



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

Procesos de oxidación avanzada en la remoción de la demanda química de oxígeno en aguas residuales industriales

**AUTORES:**

Blas Melendez, Frank Edgar ([orcid.org/0000-0002-5865-1717](https://orcid.org/0000-0002-5865-1717))

Lopez Tapia, Paula Rosa ([orcid.org/0000-0002-5734-8150](https://orcid.org/0000-0002-5734-8150))

**ASESOR:**

Dr. Cruz Monzon, Jose Alfredo ([orcid.org/0000-0001-9146-7615](https://orcid.org/0000-0001-9146-7615))

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y gestión de los residuos

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

## **DEDICATORIA**

Dedicamos este trabajo de investigación a nuestros padres y familiares por habernos guiado e incentivado a trazar nuestros caminos con valores éticos y morales, por la compañía durante nuestra formación académica, por los fracasos obtenidos lo cual nos ha brindado enseñanzas, por todos los logros ganados y por todos los nuevos; que formaran esencialmente parte de nuestro desarrollo como futuros profesionales.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradecemos a Dios por la salud y protección que nos ha dado en el lapso que vivimos, por aclararnos la visión y brindarnos el apoyo para culminar con nuestros objetivos. A nuestro asesor José Alfredo Cruz Monzón por toda la ayuda para guiarnos en la elaboración de este trabajo

## Índice de contenidos

Carátula	
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>14</b>
<b>3.1. Tipo y diseño de investigación .....</b>	<b>14</b>
<b>3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.....</b>	<b>14</b>
<b>3.3. Escenario de estudio .....</b>	<b>14</b>
<b>3.4. Participantes.....</b>	<b>14</b>
<b>3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....</b>	<b>15</b>
<b>3.6. Procedimiento .....</b>	<b>16</b>
<b>3.7. Rigor científico.....</b>	<b>19</b>
<b>3.8. Método de análisis de datos .....</b>	<b>19</b>
<b>3.9. Aspectos éticos .....</b>	<b>19</b>
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>20</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>42</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>REFERENCIAS</b>	
<b>ANEXOS</b>	

## Índice de tablas

	Página
<b>Tabla N°01.</b> Criterios de inclusión y exclusión.....	15
<b>Tabla N°02.</b> Motores de búsqueda por base de datos.....	16
<b>Tabla N°03.</b> Remoción porcentual de DQO aplicando POAs según el agua residual industrial.....	20
<b>Tabla N°04.</b> Remoción porcentual de DQO en aguas residuales industriales según los POAs aplicados.....	30
<b>Tabla N°05.</b> Principales métodos de separación complementarios utilizados en POAs para tratar aguas residuales industriales.....	40

## Índice de figuras

	Página
<b>Figura N°01.</b> Procedimiento de investigación.....	18
<b>Figura N°02.</b> Valores máximos de reducción de DQO en aguas residuales reales.....	26
<b>Figura N°03.</b> Valores máximos de reducción de DQO en aguas residuales sintéticas.....	29
<b>Figura N°04.</b> Valores máximos de reducción de DQO dado el proceso no fotoquímico.....	36
<b>Figura N°05.</b> Valores máximos de reducción de DQO dado el proceso fotoquímico.....	38
<b>Figura N°06.</b> Principales métodos de separación complementarios adicionados a los POAs .....	41

## Resumen

La implementación de los procesos de oxidación avanzada (POA) a los tratamientos convencionales muestran ser realmente beneficiosos ya que estos ayudan a tratar contaminantes altamente tóxicos. Sin embargo, estos podrían presentar problemas de efectividad de remoción por diversos factores; por lo cual, se propuso evaluar a los diferentes procesos de oxidación avanzada utilizados en la reducción de DQO en aguas residuales industriales. La investigación corresponde a una revisión sistemática de artículos recuperados de las plataformas digitales Scopus, Dialnet, Scielo, Redalyc, ScienceDirect y Semantic Scholar; de las cuales se seleccionaron 30 artículos. Los resultados muestran que, los procesos no fotoquímicos de oxidación avanzada abarcaron un 89% en los tratamientos a efluentes industriales; las técnicas a base de ozono reducen entre 92-98%, las de oxidación electroquímica entre 92-96%, las fotocatalíticas entre 90-95% y las de Fenton entre 80-94%; y posicionan a las técnicas de coagulación-floculación con un 46% como las más requeridas en los tratamientos de oxidación. Se concluye que, los procesos no fotoquímicos reducen más DQO en las aguas residuales de industria curtidora, cárnica, papelera, láctea y textil; las técnicas de oxidación avanzada más eficientes son la ozonización y oxidación electroquímica; y el principal método de separación complementaria son los procesos de coagulación-floculación.

**Palabras clave:** Procesos de oxidación avanzada; DQO; agua residual industrial.

## Abstract

The implementation of advanced oxidation processes (AOPs) to conventional treatments shows to be really beneficial for helping to remove highly toxic pollutants. However, these could present problems of removal effectiveness due to several factors; therefore, it was proposed to evaluate the different advanced oxidation processes used in the reduction of COD in industrial wastewater. The research corresponds to a systematic review of articles retrieved from the digital platforms Scopus, Dialnet, Scielo, Redalyc, ScienceDirect and Semantic Scholar; where 30 articles were selected. The results show non-photochemical advanced oxidation processes accounted for 89% of industrial effluent treatments; ozone-based techniques decrease between 92-98%, electrochemical oxidation between 92-96%, photocatalytic between 90-95% and Fenton between 80-94%; and coagulation-flocculation techniques with 46% as the most required in oxidation treatments. In conclusion, non-photochemical processes reduce more COD in wastewater from tanneries, meat, paper, dairy and textile industries; the most efficient advanced oxidation techniques are ozonation and electrochemical oxidation; and the main complementary separation method is coagulation-flocculation processes.

**Keywords:** Advanced oxidation processes; COD; industrial wastewater.



## I. INTRODUCCIÓN

La adición de los procesos de oxidación avanzada (POA) a tratamientos convencionales para tratar aguas residuales supone la obtención de beneficios en la composición fisicoquímica de los efluentes; y es que resulta eficaz su empleo al combatir a contaminantes altamente tóxicos (López *et al.*, 2021, p. 78). Además de resaltar el hecho de la mejora constante en los procesos depuradores, generando aguas residuales con una calidad adecuada para su retorno a cuerpos de agua naturales; o continuar con su vida útil en actividades antropogénicas.

Conforme estos procesos han destacado entre muchas tecnologías nuevas, su potencial se ha sido aprovechando en numerosas investigaciones experimentales con la finalidad de establecer una clasificación concreta y fundamentos que las respalden. Dentro de los grupos clasificados, los que sobresalen más son los procesos de ozonización, Fenton y foto catalíticos; debido que son considerados como buenos degradadores y a la vez, amistosos con el medio acuático al no afectarlo negativamente (Solanki *et al.*, 2020, p. 2678).

Dando un enfoque en el sector industrial, cuya materia de uso frecuente es el agua; tener a su disposición a estos procesos remediadores les permitirá atender a distintos contaminantes provenientes de actividades energéticas, agroindustriales o de cualquier otra industria. En tal sentido, los resultados que se busquen obtener dependerán de la técnica de oxidación que se aplique; ya que se tiene entendido que la composición de las aguas residuales a tratar dependerá de la industria en particular (Campoverde Niño, 2020, p. 42).

Para ello, lo más frecuente a determinar en las aguas residuales industriales es la carga orgánica e inorgánica que la compone; como son las cantidades de materia orgánica en las aguas, halladas por el parámetro de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), y la más relacionado con los procesos de oxidación: la demanda química de oxígeno (DQO); el cual también es un índice del nivel de contaminación de estos efluentes al

calcular la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica y poder convertirla en componentes de fácil manejo (Menéndez Gutiérrez *et al.*, 2018, p. 98).

La variedad de técnicas de oxidación avanzada que se utilizan para una misma industria brinda distintas perspectivas para el usuario que sea aplicarlas, dándole la opción de elegir según los resultados de su búsqueda. Mayormente, es un problema aplicar una técnica por encima de otra, dado que, se desconoce si cumplirá con sus expectativas o que puedan generar un mayor costo según el tipo de agua residual industrial que se disponga a tratar.

Haciendo énfasis en la última posibilidad mencionada, los inconvenientes que presentan la mayoría de los procesos de oxidación avanzada se encuentran relacionados a los costos extras y elevado consumo de energía eléctrica que generan (Malato, 2018, p. 7). Profundizando en la problemática, se resaltan las desventajas de algunas técnicas conocidas como: el nivel de toxicidad del ozono residual si no se logra eliminar o su descomposición fácil en sustancias acuosas (Mazón, 2017, p. 98); los ácidos carboxílicos resistentes generados en la oxidación electroquímica; las probabilidades de corrosión de hierro durante las técnicas de Fenton; el manejo inadecuado de radiación UV volviéndolo imposible de adsorber por el oxidante en casos de técnicas UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; la obtención de costosos catalizadores como el dióxido de titanio en la fotocatalisis; entre otros más (Silva *et al.*, 2018, pp. 54-55); entendido mejor porque su utilización a nivel mundial es aún escasa pese a su popularidad.

Como justificación del estudio sistemático planteado, se tuvieron razones de índole teórico debido que la información analizada contribuye a ampliar el conocimiento acerca del tema estudiado; de índole práctico pues los resultados obtenidos sirven como base para la realización de investigaciones posteriores; de índole social en vista de que beneficia a la población que utiliza el recurso agua extraído de ecosistemas acuáticos naturales para cubrir sus necesidades vitales, económicas y de recreación; y de índole metodológico por emplear instrumentos de recolección de datos

bajo el procesamiento en el software Excel Microsoft para así analizar los valores porcentuales de remoción de demanda química de oxígeno en distintas aguas residuales industriales.

Se planteó un problema general, en base a la realidad problemática y el tema a tratar: ¿Cuáles son las técnicas de oxidación avanzada que permiten remover de manera efectiva la demanda química de oxígeno presente en aguas residuales industriales?; seguido de los específicos en el siguiente orden: ¿Cuál es la remoción de la demanda química de oxígeno usando técnicas de oxidación avanzada según el tipo de agua residual industrial?, ¿Cuál es la remoción de la demanda química de oxígeno en aguas residuales industriales según el tipo de técnica de oxidación avanzada aplicada?, y ¿Cuáles son los principales métodos de separación complementarios que favorece la remoción de la demanda química de oxígeno usando técnicas de oxidación avanzada según el tipo de agua residual industrial?

El objetivo general de la investigación fue evaluar las técnicas de oxidación avanzada que permiten remover de manera efectiva la demanda química de oxígeno presente en aguas residuales industriales. Asimismo, como objetivos específicos se tuvieron; determinar la remoción de la demanda química de oxígeno usando técnicas de oxidación avanzada según el tipo de agua residual industrial; determinar la remoción de la demanda química de oxígeno en aguas residuales industriales según el tipo de técnica de oxidación avanzada aplicada; y evaluar los principales métodos de separación complementarios que favorece la remoción de la demanda química de oxígeno usando técnicas de oxidación avanzada según el tipo de agua residual industrial.

## II. MARCO TEÓRICO

El presente trabajo de investigación engloba distintas técnicas de oxidación avanzada utilizadas a nivel industrial; estando contenidos en estudios previos donde se explora y aprovecha su manejo dada la conveniencia del caso; además, de medir la eficiencia del método empleado mediante sus resultados; todo ello, y en mejor entendimiento, será mostrado a continuación.

Para la industria textil, Bermeo et al. (2016), en su estudio titulado "Remoción de colorantes de efluente sintético de industria textil aplicando tecnología avanzada de electrocoagulación" evaluaron la efectividad del proceso electroquímico para eliminar los contaminantes presentes en los efluentes sintéticos; logrando obtener una reducción de DQO (97.57%) a 18 V, con un pH 10 y en 8 minutos (p. 125-128).

Según, Venkatesh et al. (2017), en su investigación denominada "Dye decomposition by combined ozonation and anaerobic treatment: Cost effective technology", la eficiencia de los tratamientos biológicos y ozonización combinados se evaluaron en aguas residuales sintéticas con concentraciones de Reactive Black 5 para reducir los costos extras que genera el actuar del POA en solitario; obteniendo una remoción del 90% de DQO total al utilizar una dosificación de 83.3 mg/min de  $O_3$ , comprobando así su eficiencia al combinar ambas técnicas (p. 342-344).

Como expresa, Bilińska et al. (2016), a través de su estudio comparativo nombrado "Comparison between industrial and simulated textile wastewater treatment by AOPs–Biodegradability, toxicity and cost assessment" diferenciaron la efectividad de las técnicas de ozonización,  $H_2O_2$ , UV y sus combinaciones removiendo colorantes tóxicos de aguas residuales textiles sintéticas y reales; concluyendo que, la Ozonización y sus derivados purifican mejor estos efluentes en comparación a las otras, y agregando que, la mayor disminución de DQO (98%) ocurrió en aguas reales a diferencia de las aguas industriales sintéticas (p. 550-559).

Del mismo modo, Bilici et al. (2022), en su estudio llamado "The effect of different types of AOPs supported by hydrogen peroxide on the decolorization of methylene blue and viscose fibers dyeing wastewater" trataron aguas residuales textiles reales y sintéticas con distintos niveles de contaminación, pero sometidos a condiciones similares en pH y tiempo de reacción para las técnicas de Fenton singular, Foto-Fenton y Fenton en agua subcrítica; obteniendo resultados sobresalientes en la técnica fotoquímica con 64% y 100% de remoción de DQO para aguas reales y sintéticas, respectivamente (p. 77-89).

Desde otra perspectiva, Gilpavas et al. (2017) en su estudio denominado "Coagulation-flocculation sequential with Fenton or Photo-Fenton processes as an alternative for the industrial textile wastewater treatment" evaluaron la efectividad de los procesos de Fenton del tipo fotoquímico y no fotoquímico en aguas previamente tratadas por coagulación-floculación; brindando una reducción del 87% de DQO con la técnica Foto-Fenton y 74% con Fenton en un tiempo de 1.5 horas según la dosis óptima de 19.6 nM de  $H_2O_2$ , 6 W de radiación UV y 1mM de  $Fe^{2+}$  (p. 189-197).

Un año después, Gilpavas et al. (2018), sigue experimentando con los procesos relacionados al Fenton en su estudio titulado "Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante coagulación química acoplada a procesos Fenton intensificados con ultrasonido de baja frecuencia", donde emplearon las técnicas de Sono-Fenton y Sono-Foto-Fenton para depurar efluentes reales previamente tratados por coagulación química; demostrando que la segunda técnica logró mejorar la calidad de las aguas al remover 95% de DQO en comparación con el 82% de DQO removido en la primera técnica con un tiempo de 1.5 horas para ambos casos (p. 164-165).

Yendo a lo más experimental, Gilpavas et al. (2019) en su nueva investigación denominada "Using scrap zero valent iron to replace dissolved iron in the Fenton process for textile wastewater treatment: Optimization and assessment of toxicity and biodegradability", ponen a prueba el hierro metálico en el proceso Fenton para tratar aguas residuales

textiles, a una medida optima de 2000 mg/L del hierro cero-valente adicionando 24.3 nM de  $H_2O_2$  a un pH 3 en los efluentes; se logra remover un 76% de DQO durante una hora de tratamiento (1709-1718).

De acuerdo con, Sanchis et al. (2018) en su estudio denominado "Solar photo-Fenton with simultaneous addition of ozone for the treatment of real industrial wastewaters" analizaron la técnica de fotocátalisis solar con ozono más Fenton en dos tipos de aguas residuales reales (farmacéuticas y textiles) comparándola con otras técnicas combinadas; comprobando su eficiencia para ambas aguas al remover 67% de DQO en textiles y 60%, en farmacéuticas durante 2 horas; al igual que la técnica combinada de ozono y Fenton con resultados similares en una hora (p. 2497-2508).

Relacionado al ámbito médico, Mukimin et al. (2019), en su investigación denominada "Hybrid advanced oxidation process (HAOP) as an effective pharmaceutical wastewater treatment" comprobaron la eficiencia de un reactor HAOP cuyo funcionamiento desarrolla las técnicas de Fenton electrocatalítico y Flotación electrocatalítica usando aguas residuales reales de industria farmacéutica; concluyendo que, a una dosis de 0.2mM de  $Fe^{2+}$  y condiciones iniciales de pH 3 y a temperatura de 25°C, lograron remover 94% de DQO en 9 horas (p. 1-5).

Según, Güneş et al. (2021) en su publicación titulada "Removal of COD, aromaticity and color of a pretreated chemical producing industrial wastewater: a comparison between adsorption, ozonation, and advanced oxidation processes" evaluaron los niveles de DQO de efluentes reales de industria química utilizando y comparando los niveles de absorción y oxidación avanzada; demostrando que el empleo de carbón activado logro eliminar el 77% de DQO mejor que el proceso Fenton con 55% de remoción, la oxidación con Persulfato a temperaturas altas de 70°C removiendo 52% y el ozono con 25% (p. 551-565).

En la industria papelera, Kumar et al. (2019), apuestan por los procesos de Fenton en su estudio llamado "Optimization of COD removal by advanced oxidation process through response surface methodology from pulp & paper

industry wastewater" donde optimizaron la remoción de DQO a través del método Fenton en efluentes reales de la industria de papel mediante la metodología de superficie de respuesta; obtenido una remoción de 94% de DQO con valores óptimos de peso 0.165 DQO:  $H_2O_2$ , peso molar 0.01650  $H_2O_2$ :  $Fe^{2+}$  y en un tiempo de 1.92 horas (p. 386-390).

En el enfoque de la agricultura industrial, Rimaycuna et al. (2019), en el desarrollo de su estudio titulado "Aplicación de tecnología de oxidación avanzada en la descontaminación de aguas residuales procedentes del empaque de banano en Tumbes" combinaron distintos métodos de oxidación avanzada para determinar al más eficiente en tratamientos para aguas residuales a nivel agroindustrial; obteniendo resultados en remoción del 67.18% de DQO, un 73.02% en DBO, 80.3% en cloruros y 83.72% en nitritos optando por el método de  $UV/H_2O_2/TiO_2$  dopado con paladio + agitación de 2 horas (p. 129-133).

Desde el punto de vista de Dobrosz-Gómez et al. (2020), mediante su estudio llamado "Tratamiento de aguas residuales de la industria del café soluble vía Electrocoagulación - Oxidación Anódica. Selección de los electrodos", compararon el funcionamiento de dos distintos ánodos (diamante y grafito) en oxidación anódica y dos electrolitos (sulfato de sodio y cloruro de sodio) en el proceso de electrocoagulación empleados en la depuración de aguas residuales agroindustriales; concluyendo que, en la primera técnica que incorpora  $Na_2SO_4$  usando electrodos de diamante más acero inoxidable se logra remover 75% de DQO; mientras que, en la segunda técnica con NaCl utilizando electrodos de grafito más acero inoxidable se remueve 67% de DQO (p. 1-17).

Acerca de la industria láctea, De Sousa et al. (2019), a través de su estudio denominado "Treatment of real dairy wastewater by electrolysis and photo-assisted electrolysis in presence of chlorides" dieron a conocer la eficiencia del tratamiento de electrólisis fotoasistida en aguas residuales reales al remover cerca del 98% de DQO bajo condiciones iniciales de pH 5 y una temperatura de 25°C durante una hora; superando los resultados de la técnica electroquímica singular (p. 961-969).

Desde la posición de El-Sonbati et al. (2020), en su estudio llamado "Pretreatment of high organic load dairy industry wastewater by chemical coagulation and advanced oxidation processes" evaluaron las técnicas de coagulación y Fenton en los tratamientos previos a las aguas residuales de la industria láctea siguiendo una metodología estándar que introduzcan a los coagulantes (cal y sulfato de aluminio), seguido del reactivo de Fenton (AOP); obteniendo así, resultados respecto al AOP con la dosis óptima de 0.4 g/L con la reducción del 85% de DQO, 99.03% de TKN y 99.35% de fósforo gracias al apoyo del alumbre (p. 53-57).

Como expresa, Magaña-Irons et al. (2020) en su estudio titulado "Remoción de contaminantes del residual lácteo por electrocoagulación con electrodos de aluminio", optaron también por dicha técnica, probaron la eficiencia de los procesos combinados de electrocoagulación seguido de métodos de sedimentación, centrifugación y filtración; obteniendo una reducción del 93% de DQO presente en las aguas durante el tiempo neto de 2 horas a una medida de pH de 9.5 y con una corriente de  $3.39 \text{ mA/cm}^2$  (p. 17-34).

Según, Heidari et al. (2021) mediante su propuesta llamada "Evaluation and start-up of an electro-fenton-sequencing batch reactor for dairy wastewater treatment" plantearon un sistema combinando de electro-fenton añadido al reactor por lotes de secuenciación a escala de laboratorio; una propuesta novedosa para tratar aguas residuales reales acondicionadas a una temperatura de  $28^{\circ}\text{C}$  y con un pH 4, el cual logró remover el 98% de DQO en un periodo continuo de 6 horas (1-11).

De la misma industria y empleando efluentes sintéticos, Carvalho et al. (2018), desarrollaron un estudio titulado "Combined use of  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$  and  $\text{O}_3/\text{Mn}^{2+}$  in flotation of dairy wastewater" donde degradaron el material orgánico en aguas residuales sintéticas de lácteos empleando Ozonización (complementado con  $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y ozonización catalizada (adicionando  $\text{Mn}^{2+}$ ) bajo un sistema de bottle washer y tratamientos de flotación; obteniendo como resultados, la remoción del 64% de DQO con la técnica  $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$  superando por mucho a la ozonización catalítica con  $\text{Mn}^{2+}$  cuando el catalizador no cumple su función con la eficiencia estimada (p. 3-13).



Para la industria cárnica, Davarnejad et al. (2017) a través de su estudio denominado "Slaughterhouse wastewater treatment using an advanced oxidation process: optimization study" optaron por una técnica electroquímica de electro-fenton para tratar aguas residuales reales a un pH de 4.38 y un tiempo de reacción de 0.9 horas para lograr una remoción del 92% de DQO (1-10).

De acuerdo con, Alfonso-Muniozguren et al. (2018) en su estudio llamado "A combined activated sludge-filtration-ozonation process for abattoir wastewater treatment" verifican que, de la combinación de una técnica de ozono con un método de filtrado se logra obtener una remoción del 93% de DQO y 99% de SST de las muestras de agua residual real durante 0.5 horas y a condiciones iniciales de 25°C y un pH de 5.3 (p. 157-163).

Agregando que, Alfonso-Muniozguren et al. (2020) experimenta con otras técnicas de ozonización en su estudio denominado "Tertiary treatment of real abattoir wastewater using combined acoustic cavitation and ozonation", donde compara las técnicas de ozono singular con las de cavitación y una combinación entre ambas; destacando más a la última (ozono con ultrasonido) por conseguir remover 44% de DQO y 78% de DBO más que las otras, en el periodo de 1 hora (p. 1-9).

Por otro lado, Medina-Valderrama et al. (2020), trata a los efluentes de industria cárnica través de su estudio denominado "Tratamiento de aguas residuales de camales mediante tecnologías avanzadas de oxidación: proceso fenton", donde evaluaron la eficiencia de un proceso de oxidación avanzada no fotoquímica, estableciendo la dosis requerida de sulfato ferroso (Fenton) para obtener una reducción del 79.9% de DQO en tan solo 0.3 horas (p. 165-174).

Tomando en cuenta a, Alfonso-Muniozguren et al. (2021), en su estudio experimental titulado "The role of ozone combined with UVC/ $H_2O_2$  process for the tertiary treatment of a real slaughterhouse wastewater" compararon la efectividad de dos técnicas fotoquímicas basadas en ozonización con  $H_2O_2$  y radiación UVC para tratar aguas residuales reales de alta carga

orgánica; concluyendo que, la segunda técnica destacó más por su mayor remoción de 67% DQO en 3 horas con una dosis de 1.7 mg/min de  $O_3$ , en comparación con la primera al solo remover el 48% de DQO a pesar de utilizar un dosis de 30 mg/min en 3.17 horas (p. 1-9).

Otra industria que también se beneficia es la curtadura donde, Ramírez-Ramírez, Natividad et al. (2016) desarrollando un estudio llamado "Tratamiento con ozono de agua residual con taninos de curtiduría al vegetal" compararon las técnicas de ozono singular a un pH de 6.3 y ozono con hidróxido de sodio con pH de 10 para remover contaminantes en aguas residuales de curtiembre durante el periodo de 3 horas; obteniendo resultados favorables al remover 92% de fenoles y 50% de DQO con la técnica singular de ozono, mientras que el empleo de la segunda técnica combinada logra remover 93% de fenoles y un total de 85% del DQO (p. 53-73).

Citando a, Mayta et al. (2017) en su estudio denominando "Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación" emplearon dicha técnica de oxidación electroquímica en 11 muestras de aguas residuales de curtiembre con un pH inicial de 4.22 y una temperatura de 15°C; obteniendo resultados satisfactorios para la muestra número 04 al remover el 47.78% de DQO y 97.72% de cromo trivalente a un voltaje de 10 V, una disolución de 2 con agua potable y en un tiempo de 45 minutos (p. 331-340).

Teniendo en cuenta a, Rodríguez Agudelo et al. (2021) en su estudio nombrado "Tratamiento de aguas residuales producidas en el proceso de remojo en curtiembres empleando ozono y hierro como catalizador" analizaron el desempeño del hierro como catalizador acompañando a la técnica de oxidación de ozono en aguas residuales de industria curtidora logrando remover el 92.13% de DQO dosificando las muestras con 4 g/L de  $O_3$  y 10 mg/L de  $Fe^{2+}$  a una temperatura de 20°C, un pH de 6.72 y durante 2 horas de aplicación (p. 105-113).

Acerca de la eficiencia de remoción de efluentes tóxicos, Hernández-Medina et al. (2019) brindan su enfoque en la industria petrolera a través del estudio nombrado "Tratamiento de aguas residuales provenientes de estaciones de gasolina mediante ozonización catalítica" utilizaron como catalizador a la magnetita con una dosificación de 300 mg/L y un generador de ozono para el desarrollo de la técnica de ozonización catalítica heterogénea durante 0.6 horas; y así, lograr remover el 74.76% de DQO y 60.92% de COD bajo condiciones de pH 10 en las aguas tratadas (p. 23-34).

Desde la posición de, Centeno-Bordones et al. (2021) en su estudio titulado "Tratamiento de efluente petrolero mediante oxidación no fotoquímica y fotoquímica solar, empleando lodos rojos como catalizador" pone a prueba dos técnicas de oxidación avanzada fotoquímica (Foto-Fenton-like/fotocatálisis solar) y no fotoquímica (Fenton-like) para tratar aguas residuales petroleras mediante el uso de catalizadores como LRS400 (lodos rojos) y peróxido de hidrógeno; logrando establecer las condiciones iniciales de pH 2 y en un tiempo de 4 horas para ambos casos; así, se obtuvieron resultados para la remoción de 83.42% DQO y 99.92% TPH en Fenton-like empleando 133.33 g/L de  $H_2O_2$  más 800 mg LRS400/L, y de igual manera con el otro método con una reducción de 91.16% DQO y 100% TPH utilizando 100 g/L de  $H_2O_2$  añadiendo 800 mg LRS400/L (p. 209-222).

Como dice, Aljuboury et al. (2021) en su estudio denominado "Optimization of the petroleum wastewater treatment process using  $TiO_2/Zn$  photocatalyst", menciona la importancia de los catalizadores de óxido de titanio y de cinc utilizados en las técnicas fotoquímicas de oxidación y la adición de recursos extras para maximizar las reacciones, como las dos técnicas de fotocátalisis solar diferenciadas por el uso del burbujeo de aire en aguas residuales reales petroleras con un pH de 6.8 y una temperatura de 25°C; donde se obtienen mejores resultados con la técnica de fotocátalisis solar heterogénea con aireación al remover 74% de DQO en

un tiempo de 2.8 horas en comparación con la homogénea sin aireación que removió 61% de DQO en 3 horas (p. 61-69).

Finalmente, Treviño-Reséndez et al. (2020), en su investigación nombrada como "Influencia de los parámetros de operación en la degradación de naftaleno y fenantreno mediante electro oxidación", pone a prueba dicha técnica de oxidación electroquímica para tratar efluentes sintéticos mineros con el fin de eliminar a los contaminantes característicos de industria minera; obteniendo una reducción del 17.03% de DQO, más del 94% de naftaleno y más de 95% de fenantreno (p. 21-32).

Para tener un entendimiento más claro del tema, Pelayo et al. (2018) definen a los procesos de oxidación avanzada como las técnicas responsables de alterar la estructura de los contaminantes tóxicos difíciles de remover, mediante el uso de radicales hidroxilos como fuente oxidante para mineralizarlos en componentes fáciles de eliminar como dióxido de carbono, agua y ácidos inorgánicos (p. 5).

Adentrándose en el tema, Terán Solíz (2016), explica que las técnicas de oxidación avanzada se agrupan según su singularidad y sus modificaciones al emplear luz UV; conocidos como procesos no fotoquímicos y métodos fotoquímicos (p. 24).

Dentro de los procesos no fotoquímicos, se posiciona a las técnicas de ozono como las más conocidas; esto debido a que, tal y como Montero-Guadarrama et al. (2020) lo afirman, el ozono posee buena acogida en diversos tratamientos de agua por ser un fuerte agente oxidante al reducir olor, color, sabor, turbidez y hasta eliminar virus y patógenos (p. 7884). Además, Yacouba et al. (2021) considera a dicha técnica como el segundo mejor oxidante por su estabilidad en los medios y su capacidad oxidante (p. 2).

Sobre las técnicas derivadas de ozono, Miklos et al. (2018) expusieron información relevante sobre cada una; empezando por la ozonización, como el método adaptable tanto en medios ácidos como en los alcalinos transformando al ozono en oxígeno y agua; pero siendo potenciado al

adicionar peróxido de hidrógeno formando al método  $O_3/H_2O_2$ , ideal para destruir materia orgánica en mayores cantidades; finalmente, el tercer método denominado ozonización catalítica involucra catalizadores homogéneos y heterogéneos con el fin de aumentar su producción de radicales hidroxilos y la velocidad de degradación de los contaminantes en el medio (p. 121). Por otro lado, Hussain et al. (2020), habla de los mecanismos de reacción directa o indirecta del ozono; enfatizando en el valor del pH, pues, de éste depende su uso molecular con un pH ácido; y con un pH alcalino, se vuelve altamente reactivo (p. 196).

Por otro lado, Liu et al. (2018) y Páramo-Vargas et al. (2015), abordan a los procesos de Fenton conocidos por no utilizar reactivos peligrosos; empezando por el método de Fenton simple, cuya reacción involucra a un catalizador ( $Fe^{2+}$ ) y al peróxido de hidrógeno para liberar radicales hidroxilo siempre que se tenga al medio con pH ácido (3 o 3,5) que asegure una rápida degradación de contaminantes; y el segundo método denominado Electro-Fenton involucra a dos electrodos (un cátodo y un ánodo) adicionados al método Fenton que generan la ionización necesaria para degradar compuestos orgánicos, además de permitir mayor control del proceso (p. 380).

Acerca de los procesos fotoquímicos, Wu et al. (2017), advierte sobre el mal manejo de las ondas UV para su respectivo uso, afirmando que el mal manejo de esa radiación afectaría de manera negativa los resultados de mineralización de contaminantes en los tratamientos de aguas residuales. La adición de radiaciones UV a las técnicas de oxidación avanzada sería la mejora total de estos procesos. Otros métodos que benefician a los procesos de oxidación son el uso de la cavitación; Thakare et al. (2018) menciona que, tener como recursos a ultrasonidos en las actividades relacionadas a la oxidación avanzada, aumentarían las cantidades de radicales hidroxilos debido a las vibraciones complementadas al sistema de tratamiento.

### **III. METODOLOGÍA**

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

El tipo de investigación correspondió a un estudio básico y documental, debido a que, la finalidad de éste mismo es ampliar e incrementar el conocimiento teórico sobre un determinado tema utilizando métodos científicos para obtener resultados que se relacionen con las categorías estudiadas rescatados de información documentada (Esteban Nieto, N., 2018, p. 1).

El diseño de estudio fue no experimental – descriptivo, dado el enfoque de los investigadores, que recolectaron datos dependiendo de las categorías o conceptos seleccionados y planteados al inicio de la investigación (Hernández, et al., 2018, p. 178).

#### **3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización**

Las categorías consideradas para el estudio fueron: los procesos de oxidación avanzada, las técnicas de oxidación avanzada, el tipo de agua residual industrial, los parámetros de estudio, el porcentaje de remoción y los métodos de separación complementarios; acompañadas de sus subcategorías correspondientes en una matriz de categorización (Anexo N° 01).

#### **3.3. Escenario de estudio**

Los escenarios de estudio para la obtención de información fueron las bases de datos; mencionando así, a los escenarios en el siguiente orden: Scopus, Dialnet, Scielo, ScienceDirect, Semantic Scholar y Redalyc.

#### **3.4. Participantes**

El desarrollo de la investigación consideró 30 artículos, tomando en cuenta a los criterios de inclusión y exclusión, como la debida utilización de conectadores que facilitaron la obtención de información (Tabla N° 01).

**Tabla N°01.** Criterios de inclusión y exclusión

<b>Criterios de inclusión</b>	<b>Criterio de exclusión</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Fecha de publicación entre 2016 - 2022.</li><li>• Acceso libre.</li><li>• Idiomas: español e inglés.</li><li>• Artículos pertenecientes a revistas científicas indexadas.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Documentos duplicados</li><li>• Artículos no referidos al tema de estudio.</li></ul>

Fuente: Elaboración propia.

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

La técnica utilizada fue el análisis documental empleando una revisión sistemática de artículos científicos para la búsqueda, obtención y recolección de datos de información sobre las categorías de estudio.

El instrumento utilizado fue la ficha de recolección de datos realizado en el software Excel; donde se agrupan los datos esenciales para la revisión como: el diseño de la investigación, los procesos de oxidación avanzada y los porcentajes de remoción de parámetros de estudio; tal y como se muestran en las tablas N° 03, 04 y 05.

### 3.6. Procedimiento

Se realizó la búsqueda en cada una de las plataformas digitales (Scopus, Dialnet, Scielo, ScienceDirect, Semantic Scholar y Redalyc) utilizando las palabras clave en los idiomas español e inglés y sus respectivos conectores; tal y como se aprecia en la siguiente tabla:

**Tabla N°02.** Motores de búsqueda por base de datos

<b>Base de datos</b>	<b>Palabras clave</b>
Scopus	“(advanced oxidation processes) AND (wastewater)”
Scielo	“(advanced oxidation processes) AND (wastewater)”; “(oxidación avanzada) AND (aguas residuales)”
Redalyc	“(oxidación avanzada) AND (aguas residuales) AND (DQO)”
Semantic Scholar	“(advanced oxidation processes) AND (wastewater) AND (COD)”
ScienceDirect	“(advanced oxidation) AND (wastewater) AND (COD)”
Dialnet	“(oxidación avanzada) AND (aguas residuales)”

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se efectuó el descarte empezando por los cuatro primeros filtros, verificando que los documentos fueran artículos científicos indexados de acceso libre en los idiomas inglés y/o



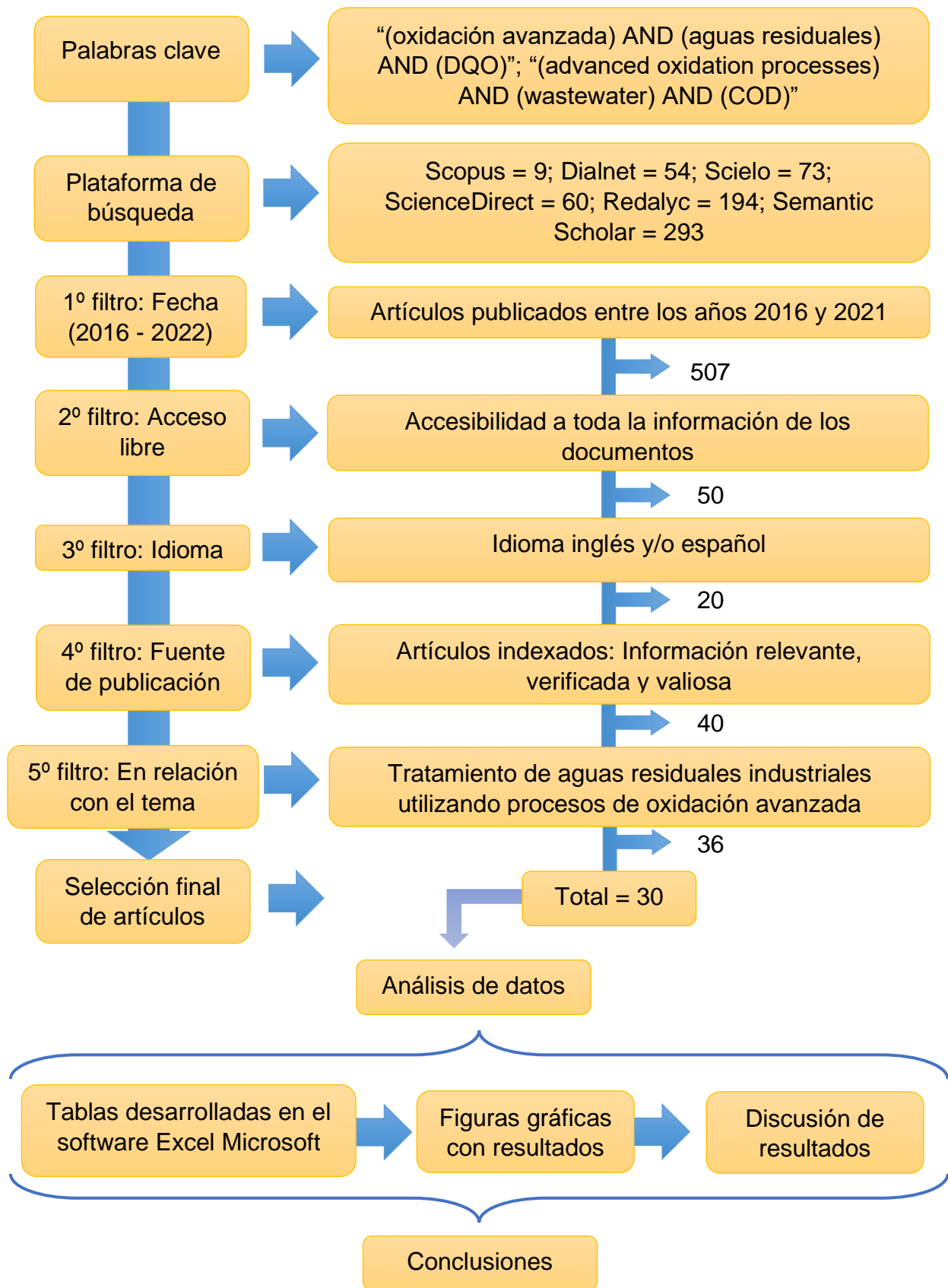
español, correspondientes entre los años 2016 y 2022. Luego de ello, se aplicó el quinto filtro que radica en quedarse con los documentos relacionados al tema y problemática.

En resumen, 30 artículos fueron seleccionados debido a que cumplen con lo establecido a los criterios de inclusión y exclusión; para después, ser distribuidos de manera ordenada en las tablas elaboradas en base a las categorías y subcategorías del presente estudio; y que conllevó también, el desarrollo de figuras que expusieron a los resultados obtenidos acompañadas con la respectiva discusión que les corresponde.

De esta manera, se respondieron las preguntas formuladas al inicio de la investigación; en formato final como conclusiones del estudio.

A continuación, se visualiza se procedimiento realizado en la siguiente figura:

**Figura N°01. Procedimiento de investigación**



Fuente: Elaboración propia

### **3.7. Rigor científico**

La investigación desarrollada posee rigor científico para el desarrollo concreto de la investigación. Una propiedad que fue evaluada según los siguientes criterios: con el criterio de credibilidad, por la recopilación de datos reales y verdaderos de autores que han experimentado el fenómeno de investigación en artículos científicos de revistas indexadas; con el criterio de consistencia lógica, por la interpretación de resultados comparando datos e ideas de los autores; y por último, con el criterio de relevancia, por tomar fuentes de información que cumplan con los objetivos propuestos al inicio de esta investigación.

### **3.8. Método de análisis de datos**

Para esta etapa se utilizó la técnica de análisis de datos con la ayuda de las hojas de cálculo en Excel Microsoft, estas nos facilitaron el ordenar y agrupar la información dado cada objetivo específico; y así, procesar de una manera más rápida y sencilla los resultados obtenidos visualizados en figuras gráficas.

### **3.9. Aspectos éticos**

En este estudio se respetó el derecho de auditoría de cada autor referenciando a estos mismos como también a toda institución vinculada con sus publicaciones. Se utilizaron fuentes confiables para la obtención de documentos completos y de libre acceso; esto para no atentar contra la autoría de las investigaciones utilizadas. Además, del correcto uso de citas y referencias de acuerdo con el estilo ISO 690 establecido; y el empleo del software Turnitin para corroborar el grado de similitud permisible que dispone el presente estudio. Todo esto fue realizado bajo los lineamientos requeridos por la Universidad César Vallejo.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En base a toda la información recopilada, se elaboraron las tablas N° 3, 4 y 5 exhibiendo una correcta distribución y utilización de datos extraídos según los objetivos específicos planteados al inicio de la investigación.

Empezando por el primer enunciado; que está centrado en exponer un valor numérico (en porcentaje) representando a la remoción de DQO de aguas residuales industriales tratadas bajo un diseño experimental puro que involucre, principalmente, a los procesos de oxidación avanzada, tal y como se observa en la siguiente tabla:

**Tabla N°03.** Remoción porcentual de DQO aplicando POAs según el agua residual industrial

N°	Autor(es)	Agua residual industrial	Tipo de muestra	Proceso de oxidación avanzada	Técnica de oxidación avanzada	Condiciones				Remoción de DQO (%)
						pH	Temperatura (°C)	DQO inicial (mg/L)	Tiempo (h)	
1	Alfonso-Muniozguren et al. (2018)	Cárnica	Real	No fotoquímica	Ozono	5.3	22	1804 ± 204	0.5	93
2	Alfonso-Muniozguren et al. (2020)	Cárnica	Real	No fotoquímica	Ozono	4	16 ± 3	242 ± 48	0.5	33
3	Medina-Valderrama et al. (2020)	Cárnica	Real	No fotoquímica	Fenton	3.2	18	4654.4	0.3	80
4	Davarnejad et al. (2017)	Cárnica	Real	No fotoquímica	Electro-Fenton	4	25	2932	0.93	92
5	Alfonso-Muniozguren et al. (2020)	Cárnica	Real	No fotoquímica	Cavitación	4	16 ± 3	242 ± 48	1	18

6	Alfonso-Muniozguren et al. (2020)	Cárnica	Real	No fotoquímica	Sono-ozono	4	16 ± 3	242 ± 48	1	44
7	Alfonso-Muniozguren et al. (2021)	Cárnica	Real	Fotoquímica	Ozono + Radiación UVC/Peróxido de hidrógeno	7.8	25	53 ± 8	3.17	48
8	Alfonso-Muniozguren et al. (2021)	Cárnica	Real	Fotoquímica	Ozono/Radiación UVC/Peróxido de hidrógeno	8	25	53 ± 8	3	67
9	Kumar et al. (2019)	Papelera	Real	No fotoquímica	Fenton	3	25	(no específica)	1.92	94
10	Bilińska et al. (2016)	Textil	Real	No fotoquímica	Ozono	12	(no específica)	2677	1	98
11	Sanchis et al. (2018)	Textil	Real	No fotoquímica	Ozono	7.7	30	2120	1	55
12	Bilińska et al. (2016)	Textil	Real	No fotoquímica	Ozono/Peróxido de hidrógeno	12	(no específica)	2677	1	85
13	Sanchis et al. (2018)	Textil	Real	No fotoquímica	Fenton/Ozono	3	30	2120	1	67
14	Gilpavas et al. (2017)	Textil	Real	No fotoquímica	Fenton	3	25	865	1.5	74
15	Bilici et al. (2022)	Textil	Real	No fotoquímica	Fenton	2.5	25	1240	1	51
16	Gilpavas et al. (2018)	Textil	Real	No fotoquímica	Sono-fenton	3	25	420	1.5	82
17	Gilpavas et al. (2019)	Textil	Real	No fotoquímica	Fenton con SZVI/Peróxido de Hidrógeno	3	(no específica)	875	1	76
18	Bilici et al. (2022)	Textil	Real	No fotoquímica	FSWO	2.5	99.85 - 373.85	1240	1	61
19	Bilińska et al. (2016)	Textil	Real	Fotoquímica	Ozono/Radiación UV	12	(no específica)	2677	1	86

20	Bilińska et al. (2016)	Textil	Real	Fotoquímica	Ozono/Radiación UV/Peróxido de hidrógeno	12	(no específica)	2677	1	90
21	Sanchis et al. (2018)	Textil	Real	Fotoquímica	Fotocatálisis solar (Fenton/ozono/solar)	3	30	2120	2	67
22	Sanchis et al. (2018)	Textil	Real	Fotoquímica	Fotocatálisis solar (Fenton/solar)	3	30	2120	1	45
23	Bilici et al. (2022)	Textil	Real	Fotoquímica	Foto-Fenton	2.5	25	1240	1	64
24	Gilpavas et al. (2017)	Textil	Real	Fotoquímica	Foto-Fenton	3	25	865	1.5	87
25	Bilińska et al. (2016)	Textil	Real	Fotoquímica	Radiación UV/Peróxido de hidrógeno	12	(no específica)	2677	1	90
26	Gilpavas et al. (2018)	Textil	Real	Fotoquímica	Sono-Foto-Fenton	3	25	420	1.5	95
27	El-Sonbati et al. (2020)	Láctea	Real	No fotoquímica	Fenton	3.7	25	112000	(no específica)	85
28	Heidari et al. (2021)	Láctea	Real	No fotoquímica	Electro-Fenton + SBR	4	28	(no específica)	6	98
29	Magaña-Irons et al. (2020)	Láctea	Real	No fotoquímica	Electrocoagulación	9.5	(no específica)	1044	2	93
30	De Sousa et al. (2019)	Láctea	Real	No fotoquímica	Electrólisis	5	25	759.4	1	96
31	De Sousa et al. (2019)	Láctea	Real	Fotoquímica	Electrólisis fotoasistida	5	25	759.4	1	98
32	Ramírez-Ramírez et al. (2016)	Curtidora	Real	No fotoquímica	Ozono	6.3	25	1303	3	50
33	Rodríguez Agudelo et al. (2021)	Curtidora	Real	No fotoquímica	Ozono	6.7	20	8129	2	92

34	Ramírez-Ramírez et al. (2016)	Curtidora	Real	No fotoquímica	Ozono/Hidróxido de sodio	10	25	1303	3	85
35	Mayta et al. (2017)	Curtidora	Real	No fotoquímica	Electrocoagulación	4.2	15	1132	0.75	48
36	Dobrosz-Gómez et al. (2020)	Agroindustrial	Real	No fotoquímica	Electrocoagulación con sulfato de sodio + Oxidación Anódica con DDB y acero	4.7	20 ± 0.05	(no específica)	2	75
37	Dobrosz-Gómez et al. (2020)	Agroindustrial	Real	No fotoquímica	Electrocoagulación con cloruro de sodio + Oxidación Anódica con grafito y acero	4.7	20 ± 0.05	(no específica)	2	67
38	Rimaycuna et al. (2019)	Agroindustrial	Real	Fotoquímica	UV/Peróxido de hidrógeno con agitación	3.2	27.5	323	2	-
39	Rimaycuna et al. (2019)	Agroindustrial	Real	Fotoquímica	UV/Dióxido de titanio dopado con paladio con agitación	3.2	27.5	323	2	4
40	Rimaycuna et al. (2019)	Agroindustrial	Real	Fotoquímica	UV/Dióxido de titanio dopado con paladio con aireación	3.2	27.5	323	2	63
41	Rimaycuna et al. (2019)	Agroindustrial	Real	Fotoquímica	UV/Dióxido de titanio dopado con paladio/Peróxido de hidrógeno con agitación	3.2	27.5	323	2	67
42	Sanchis et al. (2018)	Farmacéutica	Real	No fotoquímica	Ozono	9.2	30	18300	3	30
43	Sanchis et al. (2018)	Farmacéutica	Real	No fotoquímica	Fenton/Ozono	3	30	18300	3	65
44	Mukimin et al. (2019)	Farmacéutica	Real	No fotoquímica	Fenton electrocatalítico/Flotación electrocatalítica	3	25	1198	9	94

45	Sanchis et al. (2018)	Farmacéutica	Real	Fotoquímica	Fotocatálisis solar (Fenton/ozono/solar)	3	30	18300	2	60
46	Sanchis et al. (2018)	Farmacéutica	Real	Fotoquímica	Fotocatálisis solar (Fenton/solar)	3	30	18300	3	30
47	Güneş et al. (2021)	Química	Real	No fotoquímica	Fenton	3	25	2117	2	55
48	Güneş et al. (2021)	Química	Real	No fotoquímica	Ozono	8	25	2117	5.5	25
49	Güneş et al. (2021)	Química	Real	No fotoquímica	Persulfato	3.5 – 6	70	2117	5.5	52
50	Hernández-Medina et al. (2019)	Petrolera	Real	No fotoquímica	Ozono/magnetita	10	(no específica)	430	0.7	75
51	Centeno-Bordones et al. (2021)	Petrolera	Real	No fotoquímica	Fenton-like	2	25	18100	4	83
52	Centeno-Bordones et al. (2021)	Petrolera	Real	Fotoquímica	Foto-Fenton-like/fotocatálisis solar	2	25 – 52	18100	4	91
53	Aljuboury et al. (2021)	Petrolera	Real	Fotoquímica	Fotocatálisis solar homogénea con TiO <sub>2</sub> y ZnO	6.8	25	550 – 1600	3	61
54	Aljuboury et al. (2021)	Petrolera	Real	Fotoquímica	Fotocatálisis solar heterogénea con TiO <sub>2</sub> , ZnO y Aire	6.8	25	550 – 1600	2.8	74
55	Carvalho et al. (2018)	Láctea	Sintética	No fotoquímica	Ozono/Peróxido de hidrógeno	3.6 – 5	(no específica)	(no específica)	3	65
56	Carvalho et al. (2018)	Láctea	Sintética	No fotoquímica	Ozono/Manganeso	3.6 – 5	(no específica)	(no específica)	3	49
57	Treviño-Reséndez et al. (2020)	Minera	Sintética	No fotoquímica	Electro-oxidación	2	(no específica)	865	1	17
58	Bilińska et al. (2016)	Textil	Sintética	No fotoquímica	Ozono	12	(no específica)	2677	1	69

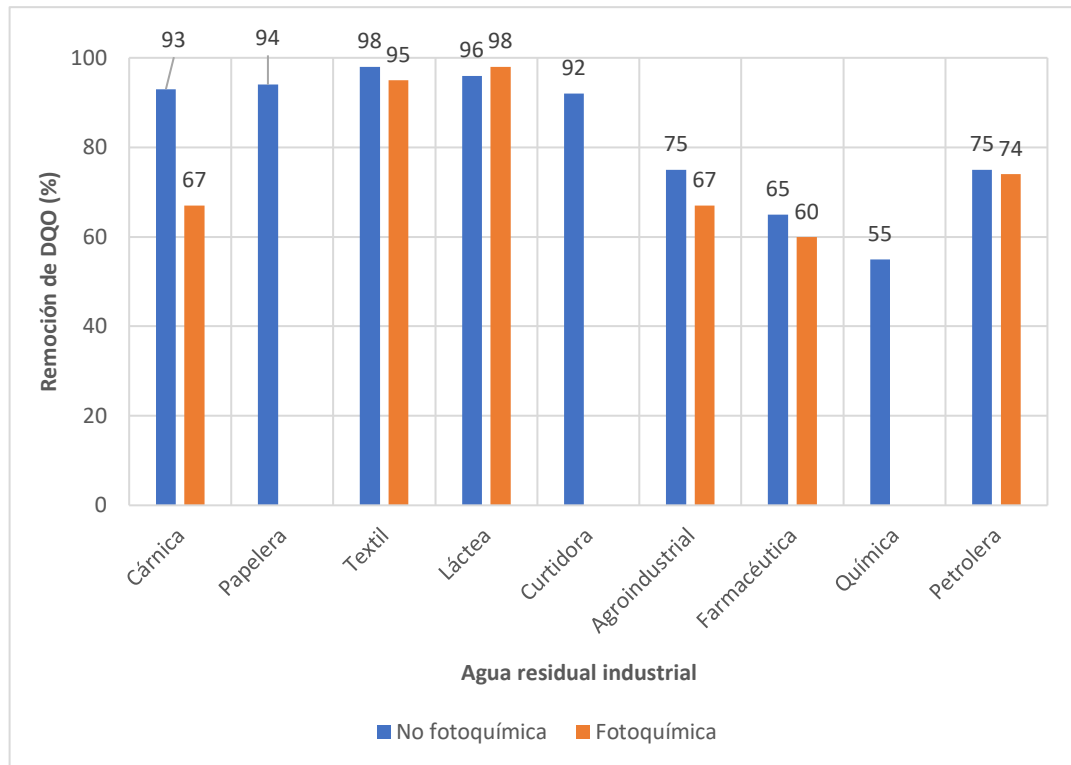


59	Venkatesh et al. (2017)	Textil	Sintética	No fotoquímica	Ozono	10	25	534	> 0.42	90
60	Bilińska et al. (2016)	Textil	Sintética	No fotoquímica	Ozono/Peróxido de hidrógeno	12	(no específica)	2677	1	50
61	Bilici et al. (2022)	Textil	Sintética	No fotoquímica	Fenton	2.5	25	(no específica)	1	96
62	Bilici et al. (2022)	Textil	Sintética	No fotoquímica	FSWO	2.5	99.85 - 373.85	(no específica)	1	99
63	Bermeo et al. (2016)	Textil	Sintética	No fotoquímica	Electrocoagulación	10	(no específica)	(no específica)	0.13	98
64	Bilińska et al. (2016)	Textil	Sintética	Fotoquímica	Ozono/Radiación UV	12	(no específica)	2677	1	68
65	Bilińska et al. (2016)	Textil	Sintética	Fotoquímica	Ozono/Radiación UV/Peróxido de hidrógeno	12	(no específica)	2677	1	55
66	Bilici et al. (2022)	Textil	Sintética	Fotoquímica	Foto-Fenton	2.5	25	(no específica)	1	100
67	Bilińska et al. (2016)	Textil	Sintética	Fotoquímica	Radiación UV/Peróxido de hidrógeno	12	(no específica)	2677	1	87

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°03, se muestra y evidencia la predominancia de los procesos no fotoquímicos debido a que abarcaron más del 89% de las industrias estudiadas; aparte de ello, en la figura N°02, de donde se extrajeron los datos de la tabla N°03, se seleccionaron valores de carácter significativo para cada proceso de oxidación avanzada al simbolizar una máxima reducción de demanda química de oxígeno posible en cada industria; tomando en cuenta su eficiencia sustentada bajo las condiciones iniciales de tratamiento; como se muestra a continuación:

**Figura N°02.** Valores máximos de reducción de DQO en aguas residuales reales



Fuente: Elaboración propia.

La figura N°02 detalla el mayor rendimiento de los procesos de oxidación avanzada aplicados en los tratamientos de aguas residuales de industria cárnica, textil, láctea, papelera y curtidora.

Iniciando con la industria cárnica, donde el valor más representativo para los procesos no fotoquímicos les pertenece a los autores Alfonso-Muniozguren et al. (2018) con 93% de DQO removido utilizando la técnica de ozono convencional; dato que hace destacar a las técnicas de ozono por su eficiencia y versatilidad al acoplarse a otras, como lo demuestran Tociu et al. (2020) al utilizar la técnica de electrocoagulación más ozono lograron obtener una reducción del 93% de DQO; o Suryawan et al. (2020), con una cantidad mayor o igual a 95% al emplear un reactor anaerobio adicionando ozono. Por otra parte, Alfonso-Muniozguren et al. (2020) posiciona sus resultados representativos de los procesos fotoquímicos con una remoción del 67% de DQO por la utilización de ozono y  $UV/H_2O_2$ ; entendiendo que la posible razón que haya afectado al proceso fotoquímico

se deba a la mala transmisión de radiación UV que, según Wu et al. (2017), es una de las frecuentes fallas en los tratamientos al reducir la materia orgánica e inorgánica de manera ineficiente.

Respecto a las aguas residuales de industria textil, Bilińska et al. (2016) representa el mayor alcance porcentual de reducción para procesos no fotoquímicos como el ozono convencional (98%); resultados similares se pueden visualizar con el estudio posterior de Bilińska et al. (2019), al fusionar las técnicas de ozono y electrocoagulación para obtener 60% de reducción de DQO; desde otro punto de vista, Malik et al. (2017) arriesgaron con el doble empleo de la técnica de coagulación-floculación para tratar las aguas residuales con ozono, obteniendo cerca del 70% de DQO reducido; por último cabe mencionar a Sivrioğlu et al. (2016) con la generación de ozono mediante la utilización de electrodos de estaño, antimonio y níquel (electroquímica) para reducir DQO hasta un 90% de su totalidad. En cuanto a Gilpavas et al. (2018) con la cifra porcentual representativa de los procesos fotoquímicos, la técnica de sono-foto-fenton con una reducción del 95% de DQO comparte similitud con lo obtenido por Thakare et al. (2018), al utilizar la misma técnica con una remoción del 86% de DQO gracias al empleo de los ultrasonidos como complementos, también conocidos por su capacidad de aumentar la cantidad de radicales hidroxilos siempre se apoye de un POA, según lo menciona el autor.

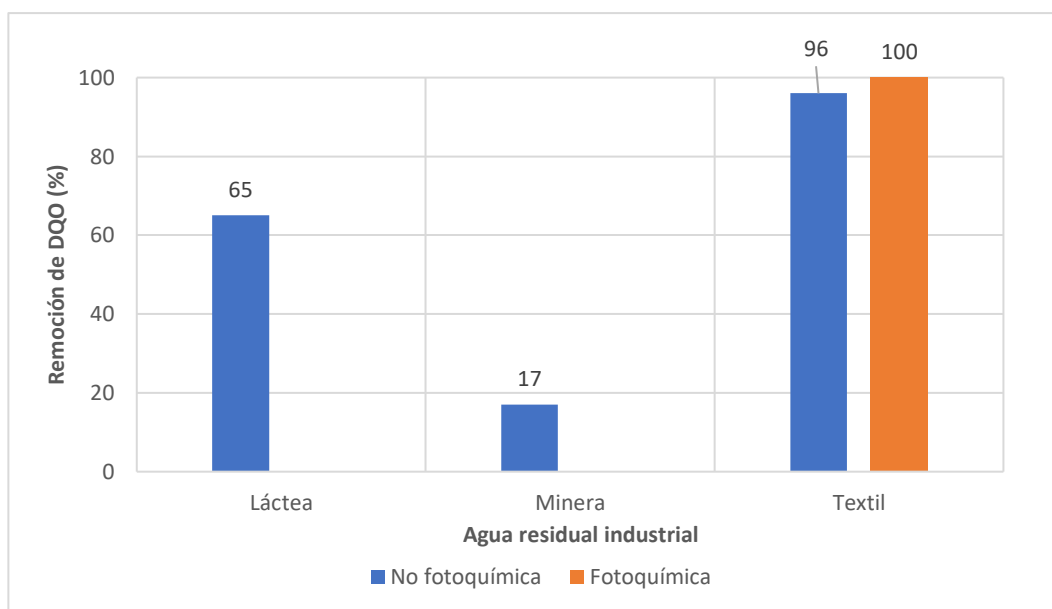
Por lo que se refiere a los efluentes originarios de industria papelera, el único valor representativo corresponde al proceso fenton convencional por Kumar et al. (2019), con una reducción alta del 94% del DQO durante 1.92 horas y trabajando en temperatura ambiente; lo que contrarresta con algunos autores como, Yani et al. (2020) que a una temperatura de 65°C y durante 6 horas lograron remover 82% de DQO, y a Şefika et al. (2019) que obtuvieron una remoción del 57% de DQO en un periodo de tiempo de 2 horas, por lo que, sugieren aplicar la técnica adicionando algún tipo radiación (foto-fenton) debido a la cantidad obtenida de 90% de reducción en solo una hora.

Acerca de las aguas residuales de industria curtidora, Rodríguez et al. (2021) representa 92% de remoción de DQO por sobre todos los otros al utilizar la técnica de ozono convencional y tomar solo un tiempo de dos horas de reacción; otros autores comparten la misma hazaña como Saranya et al. (2020) al lograr una remoción del 60% en 1.5 horas y Sivagami et al. (2018) con, 70% entre una y dos horas; ambos usando el proceso de ozonización.

Respecto a las aguas residuales de industria láctea, De Sousa et al. (2019) representa las cifras máximas y eficientes de remoción de DQO utilizando procesos no fotoquímicos y fotoquímicos, con la electrolisis (96%) y electrolisis fotoasistida (98%); compartiendo similitud con trabajos como los de Abdelhay et al. (2019) con el empleo de ánodos de diamante dopado con boro para la remoción de 97% de DQO; el desempeño de los electrodos de zinc para remover 50% de DQO durante 10 minutos como lo menciona Silva et al. (2020); o el requerimiento de compuestos de hierro y aluminio para los tratamientos de electrocoagulación, como lo plantean Reátegui-Romero et al. (2020), Majlessi-Nasr et al. (2020) y Chakchouk et al. (2017) con un alcance de remoción porcentual de DQO de 77%, 66% y 60%, respectivamente en un periodo menor a 2 horas.

Del mismo modo que con las aguas residuales reales y extraídas, en la siguiente figura se tomaron los datos de la tabla N°03, relacionados a efluentes sintéticos y simulados:

**Figura N°03.** Valores máximos de reducción de DQO en aguas residuales sintéticas



Fuente: Elaboración propia

En la figura N°03, se muestra la eficiencia de remoción de contaminantes provenientes de las aguas residuales textiles de carácter sintético, con Bilici et al. (2022) con la técnica sobresaliente de foto-fenton con la remoción total del DQO y colorantes presentes en dichas aguas tratadas; cabe mencionar la larga trayectoria y popularidad que posee dicha técnica fotoquímica para eliminar reactivos textiles como lo exponen; Shokri et al. (2020), con la remoción total de dietilftalato acompañado de un reducción del 85% de DQO; los autores Agustina et al. (2016), con la remoción alta del reactivo "Rojo 2" seguido de un 95% de DQO disminuido en 20 min; o Sreeja et al. (2016), con la remoción del 62% de DQO y un 85% de eliminación de tintes generalizados utilizando la técnica de foto-fenton heterogénea.

Continuando con el segundo enunciado planteado en la investigación; que se concentra en exponer los valores porcentuales que representan la remoción de DQO según los procesos de oxidación avanzada, y sus respectivas técnicas; se elaboró la siguiente tabla:

**Tabla N°04.** Remoción porcentual de DQO en aguas residuales industriales según los POAs aplicados

N°	Autor(es)	Proceso de oxidación avanzada	Técnica de oxidación avanzada	Agua residual industrial	Tipo de muestra	Condiciones				Remoción de DQO (%)
						pH	Temperatura (°C)	DQO inicial (mg/L)	Tiempo (h)	
1	Alfonso-Muniozguren et al. (2018)	No fotoquímica	Ozono	Cárnica	Real	5.3	22	1804 ± 204	0.5	93
2	Alfonso-Muniozguren et al. (2020)	No fotoquímica	Ozono	Cárnica	Real	4	16 ± 3	242 ± 48	0.5	33
3	Bilińska et al. (2016)	No fotoquímica	Ozono	Textil	Real	12	(no específica)	2677	1	98
4	Sanchis et al. (2018)	No fotoquímica	Ozono	Textil	Real	7.7	30	2120	1	55
5	Ramírez-Ramírez et al. (2016)	No fotoquímica	Ozono	Curtidora	Real	6.3	25	1303	3	50
6	Rodríguez Agudelo et al. (2021)	No fotoquímica	Ozono	Curtidora	Real	6.7	20	8129	2	92
7	Sanchis et al. (2018)	No fotoquímica	Ozono	Farmacéutica	Real	9.2	30	18300	3	30
8	Güneş et al. (2021)	No fotoquímica	Ozono	Química	Real	8	25	2117	5.5	25
9	Bilińska et al. (2016)	No fotoquímica	Ozono/Peróxido de hidrógeno	Textil	Real	12	(no específica)	2677	1	85

10	Ramírez-Ramírez et al. (2016)	No fotoquímica	Ozono/Hidróxido de sodio	Curtidora	Real	10	25	1303	3	85
11	Hernández-Medina et al. (2019)	No fotoquímica	Ozono/magnetita	Petrolera	Real	10	(no específica)	430	0.7	75
12	Alfonso-Muniozguren et al. (2020)	No fotoquímica	Sono-ozono	Cárnica	Real	4	16 ± 3	242 ± 48	1	44
13	Sanchis et al. (2018)	No fotoquímica	Fenton/Ozono	Textil	Real	3	30	2120	1	67
14	Sanchis et al. (2018)	No fotoquímica	Fenton/Ozono	Farmacéutica	Real	3	30	18300	3	65
15	Medina-Valderrama et al. (2020)	No fotoquímica	Fenton	Cárnica	Real	3.2	18	4654.4	0.3	80
16	Kumar et al. (2019)	No fotoquímica	Fenton	Papelera	Real	3	25	(no específica)	1.92	94
17	Gilpavas et al. (2017)	No fotoquímica	Fenton	Textil	Real	3	25	865	1.5	74
18	Bilici et al. (2022)	No fotoquímica	Fenton	Textil	Real	2.5	25	1240	1	51
19	El-Sonbati et al. (2020)	No fotoquímica	Fenton	Láctea	Real	3.7	25	112000	(no específica)	85
20	Güneş et al. (2021)	No fotoquímica	Fenton	Química	Real	3	25	2117	2	55
21	Gilpavas et al. (2019)	No fotoquímica	Fenton con SZVI/Peróxido de Hidrógeno	Textil	Real	3	(no específica)	875	1	76
22	Centeno-Bordones et al. (2021)	No fotoquímica	Fenton-like	Petrolera	Real	2	25	18100	4	83
23	Bilici et al. (2022)	No fotoquímica	FSWO	Textil	Real	2.5	99.85 - 373.85	1240	1	61

24	Mukimin et al. (2019)	No fotoquímica	Fenton electrocatalítico/FI otación electrocatalítica	Farmacéutica	Real	3	25	1198	9	94
25	Davarnejad et al. (2017)	No fotoquímica	Electro-fenton	Cárnica	Real	4	25	2932	0.93	92
26	Heidari et al. (2021)	No fotoquímica	Electrofenton + SBR	Láctea	Real	4	28	(no especifica)	6	98
27	De Sousa et al. (2019)	No fotoquímica	Electrólisis	Láctea	Real	5	25	759.4	1	96
28	Magaña-Irons et al. (2020)	No fotoquímica	Electrocoagulación	Láctea	Real	9.5	(no especifica)	1044	2	93
29	Mayta et al. (2017)	No fotoquímica	Electrocoagulación	Curtidora	Real	4.2	15	1132	0.75	48
30	Dobrosz-Gómez et al. (2020)	No fotoquímica	Electrocoagulación con sulfato de sodio + Oxidación Anódica con DDB y acero	Agroindustrial	Real	4.7	20 ± 0.05	(no especifica)	2	75
31	Dobrosz-Gómez et al. (2020)	No fotoquímica	Electrocoagulación con cloruro de sodio + Oxidación Anódica con grafito y acero	Agroindustrial	Real	4.7	20 ± 0.05	(no especifica)	2	67
32	Gilpavas et al. (2018)	No fotoquímica	Sono-fenton	Textil	Real	3	25	420	1.5	82
33	Alfonso-Muniozguren et al. (2020)	No fotoquímica	Cavitación	Cárnica	Real	4	16 ± 3	242 ± 48	1	18
34	Güneş et al. (2021)	No fotoquímica	Persulfato	Química	Real	3.5 – 6	70	2117	5.5	52
35	Bilińska et al. (2016)	Fotoquímica	Ozono/Radiación UV	Textil	Real	12	(no especifica)	2677	1	86



36	Bilińska et al. (2016)	Fotoquímica	Ozono/Radiación UV/Peróxido de hidrógeno	Textil	Real	12	(no específica)	2677	1	90
37	Alfonso-Muniozguren et al. (2021)	Fotoquímica	Ozono/Radiación UVC/Peróxido de hidrógeno	Cárnica	Real	8	25	53 ± 8	3	67
38	Alfonso-Muniozguren et al. (2021)	Fotoquímica	Ozono + Radiación UVC/Peróxido de hidrógeno	Cárnica	Real	7.8	25	53 ± 8	3.17	48
39	Bilici et al. (2022)	Fotoquímica	Fotofenton	Textil	Real	2.5	25	1240	1	64
40	Gilpavas et al. (2017)	Fotoquímica	Fotofenton	Textil	Real	3	25	865	1.5	87
41	Centeno-Bordones et al. (2021)	Fotoquímica	Fotofenton-like/fotocatálisis solar	Petrolera	Real	2	25 – 52	18100	4	91
42	Aljuboury et al. (2021)	Fotoquímica	Fotocatálisis solar homogénea con TiO <sub>2</sub> y ZnO	Petrolera	Real	6.8	25	550 – 1600	3	61
43	Aljuboury et al. (2021)	Fotoquímica	Fotocatálisis solar heterogénea con TiO <sub>2</sub> , ZnO y Aire	Petrolera	Real	6.8	25	550 – 1600	2.8	74
44	Sanchis et al. (2018)	Fotoquímica	Fotocatálisis solar (Fenton/ozono/solar)	Farmacéutica	Real	3	30	18300	2	60
45	Sanchis et al. (2018)	Fotoquímica	Fotocatálisis solar (Fenton/solar)	Farmacéutica	Real	3	30	18300	3	30
46	Sanchis et al. (2018)	Fotoquímica	Fotocatálisis solar (Fenton/ozono/solar)	Textil	Real	3	30	2120	2	67
47	Sanchis et al. (2018)	Fotoquímica	Fotocatálisis solar (Fenton/solar)	Textil	Real	3	30	2120	1	45
48	De Sousa et al. (2019)	Fotoquímica	Electrólisis fotoasistida	Láctea	Real	5	25	759.4	1	98

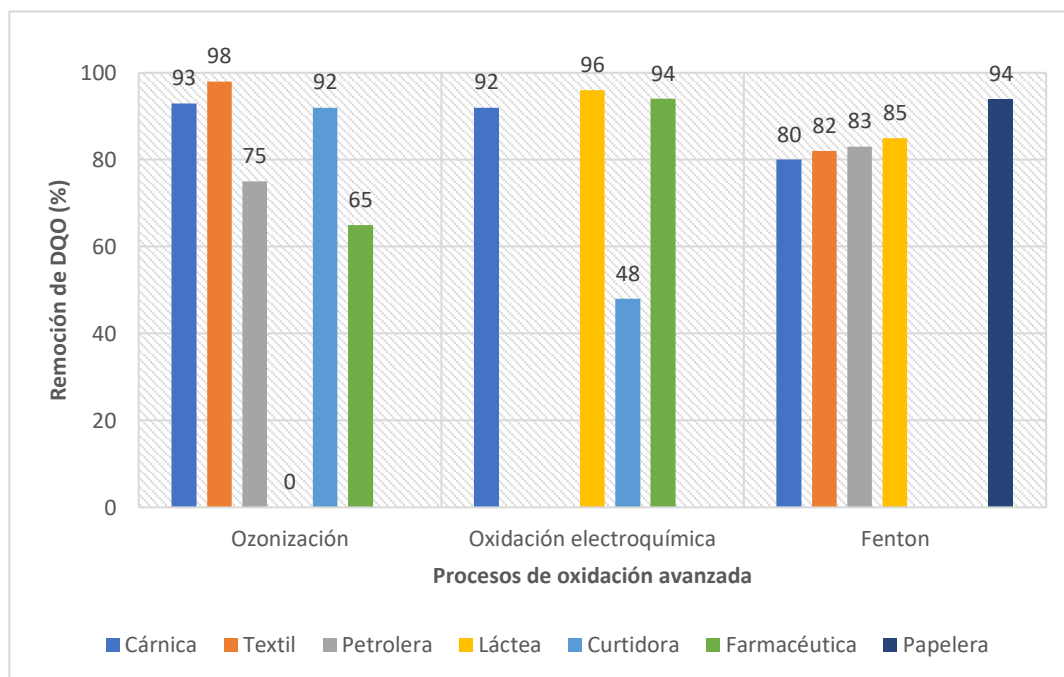
50	Rimaycuna et al. (2019)	Fotoquímica	UV/Dióxido de titanio dopado con paladio con agitación	Agroindustrial	Real	3.2	27.5	323	2	4
51	Rimaycuna et al. (2019)	Fotoquímica	UV/Dióxido de titanio dopado con paladio con aireación	Agroindustrial	Real	3.2	27.5	323	2	63
52	Rimaycuna et al. (2019)	Fotoquímica	UV/Dióxido de titanio dopado con paladio/Peróxido de hidrógeno con agitación	Agroindustrial	Real	3.2	27.5	323	2	67
53	Bilińska et al. (2016)	Fotoquímica	Radiación UV/Peróxido de hidrógeno	Textil	Real	12	(no específica)	2677	1	90
54	Gilpavas et al. (2018)	Fotoquímica	Sono-foto-fenton	Textil	Real	3	25	420	1.5	95
55	Carvalho et al. (2018)	No fotoquímica	Ozono/Peróxido de hidrógeno	Láctea	Sintética	3.6 - 5	(no específica)	(no específica)	3	65
56	Carvalho et al. (2018)	No fotoquímica	Ozono/Manganeso	Láctea	Sintética	3.6 - 5	(no específica)	(no específica)	3	49
57	Treviño-Reséndez et al. (2020)	No fotoquímica	Electro-oxidación	Minera	Sintética	2	(no específica)	865	1	17
58	Bilińska et al. (2016)	No fotoquímica	Ozono	Textil	Sintética	12	(no específica)	2677	1	69
59	Venkatesh et al. (2017)	No fotoquímica	Ozono	Textil	Sintética	10	25	534	> 0.42	90
60	Bilińska et al. (2016)	No fotoquímica	Ozono/Peróxido de hidrógeno	Textil	Sintética	12	(no específica)	2677	1	50
61	Bilici et al. (2022)	No fotoquímica	Fenton	Textil	Sintética	2.5	25	(no específica)	1	96
62	Bilici et al. (2022)	No fotoquímica	FSWO	Textil	Sintética	2.5	99.85 - 373.85	(no específica)	1	99

63	Bermeo et al. (2016)	No fotoquímica	Electro-coagulación	Textil	Sintética	10	(no específica)	(no específica)	0.13	98
64	Bilińska et al. (2016)	Fotoquímica	Ozono/Radiación UV	Textil	Sintética	12	(no específica)	2677	1	68
65	Bilińska et al. (2016)	Fotoquímica	Ozono/Radiación UV/Peróxido de hidrógeno	Textil	Sintética	12	(no específica)	2677	1	55
66	Bilici et al. (2022)	Fotoquímica	Foto-Fenton	Textil	Sintética	2.5	25	(no específica)	1	100
67	Bilińska et al. (2016)	Fotoquímica	Radiación UV/Peróxido de hidrógeno	Textil	Sintética	12	(no específica)	2677	1	87

Fuente: Elaboración propia

De donde se distribuyen los datos graficados en las siguientes figuras N°04 y 05, para resaltar el mayor rendimiento de cada proceso de oxidación avanzada en los tratamientos de efluentes correspondientes.

**Figura N°04.** Valores máximos de reducción de DQO dado el proceso no fotoquímico



Fuente: Elaboración propia

En la figura N°04, las técnicas de ozonización alcanzaron altos niveles de reducción de DQO para las aguas residuales de industria cárnica (93%), textil (98%) y de curtiembre (92%); seguido de las técnicas de oxidación electroquímica para los efluentes de industria cárnica (92%), láctea (96%) y farmacéutica (94%); y con las reducciones aceptables para las industrias papelera (94%), láctea (85%), petrolera (83%), cárnica (80%) y textil (82%) que utilizan las técnicas de fenton.

Acerca de las técnicas de ozonización, el desempeño de éstas se ve reflejado en la eliminación de los múltiples contaminantes que radican en las aguas residuales cárnicas, textiles y curtidoras; véase como ejemplo a Sabri et al. (2018), en apoyo del peróxido de hidrógeno, el ozono elimina en su totalidad a colorantes altamente tóxicos como el Reactive Green 19, y un restante 60% de disminución de DQO; adicionando a los resultados de Hajiali et al. (2018) que acoplaron a procesos biológicos con dicha técnica de oxidación para la eliminación del 98% de amoniaco y 97% de remoción de DQO en aguas residuales de curtiembre; pues, tal y como lo

dice Yacouba et al. (2021), se le considera como el segundo agente oxidante más efectivo en tratamientos de agua por su estabilidad y capacidad de desinfección.

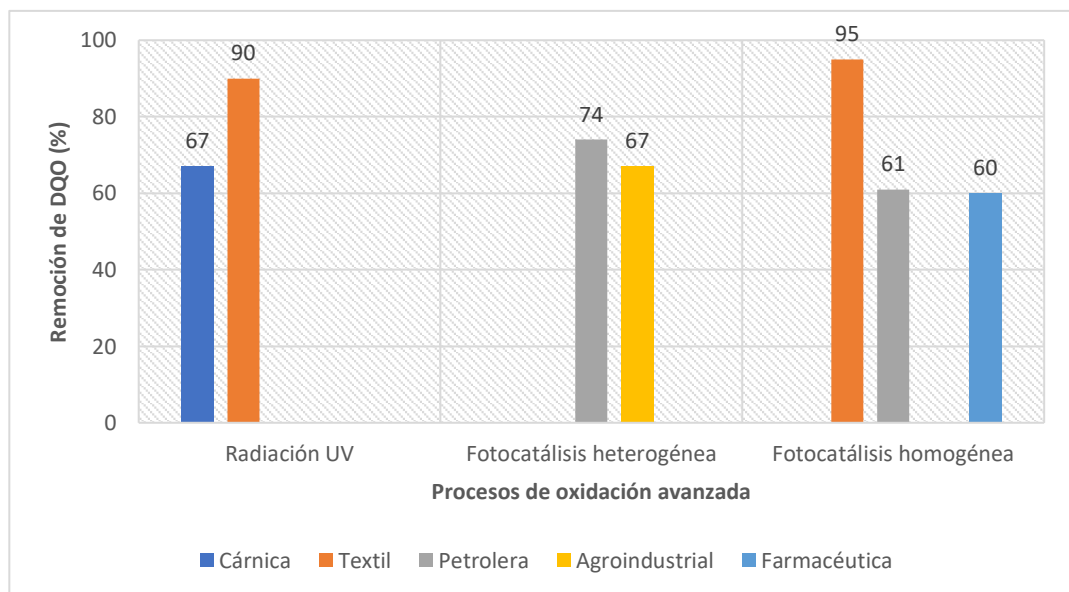
Por lo que se refiere a la oxidación electroquímica, el rendimiento de estas técnicas facilita a los tratamientos de aguas residuales de industria cárnica, láctea y farmacéutica; donde sobresale más la técnica de electrocoagulación, no solo por el uso de electrodos comunes de hierro y aluminio al ser los más seguros, rentables y disponibles, como lo comenta Hakizimana et al. (2017); sino, por su efectividad al remover entre 85-93% de DQO para aguas residuales cárnicas, según Combatt et al. (2017); hasta valores altos como una disminución del 97% de DQO para efluentes lácteos, en base al estudio de Melchioris et al. (2016); o también por la eliminación de contaminantes peligrosos, como el 73% de remoción de berberina con 95% de DQO para las aguas residuales farmacéuticas, como lo corroboran Sun et al. (2017). Dichos resultados se relacionan a la perfección con lo mencionado por Páramo-Vargas et al. (2015), que resalta la eficiencia de esta técnica al eliminar un conjunto inmenso de contaminantes con consumos de energía mínimos durante un periodo corto de reacción.

Respecto a las técnicas de fenton, su actuar se ve reflejado en las cifras altas que ocupan a las industrias textil, papelera, láctea y petrolera; tal y cual lo comenta Sancheti et al. (2019), los procesos de fenton son capaces de eliminar distintos contaminantes en los efluentes textiles, de lo más comunes como el tinte verde malaquita hasta lo más complicados como los metales. Un claro ejemplo son Lin et al. (2020), que al utilizar la técnica convencional de fenton en sus aguas textiles, logra remover el 95% DQO a 85°C. O su funcionamiento en las aguas residuales papeleras, con Abedinzadeh et al. (2018) utilizando un reactor discontinuo y acoplado a la técnica de Fenton como tratamiento posterior, logrando una reducción de DQO del 92% y una eliminación del color del 90 % a un pH inicial de 3 durante un tiempo de reacción de 30 min; pues, su funcionamiento,

explicado por Liu et al. (2018), se rige bajo los valores de pH 2.5 a 3.5 para obtener resultados favorables.

Del mismo modo que con los procesos de oxidación avanzada no fotoquímicos, el siguiente punto trata de la selección de valores numéricos máximos representando a cada industria estudiada según los procesos fotoquímicos de oxidación avanzada, como se muestra en la siguiente figura:

**Figura N°05.** Valores máximos de reducción de DQO dado el proceso fotoquímico



Fuente: Elaboración propia

En la figura N°05, se muestra los mejores resultados de cada técnica y su sobresaliente desempeño para las industrias textiles y petroleras. Empezando por las técnicas que acoplan radiación UV que se vinculan más a los efluentes textiles, tal y como lo demuestra Pourgholi et al. (2020), al someter sus muestras de agua residual textil bajo la técnica combinada de  $UV/H_2O_2/O_3$  obteniendo una remoción del 89% del tinte y 77% de DQO. Continuando con los procesos de fotocatalisis homogénea, se denota su mayor rendimiento en los efluentes textiles; como lo demuestra Katara et al. (2018) al utilizar la técnica de foto-fenton y lograr remover entre un 70-80% de DQO; además de ser eficientes también en las aguas residuales

petroquímicas, como Mohadesi et al. (2021) explica, la adicción de radiación solar a la técnica de foto-fenton lograría una reducción del 77% de DQO siguiendo las condiciones operativas óptimas como pH 4 y una medida requerida de 2mM de hierro.

Por último, los procesos de fotocatalisis heterogénea, donde mayormente disponen su funcionamiento en el tratamiento de efluentes de industria petrolera, al igual que lo expuesto por Fernandes et al. (2020), donde emplea la combinación de fotocatalisis heterogénea/ozono/peróxido de hidrógeno para remover el 38% de DQO en 0.5 horas, o fuera el caso para las aguas residuales de industria textil, cuyo funcionamiento es confirmado por Talaiekhosani et al. (2020), con la técnica de fotocatalisis heterogénea acoplada a un microrreactor de electro flotación consiguieron remover el 97% de DQO. Además de tomar en cuenta a las desventajas del proceso pues, Vučić et al. (2020), explica la importancia de la adicción del peróxido de hidrogeno a la fotocatalisis heterogénea al asegurar una mejor degradación y poca perdida de energía, que es común en dicha técnica si se aplica en solitario.

Finalmente, con el tercer enunciado planteado en la investigación; se propone evaluar y determinar al principal método de separación complementado a los procesos de oxidación avanzada para el aumento de la demanda química de oxígeno; para ello se elaboró la siguiente tabla:

**Tabla N°05.** Principales métodos de separación complementarios utilizados en POAs para tratar aguas residuales industriales

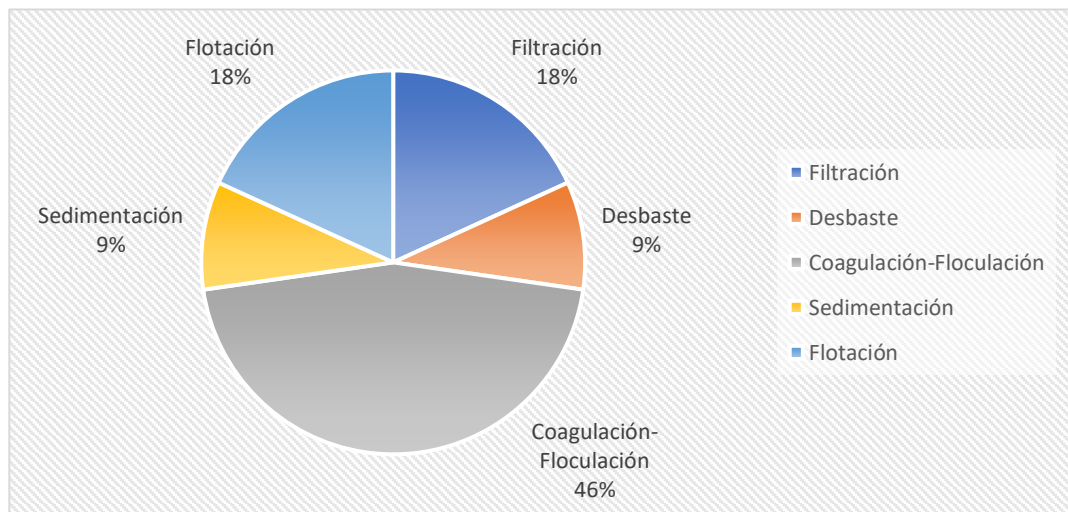
N°	Autor(es)	Agua residual industrial	Tipo de muestra	Proceso de oxidación avanzada	Técnica de oxidación avanzada	Condiciones				Remoción de DQO (%)	Método complementario
						pH	Temperatura (°C)	DQO inicial (mg/L)	Tiempo (h)		
1	Alfonso-Muniozguren et al. (2018)	Cárnica	Real	No fotoquímica	Ozono	5.3	22	1804 ± 204	0.5	93	Filtración
2	Medina-Valderrama et al. (2020)	Cárnica	Real	No fotoquímica	Fenton	3.2	18	4654.4	0.3	80	Desbaste
3	Gilpavas et al. (2017)	Textil	Real	No fotoquímica	Fenton	3	25	865	1.5	74	Coagulación-floculación
4	Gilpavas et al. (2018)	Textil	Real	No fotoquímica	Sono-Fenton	3	25	420	1.5	82	Coagulación-floculación
5	Gilpavas et al. (2017)	Textil	Real	Fotoquímica	Foto-Fenton	3	25	865	1.5	87	Coagulación-floculación
6	Gilpavas et al. (2018)	Textil	Real	Fotoquímica	Sono-Foto-Fenton	3	25	420	1.5	95	Coagulación-floculación
7	El-Sonbati et al. (2020)	Láctea	Real	No fotoquímica	Fenton	3.7	25	112000	(no específica)	85	Coagulación-floculación
8	Magaña-Irons et al. (2020)	Láctea	Real	No fotoquímica	Electrocoagulación	9.5	(no específica)	1044	2	93	Sedimentación y filtración
9	Carvalho et al. (2018)	Láctea	Sintética	No fotoquímica	Ozono/Peróxido de hidrógeno	3.6 – 5	(no específica)	(no específica)	3	65	Flotación
10	Carvalho et al. (2018)	Láctea	Sintética	No fotoquímica	Ozono/Manganeso	3.6 – 5	(no específica)	(no específica)	3	49	Flotación

Fuente: Elaboración propia



En la tabla N°04, se consideran 10 técnicas de oxidación avanzada que han experimentado el apoyo y beneficio de implementar un método de separación que contribuya a la reducción maximizada de DQO en las distintas aguas residuales a nivel industrial; dichos datos se trasladaron a la siguiente figura:

**Figura N°06.** Principales métodos de separación complementarios adicionados a los POAs



Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la figura, el método complementario de coagulación - floculación en industrias textiles predomina con un 46% de los artículos revisados. En su mayoría, reduce los niveles de DQO en las aguas residuales donde actúe y en la remoción de SST.

Según Tasneem et al. (2020), al utilizar sulfato ferroso e hidróxido de calcio en dosis de 1 g de sulfato ferroso y 1 g de hidroxilo de calcio como coagulante-floculante, se pudo obtener una reducción del 54.98% en aguas de industria textil. Este también tuvo resultados positivos en otros parámetros como Carbono Orgánico Total (TOC) y pH. Por otro lado, Wolf et al. (2015), nos indica que el uso de los coagulantes Tanfloc SG y Tanfloc SH para la industria láctea en dosis de 20 mg/L con un pH de 6 y 5 respectivamente. Tuvo resultado para la disminución de DQO con un 71% utilizando Tanfloc SG y un 65.6% para el uso de Tanfloc SH.

## V. CONCLUSIONES

- Los procesos no fotoquímicos de oxidación avanzada reducen más demanda química de oxígeno en las aguas residuales de industria curtidora, cárnica, papelera, láctea y textil.
- Las técnicas de oxidación avanzada más eficientes para reducir DQO fueron la ozonización, la cual pudo llegar hasta un 98% de DQO en aguas de la industria textil. Al igual la oxidación electroquímica la cual pudo disminuir hasta el 96% de DQO en aguas de la industria láctea. Sin embargo, se encontró que la ozonización no es tan eficaz en aguas de la industria farmacéutica ya que solo logró una reducción del 65% del DQO y la oxidación electroquímica tuvo una disminución del 46% de DQO en industria de curtiembres.
- El principal método de separación complementada a los procesos de oxidación avanzada son los procesos de coagulación-floculación.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Realizar búsqueda de artículos en otras bases de datos como: ResearchGate, etc. Esto para enriquecer más las tablas de datos y obtener resultados más detallados.
- Abarcar más parámetros de estudio como: Solidos totales suspendidos, demanda bioquímica de oxígeno, conductividad, etc. Para poder aportar mucho más a la investigación.
- En futuras investigaciones, se recomienda abarcar más parámetros de estudio como: Solidos totales suspendidos, demanda bioquímica de oxígeno, conductividad, etc.

## REFERENCIAS

ABDELHAY, Arwa *et al.* Dairy wastewater remediation using electrochemical oxidation on boron doped diamond anode (BDD). *Desalin. Water Treat* [en línea]. 2019, Vol. 71, p. 177-182. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: [https://www.deswater.com/DWT\\_articles/vol\\_171\\_papers/171\\_2019\\_177.pdf](https://www.deswater.com/DWT_articles/vol_171_papers/171_2019_177.pdf)

ABEDINZADEH, Niloofar *et al.* Evaluation of color and COD removal by Fenton from biologically (SBR) pre-treated pulp and paper wastewater. *Process Safety and Environmental Protection* [en línea]. 2018, vol. 116, p. 82-91. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582018300181>

AGUSTINA, T. E. *et al.* Degradation of reactive red 2 by Fenton and photo-Fenton oxidation processes. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* [en línea]. 2016, Vol. 11, no. 8, p. 5227-5231. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: [http://www.arpnjournals.org/jeas/research\\_papers/rp\\_2016/jeas\\_0416\\_4098.pdf](http://www.arpnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2016/jeas_0416_4098.pdf)

ALFONSO-MUNIOZGUREN, Pello *et al.* A combined activated sludge-filtration-ozonation process for abattoir wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering* [en línea]. 2018, vol. 25, p. 157-163. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714418301600?via%3Dihub>

ALFONSO-MUNIOZGUREN, Pello *et al.* Tertiary treatment of real abattoir wastewater using combined acoustic cavitation and ozonation. *Ultrasonics Sonochemistry* [en línea]. 2020, vol. 64, p. 1-9. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S135041771831407X?via%3Dihub>

ALFONSO-MUNIOZGUREN, Pello *et al.* The role of ozone combined with UVC/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process for the tertiary treatment of a real slaughterhouse wastewater. *Journal of Environmental Management* [en línea]. 2021, vol. 289, p. 1-9. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721005429>

ALJUBOURY, Dheea al deen Atallah *et al.* Optimization of the petroleum wastewater treatment process using TiO<sub>2</sub>/Zn photocatalyst. *South African Journal of Chemical*

Engineering [en línea]. 2021, vol. 38, no 1, p. 61-69. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1026918521000457>

BERMEO, Martha *et al.* Remoción de colorantes de efluente sintético de industria textil aplicando tecnología avanzada de electrocoagulación. Perú: Revista Del Instituto De Investigación De La Facultad De Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica Y Geográfica [en línea]. 2016, vol. 19, no 38, p. 125-128. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81649428011>

BILICI, Zeynep *et al.* The effect of different types of AOPs supported by hydrogen peroxide on the decolorization of methylene blue and viscose fibers dyeing wastewater. Water Science and Technology [en línea]. 2022, vol. 85, no 1, p. 77-89. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: <https://iwaponline.com/wst/article/85/1/77/85348/The-effect-of-different-types-of-AOPs-supported-by>

BILIŃSKA, Lucyna *et al.* Comparison between industrial and simulated textile wastewater treatment by AOPs—Biodegradability, toxicity and cost assessment. Polonia: Chemical Engineering Journal [en línea]. 2016, vol. 306, p. 550-559. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894716310464?pes=vor>

BILIŃSKA, Lucyna *et al.* Coupling of electrocoagulation and ozone treatment for textile wastewater reuse. Chemical Engineering Journal [en línea]. 2019, vol. 358, p. 992-1001. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1385894718320448?token=45A8F579EB5A2FA6DD45263B1879CCD391DD101010A58C6DE1416D15BB3E2DF37F6F755C19557EC4196609979A81629C&originRegion=us-east-1&originCreation=20220712081818>

CAMPOVERDE Niño, Omayra Jazmín. Tratamiento de aguas residuales de una empresa industrial de congelados. Perú: Universidad de Piura [en línea]. 2020, p. 42. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4397/ING\\_635.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4397/ING_635.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

CARVALHO, Marta Cristina Silva *et al.* Combined use of O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and O<sub>3</sub>/Mn<sup>2+</sup> in flotation of dairy wastewater. Reino Unido: Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science [en línea]. 2018, Vol. 13, p. 3-13. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/js7GvCJxLrCqpdjPWzx5V9z/?lang=en>

CENTENO-BORDONES, Guillermo *et al.* Tratamiento de efluente petrolero mediante oxidación no fotoquímica y fotoquímica solar, empleando lodos rojos como catalizador. Revista Boliviana de Química [en línea]. 2021, vol. 38, no 5, p. 28-41. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/4263/426369963003/>

CHAKCHOUK, I. *et al.* A combined electrocoagulation-electrooxidation treatment for dairy wastewater. Brazilian journal of chemical engineering [en línea]. 2017, Vol. 34, p. 109-117. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/ab4f/5ec5a095a93d80477b2fde7f20b9d53241f2.pdf?ga=2.263657032.531800232.1657578718-1187979368.1655454730>

COMBATT, M. P. M. *et al.* Validation of the electrocoagulation process and evaluation of the electro-dissolution of electrodes in the treatment of poultry slaughterhouse wastewater. Química Nova [en línea]. 2017, vol. 40, no 4, p. 447-453. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <http://old.scielo.br/pdf/qn/v40n4/0100-4042-qn-40-04-0447.pdf>

DAVARNEJAD, Reza *et al.* Slaughterhouse wastewater treatment using an advanced oxidation process: optimization study. Environmental Pollution [en línea]. 2017, vol. 223, p. 1-10. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749116313537>

DE SOUSA, Diego Domingos Pereira *et al.* Treatment of real dairy wastewater by electrolysis and photo-assisted electrolysis in presence of chlorides. Water Science and Technology [en línea]. 2019, vol. 80, no 5, p. 961-969. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: <https://iwaponline.com/wst/article/80/5/961/70076/Treatment-of-real-dairy-wastewater-by-electrolysis>

DOBROSZ-GÓMEZ, Izabela *et al.* Tratamiento de aguas residuales de la industria del café soluble vía Electrocoagulación-Oxidación Anódica. Selección de los electrodos. Revista EIA [en línea]. 2020, vol. 17, no 34, p. 1-17. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/v17n34/2463-0950-eia-17-34-126.pdf>

EL-SONBATI, Mervat A. *et al.* Pretreatment of High Organic Load Dairy Industry Wastewater by Chemical Coagulation and Advanced Oxidation Processes. Egipto: The International Journal of Environmental Sciences [en línea]. 2020, vol. 21, no 1, p. 53-60. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: [https://cat.journals.ekb.eg/article\\_94172\\_f2f48e60035fa1c930e8bfe16d3b9903.pdf](https://cat.journals.ekb.eg/article_94172_f2f48e60035fa1c930e8bfe16d3b9903.pdf)

ESTEBAN Nieto, Nicomedes. Tipos de investigación. 2018. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/250080756.pdf>

FERNANDES, André *et al.* Synergistic effect of TiO<sub>2</sub> photocatalytic advanced oxidation processes in the treatment of refinery effluents. Chemical Engineering Journal [en línea]. 2020, vol. 391, p. 123488. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894719329018>

GILPAVAS, Edison *et al.* Coagulation-flocculation sequential with Fenton or Photo-Fenton processes as an alternative for the industrial textile wastewater treatment. Journal of environmental management [en línea]. 2017, vol. 191, p. 189-197. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479717300233>

GILPAVAS, Edison *et al.* Tratamiento de aguas residuales de la industria textil mediante coagulación química acoplada a procesos fenton intensificados con ultrasonido de baja frecuencia. Colombia: Revista internacional de contaminación ambiental [en línea]. 2018, vol. 34, no. 1, p. 157-167. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992018000100157&lang=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992018000100157&lang=es)

GILPAVAS, Edison *et al.* Using scrap zero valent iron to replace dissolved iron in the Fenton process for textile wastewater treatment: Optimization and assessment of

toxicity and biodegradability. *Environmental Pollution* [en línea]. 2019, vol. 252, p. 1709-1718. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026974911931752X>

GÜNEŞ, Elçin *et al.* Removal of COD, aromaticity and color of a pretreated chemical producing industrial wastewater: a comparison between adsorption, ozonation, and advanced oxidation processes. *Turquía: Turkish Journal of Chemistry* [en línea]. 2021, vol. 45, no 3, p. 551-565. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: [https://pdfs.semanticscholar.org/b122/2d450e5235c1057f272a8d916366eac7b7fa.pdf?\\_ga=2.266448653.2029462484.1652362935-2133028611.1652362935](https://pdfs.semanticscholar.org/b122/2d450e5235c1057f272a8d916366eac7b7fa.pdf?_ga=2.266448653.2029462484.1652362935-2133028611.1652362935)

HAJIALI, Amir *et al.* Wastewater treatment of tanneries industry through bio-ozone-biotreatment. *International Journal of Scientific Engineering and Science* [en línea]. 2018, Vol. 2, no. 8, p. 10-13. [Fecha de consulta: 23 de junio del 2022] Recuperado de: <http://ijses.com/wp-content/uploads/2018/08/224-IJSES-V2N8.pdf>

HAKIZIMANA, Jean Nepo *et al.* Electrocoagulation process in water treatment: A review of electrocoagulation modeling approaches. *Desalination* [en línea]. 2017, vol. 404, p. 1-21. [Fecha de consulta: 23 de junio del 2022] Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916416315971>

HEIDARI, Mohammad Reza *et al.* Evaluation and start-up of an electro-Fenton-sequencing batch reactor for dairy wastewater treatment. *Water Resources and Industry* [en línea]. 2021, vol. 25, p. 1-11. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212371721000123>

HERNÁNDEZ-MEDINA, Nathalia *et al.* Tratamiento de aguas residuales provenientes de estaciones de gasolina mediante ozonización catalítica. *Ingeniería y competitividad* [en línea]. 2019, vol. 21, no 1, p. 23-34. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/inco/v21n1/0123-3033-inco-21-01-00023.pdf>

HERNÁNDEZ-SAMPIERI, Roberto *et al.* Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. México: McGrawHill. 2018. p. 178. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64785777/METODOLOGIA\\_DE\\_LA\\_INVESTIG](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/64785777/METODOLOGIA_DE_LA_INVESTIG)



[ACION LAS RUTA-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1634781186&Signature=RrPluGi5pgJCZ--npRTXRKhRDeqxotA3ZBd9fhNjiZRLcR3vppxMCav5qkNYtCyRf32faXyb3VYFrBi4qi6pSmJmHMGES0xcw2MJX82I0umBsXdYfCVsI5zt6eRMErsYblQjEYa9eAly0HbRbNYs8GOilaosH8ss-QYFQHMR-1D3LIVcjWxr1CMLYSwWQ-UmOy7~I2ivPzeV~ACGtw4Xcy3iTsxLQktZIHnz3zV8n1-aKii8dvkiNQZB78VSMTBqP~DobC2JVv5~NM7-nlyNjd9yG4E~WFptHvJyrcrK40bRcC~NONVYtmlfzHN~v~7rX-EHXtXijQe-SRIgEUPA &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://www.semanticscholar.org/paper/ACION-LAS-RUTA-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1634781186&Signature=RrPluGi5pgJCZ--npRTXRKhRDeqxotA3ZBd9fhNjiZRLcR3vppxMCav5qkNYtCyRf32faXyb3VYFrBi4qi6pSmJmHMGES0xcw2MJX82I0umBsXdYfCVsI5zt6eRMErsYblQjEYa9eAly0HbRbNYs8GOilaosH8ss-QYFQHMR-1D3LIVcjWxr1CMLYSwWQ-UmOy7~I2ivPzeV~ACGtw4Xcy3iTsxLQktZIHnz3zV8n1-aKii8dvkiNQZB78VSMTBqP~DobC2JVv5~NM7-nlyNjd9yG4E~WFptHvJyrcrK40bRcC~NONVYtmlfzHN~v~7rX-EHXtXijQe-SRIgEUPA &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA)

HUSSAIN *et al.* The applications of ozone-based advanced oxidation processes for wastewater treatment: A review. *Advances in environmental research* [en línea]. 2020, vol. 9, no 3, p. 191-214. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-applications-of-ozone-based-advanced-oxidation-Hussain-Mahtab/9fc637a1d1efaadd64b9258cffa0a2741e092451>

KATARA, J. *et al.* Treatment of textile wastewater by photo fenton process with uv light and solar radiation. 2018, Vol. 6, no. 2, p. 643-651. [Fecha de consulta: 23 de junio del 2022] Recuperado de: <https://ijcrt.org/download.php?file=IJCRT1812723.pdf>

KUMAR, V. *et al.* Optimization of COD Removal by Advanced Oxidation Process through Response Surface Methodology from Pulp & Paper Industry Wastewater. *India: Journal of Scientific & Industrial Research* [en línea]. 2019, Vol. 78, p. 386-390. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: [http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/47553/1/JSIR%2078\(6\)%20386-390.pdf](http://nopr.niscair.res.in/bitstream/123456789/47553/1/JSIR%2078(6)%20386-390.pdf)

LIU, Xiaocheng *et al.* Insight into electro-Fenton and photo-Fenton for the degradation of antibiotics: mechanism study and research gaps. *Chemical Engineering Journal* [en línea]. 2018, vol. 347, p. 379-397. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1385894718307150?token=4CA6031A21256E2125953FCCB9ABF1FC52971E5B4A515404C12AD2B791995AF50B4B4891B196E3A5D1CBA681815E9667&originRegion=us-east-1&originCreation=20211213120248>

LIN, Xiao Qing *et al.* Degradation of high-concentration p-nitrophenol by Fenton oxidation. *Water Science and Technology* [en línea]. 2020, vol. 81, no 10, p. 2260-2269. [Fecha de consulta: 23 de junio del 2022]. Recuperado de: <https://iwaponline.com/wst/article/81/10/2260/74728/Degradation-of-high-concentration-p-nitrophenol-by>

LÓPEZ Ramírez, Miguel Ángel *et al.* Advanced oxidation as an alternative treatment for wastewater. A review. México: Enfoque UTE [en línea]. 2021, vol. 12, no 4, p. 76-87. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/5722/572268461005/html/>

MAGAÑA-IRONS, Lisset *et al.* Remoción de contaminantes del residual lácteo por electrocoagulación con electrodos de aluminio. *Tecnología Química* [en línea]. 2020, vol. 40, no 1, p. 17-34. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/4455/445562743002/>

MAJLESSI-NASR, Monireh *et al.* Multi-objective optimization of electrocoagulation-flotation (ECF) process for treatment of real dairy wastewater. *Desalin Water Treat* [en línea]. 2020, Vol. 206, p. 44-57. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: [https://www.deswater.com/DWT\\_articles/vol\\_206\\_papers/206\\_2020\\_44.pdf](https://www.deswater.com/DWT_articles/vol_206_papers/206_2020_44.pdf)

MALATO RODRÍGUEZ, Sixto. Descontaminación de aguas mediante oxidación avanzada bajo radiación solar: un proceso doblemente sostenible. 2018. p. 7 [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://ri.unsam.edu.ar/xmlui/bitstream/handle/123456789/915/PFAH%202018%20CMRS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MALIK, Sameena N. *et al.* Comparison of coagulation, ozone and ferrate treatment processes for color, COD and toxicity removal from complex textile wastewater. *Water Science and Technology* [en línea]. 2017, vol. 76, no. 5, p. 1001-1010. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28876242/>

MAYTA, Roddy *et al.* Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. *Revista de la Sociedad Química del Perú* [en línea]. 2017, vol. 83, no 3, p. 331-340. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371953709008>

MAZÓN, Carmen Sans. Aplicación del ozono para el tratamiento de aguas residuales urbanas en Procesos de oxidación avanzada en el ciclo integral del agua. Servei de Comunicació i Publicacions [en línea]. 2017. p. 98. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7194926>

MEDINA-VALDERRAMA, Carlos *et al.* Tratamiento de aguas residuales de camales mediante tecnologías avanzadas de oxidación: proceso fenton. Revista Ingeniería UC [en línea]. 2020, vol. 27, no 2, p. 165-174. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/707/70764230005/>

MELCHIORS, Marina S. *et al.* Treatment of wastewater from the dairy industry using electroflocculation and solid whey recovery. Journal of environmental management [en línea]. 2016, vol. 182, p. 574-580. [Fecha de consulta: 23 de junio del 2022] Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479716305606>

MENÉNDEZ Gutiérrez, Carlos *et al.* Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. Ingeniería hidráulica y ambiental [en línea]. 2018, vol. 39, no 3, p. 97-107. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382018000300097&script=sci\\_arttext&tIng=pt](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382018000300097&script=sci_arttext&tIng=pt)

MIKLOS, David B. *et al.* Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment - A critical review. Water research [en línea]. 2018, vol. 139, p. 118-131. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <http://www.ieb.usp.br/wp-content/uploads/sites/84/2018/08/miklos-et-al-2018.pdf>

MOHADESI, Majid *et al.* COD Reduction in Petrochemical Wastewater Using the Solar Photo-Fenton Process. Journal of Chemical and Petroleum Engineering [en línea]. 2021, vol. 55, no 1, p. 69-81. [Fecha de consulta: 23 de junio del 2022] Recuperado de: [https://jchpe.ut.ac.ir/article\\_79590\\_e6df0dd0673d9b8d640cf2bfe92cee3d.pdf](https://jchpe.ut.ac.ir/article_79590_e6df0dd0673d9b8d640cf2bfe92cee3d.pdf)

MONTERO-GUADARRAMA, Ivette *et al.* Phenol Red Degradation Using a Synergetic Method (Electrochemical Oxidation with Ozone) in Batch and Continuous System. Int. J. Electrochem. Sci [en línea]. 2020, vol. 15, p. 7883-7895. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <http://electrochemsci.org/papers/vol15/150807883.pdf>

MUKIMIN, Aris; Vistanty, Hanny. Hybrid advanced oxidation process (HAOP) as an effective pharmaceutical wastewater treatment. Indonesia: EDP Sciences [en línea]. 2019, p. 1-5. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/51/e3sconf\\_icenis2019\\_03007.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2019/51/e3sconf_icenis2019_03007.pdf)

PÁRAMO-VARGAS, J. et al. Applying electro-Fenton process as an alternative to a slaughterhouse effluent treatment. J. Electroanal. Chem. [en línea]. 2015. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1572665715300072?via%3Dihub>

PELAYO Torices, Deva *et al.* Procesos de oxidación avanzada: avances recientes y tendencias futuras. 2018. Recuperado de: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14217/409513.pdf?seq>

POURGHOLI, Mehrangiz *et al.* Removal of Dye and COD from textile wastewater using AOP (UV/O<sub>3</sub>, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub>). Journal of Environmental Health and Sustainable Development, 2018, vol. 3, no 4, p. 630-636. [Fecha de consulta: 23 de junio del 2022] Recuperado de: <http://jehsd.ssu.ac.ir/article-1-151-en.pdf>

RAMÍREZ-RAMÍREZ, Natividad *et al.* Tratamiento con ozono de agua residual con taninos de curtiduría al vegetal. Tecnología y ciencias del agua [en línea]. 2016, vol. 7, no 3, p. 53-73. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n3/2007-2422-tca-7-03-00053.pdf>

REÁTEGUI-ROMEROA, Warren *et al.* Effect of current density on COD removal efficiency for wastewater using the electrocoagulation process. Desalination and Water Treatment [en línea]. 2020, vol. 184, p. 15-29. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: [https://www.deswater.com/DWT\\_articles/vol\\_184\\_papers/184\\_2020\\_15.pdf](https://www.deswater.com/DWT_articles/vol_184_papers/184_2020_15.pdf)

RIMAYCUNA, John *et al.* Aplicación de tecnología de oxidación avanzada en la descontaminación de aguas residuales procedentes del empaque de banano en Tumbes. Perú: Revista de Investigación Científica [en línea]. 2019, vol. 15, no 2, p.

129-133. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://erp.untumbes.edu.pe/revistas/index.php/manglar/article/view/102>

RODRÍGUEZ AGUDELO, Karen Tariana *et al.* Tratamiento de aguas residuales producidas en el proceso de remojo en curtiembres empleando ozono y hierro como catalizador. Revista ION [en línea]. 2021, vol. 34, no 2, p. 105-113. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://www.redalyc.org/journal/3420/342070411010/>

SABRI, S. N. *et al.* The performance and decolourization kinetics of O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxidation of reactive green 19 dye in wastewater. En E3S Web of Conferences. EDP Sciences [en línea]. 2018, p. 02039. [Fecha de consulta: 23 de junio del 2022] Recuperado de: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/09/e3sconf\\_cenviron2018\\_02039.pdf](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2018/09/e3sconf_cenviron2018_02039.pdf)

SANCHIS, S. *et al.* Solar photo-Fenton with simultaneous addition of ozone for the treatment of real industrial wastewaters. Water Science and Technology [en línea]. 2018, vol. 77, no 10, p. 2497-2508. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://iwaponline.com/wst/article/77/10/2497/39172/Solar-photo-Fenton-with-simultaneous-addition-of>

SANCHETI, A *et al.* Photooxidation treatment of wastewater containing malachite green dye using sono-photo-Fenton and photo-Fenton reagent: A comparative study. 2019. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <http://www.ijsrr.org/pdf/82860.pdf>

SARANYA, D. *et al.* An integrated approach for tannery effluent treatment with ozonation and phycoremediation: a feasibility study. Environmental research [en línea]. 2020, Vol.183, p. 109-163. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935120300554>

ŞEFİKA, K. A. Y. A. *et al.* Evaluation of color and COD removal by Fenton and photo-Fenton processes from industrial paper wastewater. Journal of the Institute of Science and Technology [en línea]. 2019, Vol. 9, no. 3, p. 1539-1550. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/786143>

SHOKRI, Aref *et al.* Treatment of synthetic wastewater containing diethyl phthalate through photo-Fenton method by box-Behnken design. Archives of Hygiene Sciences [en línea]. 2020, Vol. 9, no. 2, p. 121-131. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022]

Recuperado de: <https://pdfs.semanticscholar.org/6c94/3e7a2209b4878b6f6f6baad8ccb16a3fa51a.pdf?ga=2.137385332.531800232.1657578718-1187979368.1655454730>

SILVA, Adrian *et al.* Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales. 2018, p. 54-55. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/136083/2/388266.pdf>

SILVA, Gerson de Freitas *et al.* Electrocoagulation using zinc electrodes for dairy industry wastewater treatment. Desalination and Water Treatment [en línea]. 2020, vol. 206, p. 58-65. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: [https://www.deswater.com/DWT\\_articles/vol\\_206\\_papers/206\\_2020\\_58.pdf](https://www.deswater.com/DWT_articles/vol_206_papers/206_2020_58.pdf)

SIVAGAMI, K. *et al.* Advanced oxidation processes for the treatment of tannery wastewater. Journal of environmental chemical engineering [en línea]. 2018, Vol. 6, no. 3, p. 3656-3663. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343717302555>

SIVRIOĞLU, Ö. *et al.* Electrochemical Degradation of Textile Effluent Using Novel Ozone Generating Sn Sb Ni Anodes. 2016. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: [https://www.seekdl.org/assets/pdf/20160908\\_074626.pdf](https://www.seekdl.org/assets/pdf/20160908_074626.pdf)

SOLANKI, V. S. *et al.* A review on advanced oxidation processes (AOPS) for wastewater remediation. India: Asian Journal of Chemistry [en línea]. 2020, vol. 32, no 11, p. 2677-2684. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/profile/Vijendra-Solanki/publication/346453694\\_A\\_Review\\_on\\_Advanced\\_Oxidation\\_Processes\\_AOPs\\_for\\_Wastewater\\_Remediation/links/6000ed4299bf1408893e991/A-Review-on-Advanced-Oxidation-Processes-AOPs-for-Wastewater-Remediation.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Vijendra-Solanki/publication/346453694_A_Review_on_Advanced_Oxidation_Processes_AOPs_for_Wastewater_Remediation/links/6000ed4299bf1408893e991/A-Review-on-Advanced-Oxidation-Processes-AOPs-for-Wastewater-Remediation.pdf)

SREEJA, P. H. *et al.* A comparative study of homogeneous and heterogeneous photo-Fenton process for textile wastewater treatment. Procedia Technology [en línea]. 2016,

vol. 24, p. 217-223. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017316301499>

SUN, Zhaonan *et al.* Mechanism of electro-coagulation with Al/Fe periodically reversing treating berberine pharmaceutical wastewater. En IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/63/1/012026/pdf>

SURYAWAN, I. Wayan Koko *et al.* Enhanced Effluent Quality of Anaerobic Baffled Reactor (ABR) With Ozone and Aerobic Activated Sludge for Livestock Wastewater Treatment. EPI International Journal of Engineering [en línea]. 2020, Vol. 3, no. 2, p. 108-112. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <https://cot.unhas.ac.id/journals/index.php/epiije/article/view/910/722>

TALAIKHOZANI, Amirreza *et al.* Combination of TiO<sub>2</sub> microreactor and electroflotation for organic pollutant removal from textile dyeing industry wastewater. Alexandria Engineering Journal [en línea]. 2020, vol. 59, no 2, p. 549-563. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016820300533>

TASNEEM, Atkeyya *et al.* Comparative efficacy of coagulation-flocculation and advanced oxidation process (AOP: Fenton) for textile wastewater treatment. Environment [en línea]. 2020, Vol. 8, p. 9. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <https://www.journalcjast.com/index.php/CJAST/article/download/30751/57691>

TERÁN Solíz, Mery Cristga. Estudio de la aplicación de procesos de oxidación avanzada a aguas contaminadas [en línea]. 2016. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88273/01\\_TFG.pdf?sequence=1&isAll](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88273/01_TFG.pdf?sequence=1&isAll)

THAKARE, Y. D. *et al.* Reduction of COD of textile industry waste water by using acoustic cavitation coupled with advanced oxidation processes. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology [en línea]. 2018, vol. 6,



no 1, p. 686-697. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: <https://www.ijraset.com/files/serve.php?FID=12758>

TOCIU, Carmen *et al.* Tertiary Treatment of Livestock Wastewater in the Context of Alternative Water Resources for Sustainable Agriculture. *Rev. Chim* [en línea]. 2020, Vol. 71, p. 161-170. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <https://www.revistadechimie.ro/pdf/16%20TOCIU%2010%2020.pdf>

TREVIÑO-RESÉNDEZ, José de Jesús *et al.* Influencia de los parámetros de operación en la degradación de naftaleno y fenantreno mediante electro oxidación. *Revista internacional de contaminación ambiental* [en línea]. 2020, vol. 36, no 1, p. 21-32. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022]. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v36n1/0188-4999-rica-36-01-21.pdf>

VENKATESH, Smita *et al.* Dye decomposition by combined ozonation and anaerobic treatment: Cost effective technology. India: *Journal of applied research and technology* [en línea]. 2017, Vol. 15, Nº 4, p. 340-345. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/jart/v15n4/2448-6736-jart-15-04-340.pdf>

VUČIĆ, Miljana D. Radović *et al.* Heterogeneous photocatalytic degradation of anthraquinone dye Reactive Blue 19: optimization, comparison between processes and identification of intermediate products. *Water Sa* [en línea]. 2020, vol. 46, no 2, p. 291-299. [Fecha de consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de: <https://www.ajol.info/index.php/wsa/article/view/195951/184982>

WOLF, G. *et al.* Application of Coagulation/flocculation Process of Dairy Wastewater from Conventional Treatment Using Natural Coagulant for Reuse. *Chemical engineering transaction* [en línea]. 2015, Vol. 43, p. 2041-2046. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <https://www.aidic.it/cet/15/43/341.pdf>

WU, Bingdang *et al.* Applicability of light sources and the inner filter effect in UV/acetylacetone and UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> processes. *Journal of hazardous materials*. [en línea]. 2017, Vol. 335, p. 100-107. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022] Recuperado de: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389417302522?via%3Dihub>

YACOUBA, Z. Amadou *et al.* Removal of organic micropollutants from domestic wastewater: The effect of ozone-based advanced oxidation process on nanofiltration. *Journal of Water Process Engineering* [en línea]. 2021, Vol. 39, p. 1-11. [Fecha de



consulta: 23 de abril del 2022] Recuperado de:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214714420307467>

YANI, Salsabilla A. *et al.* Treatment of Pulp and Paper Industry Wastewater by using Fenton Method. IJFAC (Indonesian Journal of Fundamental and Applied Chemistry) [en línea]. 2020, Vol. 5, no. 2, p. 49-53. [Fecha de consulta: 13 de junio del 2022]  
Recuperado de:  
[https://pdfs.semanticscholar.org/73af/3b7058e21519c735612486d7b0d49611b642.pdf?\\_ga=2.133518282.531800232.1657578718-1187979368.1655454730](https://pdfs.semanticscholar.org/73af/3b7058e21519c735612486d7b0d49611b642.pdf?_ga=2.133518282.531800232.1657578718-1187979368.1655454730)

ANEXOS

**Anexo N° 01. Matriz de Categorización**

Ámbito temático	Problema de investigación	Pregunta de investigación	Objetivo general	Objetivos específicos	Categorías	Subcategorías
Procesos de oxidación avanzada en la remoción de la demanda química de oxígeno en aguas residuales industriales	¿Cuáles son las técnicas de oxidación avanzada que permiten remover de manera efectiva la demanda química de oxígeno presente en aguas residuales industriales?	¿Cuál es la remoción de la demanda química de oxígeno usando técnicas de oxidación avanzada según el tipo de agua residual industrial?	Evaluar las técnicas de oxidación avanzada que permiten remover de manera efectiva la demanda química de oxígeno presente en aguas residuales industriales.	Determinar la remoción de la demanda química de oxígeno usando técnicas de oxidación avanzada según el tipo de agua residual industrial.	Procesos de oxidación avanzada	Procesos fotoquímicos y procesos no fotoquímicos.
				Técnicas de oxidación avanzada	Ozonización, Fenton, etc.	
		¿Cuál es la remoción de la demanda química de oxígeno en aguas residuales industriales según el tipo de técnica de oxidación avanzada aplicada?		Determinar la remoción de la demanda química de oxígeno en aguas residuales industriales según el tipo de técnica de oxidación avanzada aplicada.	Parámetros de estudio	DQO
				Remoción	Porcentaje de remoción (%)	
		¿Cuáles son los principales métodos de separación complementarios que favorece la remoción de la demanda química de oxígeno usando técnicas de oxidación avanzada según el tipo de agua residual industrial?		Evaluar los principales métodos de separación complementarios que favorece la remoción de la demanda química de oxígeno usando técnicas de oxidación avanzada según el tipo de agua residual industrial.	Tipo de agua residual industrial	Textil, Láctea, Mixta, Química, etc.
				Métodos de separación complementarios	Coagulación-Floculación, Flotación, etc.	

Fuente: Elaboración propia