al. (2019), así también el 2,4-D Sousa Fernanda et al. (2016), Samargandi Mohammad R. et al. (2019), Forti Juliane et al. (2020).

Además, los ánodos potencian la producción de otros agentes oxidantes y esto se lleva a cabo cuando el electrolito contiene sulfato (o sulfato de hidrógeno), carbonato de hidrógeno o fosfato y la oxidación anódica de estos aniones produce peroxodisulfato, peroxodicarbonato o peroxodifosfato de la siguiente manera (Thiam y Salazar, 2019).

Pero, a pesar de que los ánodos BDD no activos ofrecen la mejor opción para la eliminación de herbicidas por AO, su alto costo ha motivado la síntesis de DSA basados en RuO₂ activos mucho más económicos y de gran estabilidad para su aplicación en medios sintéticos de sulfato y cloruro (Guelfi D. et al., 2019, p.3).

Así mismo, dado que se comporta como un ánodo activo, esto implica una producción muy débil de M (\bullet OH) a partir de la reacción, lo que da lugar a una mala degradación

y mineralización de los herbicidas (Long Lulu et al., 2019, p.4). Ello se debe a que el sistema de fotoánodo se comporta como un semiconductor con una E_g más baja = 2,96 eV ($\lambda = 418$ nm), lo que significa que puede absorber la luz visible (Rajput H. et al., 2018).

El fotoánodo se construye mediante la deposición de un fotocatalizador semiconductor sobre un sustrato conductor, como el óxido de indio y estaño (ITO), para mejorar su conductividad y las ejecuciones del tratamiento de fotoelectrocatalisis (PEC) se realizan a E anod constante o a I o j constantes. Esto extrae el e^- CB hacia el cátodo, impidiendo en gran medida la recombinación del par e^- CB / h^+ VB y acelerando la producción de más h^+ VB con mayor poder de oxidación para destruir los compuestos orgánicos.

Ti/TiO_{2-x} para atrazina, óxido de grafeno (GO)/TiO₂ NT para pentaclorofenol y B, F/TiO₂ NTs para atrazina en las investigaciones de Komtchou et al., 2016, Rajput et al., 2018 y Wang et al., 2019 fueron comprobado como fotoánodos.

V. CONCLUSIONES

En base al objetivo del presente estudio de analizar cuáles son los tipos de tratamientos de procesos avanzados de oxidación electroquímica de los diversos herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos, se puede concluir que se han desarrollado una gran variedad de procesos electroquímicos de oxidación avanzada (EAOP) eficientes para eliminar los contaminantes orgánicos de las aguas residuales para evitar sus graves factores de riesgo para la salud por su acumulación ambiental y para reutilizar el agua tratada para actividades humanas; pudiendo detallar los resultados de los problemas específicos a continuación:

El proceso avanzado de oxidación electroquímica que presenta mayor uso entre los investigadores para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos son 3; el proceso híbrido, oxidación anódica con H_2O_2 electrogenerado y oxidación anódica. Siendo la oxidación anódica la técnica más sencilla, aplicándose en muchos casos como ensayo en blanco de otras tecnologías, por ejemplo, en PEC; también se destaca el amplio estudio de procesos combinados, híbridos y secuenciales.

Los mejores resultados de los procesos avanzados de oxidación electroquímica para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos presentan promedios de porcentajes de remoción de 90 a 100%, ello debido a su comportamiento análogo debido al bajísimo poder de oxidación del H_2O_2 , el cual genera más cantidad de cloro activo que puede oxidar más rápidamente el herbicida objetivo.

El tipo de sistema usado por los procesos avanzados de oxidación electroquímica para el tratamiento de herbicidas contaminantes en aguas residuales y suelos es el ánodo - cátodo, siendo comprobado por el 84%, mientras que el fotoánodo - cátodo presenta un 16%; además, los ánodos más utilizados en AO son los electrodos BDD, enfocándose en la eliminación del herbicida atrazina

VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo al estudio de 32 estudios científicos a nivel mundial se puede realizar las siguientes recomendaciones:

Se deben realizar más investigaciones para confirmar los beneficios de combinar fotoelectrólisis y sonoelectrólisis en lugar de cada proceso individual.

Se requieren mayores estudios enfocados en la aplicación industrial; ya que, la investigación sobre la remediación con herbicidas en aguas residuales y suelos con procesos avanzados de oxidación electroquímica únicos y combinados se ha limitado a soluciones sintéticas tratadas en pequeños sistemas electroquímicos a escala de banco.

Se recomienda realizar estudios aplicando los procesos avanzados de oxidación electroquímica enfocados en otros campos como las aguas residuales agrícolas y suelos agrícolas contaminados.

Así también realizar sistemas electroquímicos optimizados con electrodos estables a escala industrial y la realización de estudios tecnoeconómicos para demostrar su viabilidad y rentabilidad.

REFERENCIAS

1. BAVASSO, Irene, et al. Electrochemically assisted decomposition of ozone for degradation and mineralization of Diuron. *Electrochimica Acta*, 2020, vol. 331, p. 135423. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.135423>
2. BERTERO, Alessia, et al. Types of pesticides involved in domestic and wild animal poisoning in Italy. *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 707, p. 136129. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136129>
3. BEASLEY, Val Richard. Direct and indirect effects of environmental contaminants on amphibians. 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11274-6>
4. BRILLAS, Enric; MARTÍNEZ-HUITLE, Carlos A. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods. An updated review. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2015, vol. 166, p. 603-643. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.11.016>
5. CALDERON, Maria Jesus, et al. Herbicide monitoring in soil, runoff waters and sediments in an olive orchard. *Science of the Total Environment*, 2016, vol. 569, p. 416-422. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.126>
6. CARBONERAS, M. B., et al. Removal of oxyfluorfen from polluted effluents by combined bio-electro processes. *Chemosphere*, 2020, vol. 240, p. 124912. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124912>
7. CARLES, Louis, et al. Potential of preventive bioremediation to reduce environmental contamination by pesticides in an agricultural context: A case study with the herbicide 2, 4-D. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 416, p. 125740. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125740>
8. CARNEIRO, Gabriella Daier Oliveira Pessoa, et al. Herbicide mixtures affect adsorption processes in soils under sugarcane cultivation. *Geoderma*, 2020, vol. 379, p. 114626. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114626>

9. Caudle, W. M. (2015). Occupational exposures and parkinsonism. *Occupational Neurology*, 225–239. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-62627-1.00013->
10. CHAIR, Khaoula, et al. Treatment of soil-washing effluents polluted with herbicide oxyfluorfen by combined biosorption–electrolysis. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2017, vol. 56, no 8, p. 1903-1910. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.6b04977>
11. CHAPLIN, Brian P. Critical review of electrochemical advanced oxidation processes for water treatment applications. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 2016, vol. 16, no 6, p. 1182-1203. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C3EM00679D>
12. CORREIA, Núbia Maria; CARBONARI, Caio Antônio; VELINI, Edivaldo Domingues. Detection of herbicides in water bodies of the Samambaia River sub-basin in the Federal District and eastern Goiás. *Journal of Environmental Science and Health, Part b*, 2020, vol. 55, no 6, p. 574-582. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/03601234.2020.1742000>
13. DA COSTA MARINHO, Maria Inês, et al. Validation and application of a QuEChERS based method for estimation of half-life of imidazolinone herbicides in soils by LC-ESI-MS/MS. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2019, vol. 167, p. 212-217. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.09.075>
14. DARGAHI, Abdollah, et al. Electrodegradation of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid herbicide from aqueous solution using three-dimensional electrode reactor with G/β-PbO₂ anode: Taguchi optimization and degradation mechanism determination. *RSC advances*, 2018, vol. 8, no 69, p. 39256-39268. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/C8RA08471H>
15. DE MATOS, Danielle Barbosa, et al. Characterization of a tubular electrochemical reactor for the degradation of the commercial diuron herbicide. *Environmental technology*, 2020, vol. 41, no 10, p. 1307-1321. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1531941>

16. DESPOTOVIĆ, Jelena; RODIĆ, Vesna; CARACCIOLO, Francesco. Factors affecting farmers' adoption of integrated pest management in Serbia: an application of the theory of planned behavior. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 228, p. 1196-1205. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.149>
17. DEWIL, Raf, et al. New perspectives for advanced oxidation processes. *Journal of environmental management*, 2017, vol. 195, p. 93-99. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.010>
18. DOMINGUEZ, Carmen M., et al. Removal of lindane wastes by advanced electrochemical oxidation. *Chemosphere*, 2018, vol. 202, p. 400-409. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.03.124>
19. DOS SANTOS, E. V., et al. UV assisted electrochemical technologies for the removal of oxyfluorfen from soil washing wastes. *Chemical Engineering Journal*, 2017, vol. 318, p. 2-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.03.015>
20. DUHAN, Anil, et al. Organic waste from sugar mills as a potential soil ameliorant to minimise herbicide runoff to the Great Barrier Reef. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 713, p. 136640. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136640>
21. EDDLESTON, Michael. Poisoning by pesticides. *Medicine*, 2020, vol. 48, no 3, p. 214-217. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mpmed.2019.12.019>
22. Fardin Sadeghfar, Mehrorang Gaedi Ziba Zalipur. *Interface Science and Technology*. Volume 32, 2021, Páginas 225-324. Capítulo 4 - Oxidación avanzada. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818806-4.00001-2>
23. FERNÁNDEZ-DOMENE, Ramón Manuel, et al. Elimination of pesticide atrazine by photoelectrocatalysis using a photoanode based on WO₃ nanosheets. *Chemical Engineering Journal*, 2018, vol. 350, p. 1114-1124. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.06.015>

24. FERNÁNDEZ-DOMENE, Ramón Manuel, et al. Visible-light photoelectrodegradation of diuron on WO₃ nanostructures. *Journal of environmental management*, 2018, vol. 226, p. 249-255. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.044>
25. FERNANDEZ, Maria Emilia, et al. Effectiveness of a simple biomixture for the adsorption and elimination of 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid (2, 4-D) herbicide and its metabolite, 2, 4-dichlorophenol (2, 4-DCP), for a biobed system. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2022, vol. 10, no 1, p. 106877. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106877>
26. FORTI, Juliane C., et al. A phytotoxicity assessment of the efficiency 2, 4-D degradation by different oxidative processes. *Journal of environmental management*, 2020, vol. 266, p. 110588. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110588>
27. GARCIA-SEGURA, Sergi; BRILLAS, Enric. Applied photoelectrocatalysis on the degradation of organic pollutants in wastewaters. *Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews*, 2017, vol. 31, p. 1-35. . Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochemrev.2017.01.005>
28. GHARDE, Yogita, et al. Assessment of yield and economic losses in agriculture due to weeds in India. *Crop Protection*, 2018, vol. 107, p. 12-18. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.01.007>
29. GOLFINOPOULOS, Spyros K., et al. Determination of the priority substances regulated by 2000/60/EC and 2008/105/EC Directives in the surface waters supplying water treatment plants of Athens, Greece. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 2017, vol. 52, no 4, p. 378-384. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10934529.2016.1262600>
30. GUELFÍ, Diego RV, et al. Ensuring the overall combustion of herbicide metribuzin by electrochemical advanced oxidation processes. Study of operation variables, kinetics and degradation routes. *Separation and Purification Technology*, 2019, vol. 211, p. 637-645. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.10.029>

31. GUPTA, Pawan K. Toxicity of herbicides. En Veterinary toxicology. Academic Press, 2018. p. 553-567. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811410-0.00044-1>
32. Gupta, P. K. (2012). Herbicides and fungicides. Reproductive and Developmental Toxicology, 503–521. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-382032-7.10039-6>
33. JIA, Zhong-Qiang, et al. Acute toxicity, bioconcentration, elimination, action mode and detoxification metabolism of broflanilide in zebrafish, Danio rerio. Journal of hazardous materials, 2020, vol. 394, p. 122521. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122521>
34. KARIM, Rezaul, et al. Transport of photosystem II (PS II)–inhibiting herbicides through the vadose zone under sugarcane in the Wet Tropics, Australia. CATENA, 2021, vol. 206, p. 105527. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105527>
35. KHAN, Javed Ali, et al. Advanced oxidation processes for the treatment of contaminants of emerging concern. En Contaminants of emerging concern in water and wastewater. Butterworth-Heinemann, 2020. p. 299-365. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813561-7.00009-2>
36. KNIGHT, S.; HAUXWELL, J.; HABER, E. A. Distribution and abundance of aquatic plants–Human impacts. 2015. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.09102-8>
37. KNISS, Andrew R. Long-term trends in the intensity and relative toxicity of herbicide use. Nature communications, 2017, vol. 8, no 1, p. 1-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/ncomms14865>
38. KOČÁREK, Martin, et al. Effect of adjuvant on pendimethalin and dimethenamid-P behaviour in soil. Journal of hazardous materials, 2018, vol. 354, p. 266-274. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.04.073>
39. LIMA, Nayara Silva, et al. Relevance of adjuvants and additives of pesticide commercial formulation on the removal performance of glyphosate by

- electrochemically driven processes. *Journal of Cleaner Production*, 2019, vol. 212, p. 837-846. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.007>
40. LIU, Jintong, et al. Physiochemical assessment of environmental behaviors of herbicide atrazine in soils associated with its degradation and bioavailability to weeds. *Chemosphere*, 2021, vol. 262, p. 127830. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127830>
41. LONG, Lulu, et al. Boosted charge transfer from single crystalline titanium nanotubes for a dual-purpose PEC system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019, vol. 44, no 33, p. 17622-17629. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.05.164>
42. MARÍN-BENITO, Jesús M., et al. Modelling herbicides mobility in amended soils: Calibration and test of PRZM and MACRO. *Science of The Total Environment*, 2020, vol. 717, p. 137019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137019>
43. Martínez-Huitle, C. A., & Panizza, M. (2018). Electrochemical oxidation of organic pollutants for wastewater treatment. *Current Opinion in Electrochemistry*. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2018.07.010>
44. MARTÍNEZ-HUITLE, Carlos Alberto; PANIZZA, Marco. Electrochemical oxidation of organic pollutants for wastewater treatment. *Current Opinion in Electrochemistry*, 2018, vol. 11, p. 62-71. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.coelec.2018.07.010>
45. MCBEATH, Sean T.; WILKINSON, David P.; GRAHAM, Nigel JD. Advanced electrochemical oxidation for the simultaneous removal of manganese and generation of permanganate oxidant. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 2020, vol. 6, no 9, p. 2405-2415. Disponible en: <https://doi.org/10.1039/D0EW00261E>
46. MONTES, Isaac JS; SILVA, Bianca F.; AQUINO, José M. On the performance of a hybrid process to mineralize the herbicide tebuthiuron using a DSA® anode and UVC light: a mechanistic study. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2017, vol. 200, p. 237-245. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.07.003>

47. MOREIRA, Francisca C., et al. Procesos electroquímicos de oxidación avanzada: una revisión de su aplicación a aguas residuales sintéticas y reales. *Catálisis aplicada B: ambiental*, 2017, vol. 202, pág. 217-261. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.08.037>
48. MOREIRA, Francisca C., et al. Incorporation of electrochemical advanced oxidation processes in a multistage treatment system for sanitary landfill leachate. *Water research*, 2015, vol. 81, p. 375-387. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.036>
49. MOREIRA, Francisca C., et al. Electrochemical advanced oxidation processes for sanitary landfill leachate remediation: Evaluation of operational variables. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2016, vol. 182, p. 161-171. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.09.014>
50. NIDHEESH, P. V., et al. Environmental Applications of Boron-Doped Diamond Electrodes: 1. Applications in Water and Wastewater Treatment. *ChemElectroChem*, 2019, vol. 6, no 8, p. 2124-2142. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/celec.201801876>
51. OWAGBORIAYE, Folarin O., et al. Reproductive toxicity of Roundup herbicide exposure in male albino rat. *Experimental and Toxicologic Pathology*, 2017, vol. 69, no 7, p. 461-468. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.etp.2017.04.007>
52. PETSAS, Andreas S.; VAGI, Maria C. Effects on the photosynthetic activity of algae after exposure to various organic and inorganic pollutants. En *Chlorophyll*. IntechOpen, 2017. Disponible en: [https://books.google.es/books?id=odCPDwAAQBAJ&lpg=PA37&ots=iTqD5bt0GI&dq=%20A.S.%20Petsas%2C%20M.C.%20Vagi%2C%20Effects%20on%20the%20photosynthetic%20activity%20of%20algae%20after%20exposure%20to%20various%20organic%20and%20inorganic%20pollutants%3A%20review%2C%20in%3A%20Eduardo%20JacobLopes%20\(Ed.\)%2C%20Chlorophyll%2C%20IntechOpen%2C%20Croatia%2C%202017%2C%20pp.%2037%E2%80%9377%2C&lr&hl=es&pg=PA37#v=onepage&q&f=false](https://books.google.es/books?id=odCPDwAAQBAJ&lpg=PA37&ots=iTqD5bt0GI&dq=%20A.S.%20Petsas%2C%20M.C.%20Vagi%2C%20Effects%20on%20the%20photosynthetic%20activity%20of%20algae%20after%20exposure%20to%20various%20organic%20and%20inorganic%20pollutants%3A%20review%2C%20in%3A%20Eduardo%20JacobLopes%20(Ed.)%2C%20Chlorophyll%2C%20IntechOpen%2C%20Croatia%2C%202017%2C%20pp.%2037%E2%80%9377%2C&lr&hl=es&pg=PA37#v=onepage&q&f=false)

53. PEREIRA, Gabriel F., et al. Comparative electrochemical degradation of the herbicide tebuthiuron using a flow cell with a boron-doped diamond anode and identifying degradation intermediates. *Electrochimica Acta*, 2017, vol. 247, p. 860-870. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2017.07.054>
54. PINTO, Camila Ferreira, et al. Experimental-design-guided approach for the removal of atrazine by sono-electrochemical-UV-chlorine techniques. *Environmental Technology*, 2019, vol. 40, no 4, p. 430-440. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1395480>
55. QIU, Yao-Wen, et al. Bioconcentration of polybrominated diphenyl ethers and organochlorine pesticides in algae is an important contaminant route to higher trophic levels. *Science of The Total Environment*, 2017, vol. 579, p. 1885-1893. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.192>
56. RAJPUT, Himadri; DHIR, Amit; KUMAR SANGAL, Vikas. GO mediated TiO₂ nanotube electrode for the photoelectrocatalytic degradation of pentachlorophenol. *Journal of The Electrochemical Society*, 2018, vol. 165, no 2, p. H16. Disponible en: <https://doi.org/10.1149/2.0871802jes>
57. REIS, F. C., et al. Use of herbicides in sugarcane in the São Paulo state. *Planta Daninha*, 2019, vol. 37. Disponible en: <https://doi.org/10.1590/S0100-83582019370100064>
58. ROSTAMI, Saeid, et al. Current methods and technologies for degradation of atrazine in contaminated soil and water: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 2021, vol. 24, p. 102019. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.102019>
59. RUBÍ-JUÁREZ, Humberto, et al. Removal of herbicide glyphosate by conductive-diamond electrochemical oxidation. *Applied Catalysis B: Environmental*, 2016, vol. 188, p. 305-312. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2016.02.006>
60. RUBÍ-JUÁREZ, Humberto, et al. Use of conductive diamond photo-electrochemical oxidation for the removal of pesticide glyphosate. *Separation and Purification Technology*, 2016, vol. 167, p. 127-135. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.04.048>

61. SAMARGHANDI, Mohammad Reza, et al. Electrochemical process for 2, 4-D herbicide removal from aqueous solutions using stainless steel 316 and graphite Anodes: optimization using response surface methodology. *Separation science and technology*, 2019, vol. 54, no 4, p. 478-493. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/01496395.2018.1512618>
62. SÁNCHEZ-MONTES, Isaac, et al. Assessing the performance of electrochemical oxidation using DSA® and BDD anodes in the presence of UVC light. *Chemosphere*, 2020, vol. 238, p. 124575. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124575>
63. SANTOS, Gessica OS, et al. Improving biodegradability of clopyralid wastes by photoelectrolysis: The role of the anode material. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 2020, vol. 864, p. 114084. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2020.114084>
64. SANTOS, Tarciso É S., et al. Unexpected enhancement of electrocatalytic nature of $Ti/(RuO_2)_x-(Sb_2O_5)_y$ anodes prepared by the ionic liquid-thermal decomposition method. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2016, vol. 55, no 11, p. 3182-3187. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.5b04690>
65. SHAHID, Mohammad; AHMED, Bilal; KHAN, Mohammad Saghir. Evaluation of microbiological management strategy of herbicide toxicity to greengram plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2018, vol. 14, p. 96-108. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.02.009>
66. SINGH, Simranjeet, et al. Toxicity, degradation and analysis of the herbicide atrazine. *Environmental chemistry letters*, 2018, vol. 16, no 1, p. 211-237. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10311-017-0665-8>
67. SJERPS, Rosa MA, et al. Occurrence of pesticides in Dutch drinking water sources. *Chemosphere*, 2019, vol. 235, p. 510-518. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.207>
68. SOUZA, Fernanda, et al. Towards the scale-up of electrolysis with diamond anodes: effect of stacking on the electrochemical oxidation of 2, 4 D. *Journal of*


- Chemical Technology & Biotechnology, 2016, vol. 91, no 3, p. 742-747.
Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jctb.4639>
69. SOUZA, F. L., et al. Removal of pesticide 2, 4-D by conductive-diamond photoelectrochemical oxidation. Applied Catalysis B: Environmental, 2016, vol. 180, p. 733-739. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2015.07.038>
70. TAAK, Pooja, et al. Comparative assessment of mulching and herbicide treatments for weed management in Stevia rebaudiana (Bertoni) cultivation. South African Journal of Botany, 2021, vol. 140, p. 303-311. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.05.016>
71. THIAM, Abdoulaye; SALAZAR, Ricardo. Fenton-based electrochemical degradation of metolachlor in aqueous solution by means of BDD and Pt electrodes: influencing factors and reaction pathways. Environmental Science and Pollution Research, 2019, vol. 26, no 3, p. 2580-2591. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3768-2>
72. VAGI, Maria C.; PETSAS, Andreas S. Recent advances on the removal of priority organochlorine and organophosphorus biorecalcitrant pesticides defined by Directive 2013/39/EU from environmental matrices by using advanced oxidation processes: An overview (2007–2018). Journal of Environmental Chemical Engineering, 2020, vol. 8, no 1, p. 102940. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.102940>
73. VONK, J. Arie; KRAAK, Michiel HS. Herbicide exposure and toxicity to aquatic primary producers. 2020. Disponible en: https://doi.org/10.1007/398_2020_48
74. WANG, He-xuan; ZHU, Li-nan; GUO, Fu-qiao. Photoelectrocatalytic degradation of atrazine by boron-fluorine co-doped TiO₂ nanotube arrays. Environmental Science and Pollution Research, 2019, vol. 26, no 33, p. 33847-33855. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2569-y>
75. WARRA, Aliyu Ahmad; PRASAD, Majeti Narasimha Vara. African perspective of chemical usage in agriculture and horticulture—their impact on human health and environment. En Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation. Butterworth-Heinemann, 2020. p. 401-436. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-103017-2.00016-7>

76. YADAV, Ishwar Chandra, et al. Current status of persistent organic pesticides residues in air, water, and soil, and their possible effect on neighboring countries: A comprehensive review of India. *Science of the Total Environment*, 2015, vol. 511, p. 123-137. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.12.041>
77. YADAV, Ishwar Chandra; DEVI, NINGOMBAM LINTHOINGAMBI. Pesticides classification and its impact on human and environment. *Environmental science and engineering*, 2017, vol. 6, p. 140-158. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Ishwar-Yadav/publication/313445102_Pesticides_Classification_and_Its_Impact_on_Human_and_Environment/links/589b09a04585158bf6fb8080/Pesticides-Classification-and-Its-Impact-on-Human-and-Environment.pdf
78. YANG, Yang, et al. Electrochemical removal of metribuzin in aqueous solution by a novel PbO₂/WO₃ composite anode: characterization, influencing parameters and degradation pathways. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 2019, vol. 102, p. 170-181. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.05.023>
79. YE, Fei, et al. Safeners improve maize tolerance under herbicide toxicity stress by increasing the activity of enzymes in vivo. *Journal of agricultural and food chemistry*, 2019, vol. 67, no 42, p. 11568-11576. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b03587>
80. YU, Ting, et al. Fabrication and characterization of purified esterase-embedded zeolitic imidazolate frameworks for the removal and remediation of herbicide pollution from soil. *Journal of Environmental Management*, 2021, vol. 288, p. 112450. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112450>
81. ZHOU, Zhou, et al. Persulfate-based advanced oxidation processes (AOPs) for organic-contaminated soil remediation: A review. *Chemical Engineering Journal*, 2019, vol. 372, p. 836-851. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.04.213>

82. ZHU, Kai, et al. Anodic oxidation of diuron using Co₃O₄/graphite composite electrode at low applied current. *Electrochimica Acta*, 2019, vol. 299, p. 853-862. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.01.072>
83. ZHU, Kai, et al. Comparative degradation of atrazine by anodic oxidation at graphite and platinum electrodes and insights into electrochemical behavior of graphite anode. *Electrocatalysis*, 2019, vol. 10, no 1, p. 35-44. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12678-018-0493-z>
84. ZUANAZZI, Natana Raquel; DE CASTILHOS GHISI, Nédia; OLIVEIRA, Elton Celton. Analysis of global trends and gaps for studies about 2, 4-D herbicide toxicity: a scientometric review. *Chemosphere*, 2020, vol. 241, p. 125016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125016>

ANEXOS

ANEXOS N° 1

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	FICHA DE ANÁLISIS DE CONTENIDO	
DATOS DEL AUTOR: NOMBRE(S)		
PAGINA(S)	AÑO DE PUBLICACION <input type="text"/>	LUGAR DE PUBLICACION <input type="text"/>
TIPO DE INVESTIGACION:		
CÓDIGO:		
PALABRAS CLAVES:	Polluting Herbicides, Advanced Process Treatments, Wastewater and Soil	
PROCESO DE OXIDACION ELECTROQUIMICA		
MEJORES RESULTADOS DE OXIDACION		
TIPOS DE PROCESOS DE OXIDACION		
RESULTADOS:		
CONCLUSIONES:		

Elaboración propia