



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Tipos de Procesos de Oxidación Avanzada para Aguas
Residuales Procedentes de la Industria Textil: Una Revisión
Sistemática**

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

AUTORES:

Loayza Huachaca, Medalid (orcid.org/0000-0001-7501-7708)
Tandaypan Zuñiga, Evelyn Katherine (orcid.org/0000-0003-1905-8811)

ASESOR:

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio(orcid.org/0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo Sostenible y Adaptación al Cambio Climático

Lima – Perú

2022

Dedicatoria

Con mucho aprecio para mis padres; Enrique Loayza Morales y Magna Huachaca Rojas que confiaron y apoyaron en este proceso académico y profesional, a mis queridos hermanos y hermanas por ser mi modelo de superación.

Loayza Huachaca, Medalid

Dedicatoria

Con mucho amor para mis padres; Verónica Zuñiga Calderón y Rodolfo Tandypan Román que confiaron en mí durante todo este trayecto académico y profesional. Sin su ayuda nada de esto sería posible.

**Tandypan Zuñiga, Evelyn
Katherine**

Agradecimiento

Agradecer al Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio por su paciencia y motivación en el desarrollo de esta investigación. Y a los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental por sus enseñanzas y consejos en el trayecto de esta hermosa carrera.

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índices de tablas.....	v
Índices de figuras.....	v
Índices de abreviaturas.....	vi
RESUMEN.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	21
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	21
3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.....	22
3.3. Escenario de estudio.....	23
3.4. Participantes.....	23
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	23
3.6. Procedimientos.....	24
3.7. Rigor científico.....	25
3.8. Método de análisis de datos.....	27
3.9. Aspectos éticos.....	28
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
V. CONCLUSIONES.....	68
VI. RECOMENDACIONES.....	69
REFERENCIAS.....	70
ANEXOS	

Índices de tablas

Tabla 01. Contaminantes químicos en la producción Textil	10
Tabla 02. Clasificación de colorantes por estructura química	12
Tabla 03. Clasificación de colorantes según su aplicación	13
Tabla 04. Características del agua residual textil	14
Tabla 05. Tipos de procesos de oxidación avanzada.....	15
Tabla 06: Matriz de categorización.....	22
Tabla 07. Tipos de POA para el tratamiento de aguas residuales textiles.	32
Tabla 08. Parámetros fisicoquímicos iniciales del efluente residual textil.	45
Tabla 09. Condiciones óptimas del proceso de oxidación aplicado.	52
Tabla 10. Tipos de colorantes textiles	63

Índices de figuras

Figura 01. Procesos en la industria textil.....	10
Figura 02. Proceso de la fotocatalisis heterogénea.....	16
Figura 03. Parámetros más importantes	20
Figura 04. Principales Procesos de Oxidación Avanzadas para aguas residuales textiles. 29	
Figura 05. Clasificación del proceso de Oxidación Electroquímica.	31

Índices de abreviaturas

POAs	Procesos de Oxidación Avanzada
COT	Carbono Orgánico Total
COD	Carbono Orgánico Disuelto
SST	Sólidos suspendidos totales
STD	Sólidos totales disueltos
Fe²⁺	Iones de hierro
•OH	Radicales de hidroxilo
H₂O₂	Peróxido de hidrógeno
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
T	Temperatura
C°	Celsius
pH	Potencial de hidrógeno

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo primordial identificar los tipos de procesos de oxidación avanzada con mayor capacidad de remoción para aguas residuales procedentes de la industria textil. La metodología fue en base a una revisión sistemática, por tal, se realizó una búsqueda de información preliminar tomándose en cuenta el intervalo de tiempo del 2017 al 2022, obteniéndose un total de 36 artículos originales. Los resultados demostraron que, los procesos de oxidación de tipo fotoquímicos fueron los más usados en toda la industria. Siendo los procesos Foto Fenton y Fotocatálisis los que más destacaron entre los demás métodos. En cuanto a las principales condiciones fisicoquímicas de los Procesos de Oxidación Avanzada se estimaron en base al proceso aplicado, al tiempo de reacción, temperatura, pH y dosificaciones según se requiera convenientes (H_2O_2 , Fe^{2+} o O_3) para la remoción efectiva de las aguas residuales textiles. Por último, en referencia de los colorantes más comunes los de tipo reactivos fueron los que más predominancia tuvieron, posteriormente de los azoicos, donde el azul de metileno fue el más usado en la industria textil, seguido de los colorantes; Reactive Black 5 y Rojo Congo.

PALABRAS CLAVES: Procesos de oxidación avanzadas, aguas residuales, industria textil y colorantes textiles.

ABSTRACT

The main objective of this research is to identify the types of advanced oxidation processes with the highest removal capacity for wastewater from the textile industry. The methodology was based on a systematic review, therefore, a preliminary information search was carried out taking into account the time interval from 2017 to 2022, obtaining a total of 36 original articles. The results showed that photochemical oxidation processes were the most used throughout the industry. Photo Fenton and Photocatalysis processes were the most outstanding among the other methods. As for the main physicochemical conditions of the Advanced Oxidation Processes, they were estimated based on the process applied, the reaction time, temperature, pH and dosages as required (H_2O_2 , Fe^{2+} or O_3) for the effective removal of textile wastewater. Finally, in reference to the most common dyes, the reactive dyes were the most predominant, followed by the azo dyes, where methylene blue was the most used in the textile industry, followed by Reactive Black 5 and Congo Red.

KEY WORDS: Advanced oxidation processes, wastewater, textile industry and textile dyes.

I. INTRODUCCIÓN

Tras el pasar de los años, las industrias textiles se han convertido en una de las actividades productivas con más demanda en todo el mundo; pese a ello, el alto consumismo del agua en los diversos procesos como; lavado, blanqueo, teñido, estampado y acabado (Palas, Atalay y Ersöz, 2021, p.1); además del empleo de energía y productos químicos (Lellis et al. 2019, p.1) han generado grandes volúmenes de aguas residuales, de los cuales se evidencian contaminantes textiles persistentes que limitan la remoción efectiva del mismo (Rezende et al. , 2022, p.1), ocasionando una vez más controversias debido a la severa escasez del recurso hídrico en apoyo de las nuevas políticas ambientales dispuestas por la Autoridad Nacional del agua (ANA) que obligan la recuperación y reutilización de los efluentes residuales (Long et al. , 2019, p.369). Cabe decir que, las altas concentraciones de estos contaminantes ponen en riesgo no solo a este recurso, sino que también perjudican la calidad del suelo (Madhav et al., 2018, p. 34) convirtiéndola en no apta para la agricultura.

En cuanto a los contaminantes textiles normalmente se asocian al empleo de surfactantes, sales orgánicas e inorgánicas y/o productos químicos como colorantes y tintes; utilizados principalmente en el proceso del teñido (Gilpavas, 2018, p.157), los cuales, representan una gran preocupación ambiental y económica debido a su gran costo, toxicidad, recalcitrancia y acumulación en los ecosistemas acuáticos (Jaramillo et al. , 2017 , p. 30).

En su aproximación la industria produce en torno del 10% de CO₂ a nivel mundial (Zhu et al., 2018), el 85% de residuos textiles como microfibras sintéticas; de los cuales, más del medio millón de toneladas terminan en los océanos (Comisión Económica de las Naciones Unidas, 2018, p.1) y ríos sin sus respectivos tratamientos (Deepika et al, 2017, p.8); y el 20% son provenientes de las aguas residuales. De manera que, para el año

2025 los volúmenes de las mismas se duplicarán debido a las industrias formales e informales (Brañez et al., 2018, p.130).

Actualmente, la problemática radica en la deficiencia de los tratamientos convencionales para la remoción completa de estos contaminantes en los efluentes residuales (Sathya et al. , 2019, p.768), puesto que, la complejidad del mismo requiere de procesos mucho más avanzados para eliminar la carga orgánica restante como el DQO, DBO₅ y entre otros; además de disminuir el color intenso y estabilizar el pH del agua en su totalidad (Gilpavas, 2018, p.157) para así proceder a la reutilización de tal.

Es por ello que, uno de los tratamientos alternos que propone la presente investigación es mediante la aplicación de los procesos de oxidación avanzadas tanto fotoquímicas y no fotoquímicas (Buthiyappan y Abdul, 2019, p. 1-3), pues son definidos como innovadores y degradadores de los colorantes textiles persistentes; además promueven la reutilización y reciclaje de los subproductos (Rocha et al. ,2021, p.1).

Dado a lo expuesto en los párrafos anteriores se plantearon las siguientes interrogantes. Siendo el problema general ¿Cuáles son los tipos de procesos de oxidación avanzada con mayor capacidad en la remoción de contaminantes para aguas residuales procedentes de la industria textil? y como problemas en específicos; ¿Cuáles son los procesos de oxidación avanzada más empleados en el tratamiento de aguas residuales textiles?; ¿Cuáles son las principales condiciones fisicoquímicas de los procesos de oxidación avanzada para la remoción efectiva de las aguas residuales textiles? y ¿Cuáles son los tipos de colorantes más comunes en las aguas residuales textiles?

En ese sentido, la presente investigación al ser una revisión sistemática, se aplicará un análisis sistemático de diversos estudios científicos a nivel mundial (Moreno et al., 2018) acerca de los diferentes procesos de

oxidación avanzadas para el tratamiento de aguas residuales textiles. Dicho esto, el actual estudio presenta una justificación teórica puesto que, aportará al conocimiento a través de las diversas investigaciones de tecnología e innovación para el tratamiento de las aguas residuales de procedencia textil, a la vez, promoverá el desarrollo a nuevas investigaciones. De dicha manera, la investigación se encuentra ligada a los Objetivos del Desarrollo Sostenible (2016) como las modalidades de consumo y producción sostenibles, además de la promoción de la sostenibilidad de los recursos marinos (MINAM, p.23-44) evitando la contaminación de las mismas.

Finalmente se tiene como objetivo principal, Identificar los tipos de procesos de oxidación avanzada con mayor capacidad en la remoción de contaminantes para aguas residuales procedentes de la industria textil, y como objetivos específicos: Describir los procesos de oxidación avanzada más empleados en el tratamiento de aguas residuales textiles; Mencionar las principales condiciones fisicoquímicas de los procesos de oxidación avanzada para la remoción efectiva de las aguas residuales textiles e Identificar los tipos de colorantes más comunes en las aguas residuales textiles.

II. MARCO TEÓRICO

Esta revisión hace referencia a estudios nacionales e internacionales, a fin de proporcionar más respuestas sobre la presente investigación; los mismos que serán mencionados en los próximos párrafos.

Zazou et al. (2019) emplearon procesos acoplados a la electrocoagulación (EC) y oxidación electroquímicas como peroxi-coagulación (PC), oxidación anódica (AO) y electro-Fenton (EF) para la remediación de efluentes residuales de una industria textil. La investigación fue a nivel laboratorio requiriendo del método de espectrofotometría para su posterior análisis. Las muestras extraídas poseían colorantes como el azul de metileno. Posteriormente, se analizaron las características fisicoquímicas del agua residual añadiendo unas cuantas gotas de ácido sulfúrico (H_2SO_4) ya sea para estabilizar el pH del mismo. Inicialmente los resultados fueron los siguientes: DQO (267 mg. L^{-1}), a temperatura de 22° , pH (8.75), color negro, COT (52 mg. L^{-1}) y conductividad (mS. cm^{-1}) de 2.5. Para el proceso de electro-Fenton se le añadió una solución acuosa con O_2 para obtener un efecto catalizador, para la oxidación anódica se utilizó el ánodo electrodo como cátodo y para peroxi-coagulación se aplicó el mismo procedimiento que el EF. Los resultados demostraron una mejora en la degradación de contaminantes orgánicos en efluentes textiles con el 98.8% de remoción de DQO, turbidez y COT al 100% además de un color claro en consecuencia del tratamiento combinado EC- EF, principalmente cuando se utilice el diamante dopado con boro. En conclusión, la efectividad del proceso permite la reutilización del agua residual para otros fines productivos de no consumo humano.

Kuley, Göko y Akbal (2021) usaron el proceso de Electro Fenton (EF) para el tratamiento avanzado de las aguas residuales procedentes de una industria textil fabricante de hilos y tejidos sintéticos. Las mismas contenían colorantes ácidos aplicados en los diversos procesos de la industria. La metodología consistió en el empleo de placas de electrodos

(ánodo y cátodo) de grafito (99.8%) por reactores continuos y discontinuos. Para el estudio del pH se le añadió 0.1 N de ácido sulfúrico, los cuales, inicialmente arrojaron valores de entre 0,48 a 7,82. En cuanto al análisis del color se determinó mediante el método de espectrofotometría. Para el COT se realizó la calcinación a 680 C° de las muestras en un catalizador de platino y CO₂. Y para el DQO por el colorimétrico tres veces seguidas en 2 horas aproximadamente. Como resultados se obtuvo la remoción del color al 89 %, el DQO al 93%, el COT al 58% y el pH de 3,0 con intensidad de 1.65 A. Se concluyó que, la influencia de la intensidad eléctrica y la concentración de Fe²⁺ ayudaron significativamente en el proceso de Electro Fenton. No obstante, el tratamiento mejorado contribuye con la remoción eficiente de estos compuestos refractarios.

Soares et al. (2017) realizaron la remediación de aguas residuales textiles procedentes de la etapa del teñido de algodón sintético (poliéster) acoplados a los procesos de UV-C/H₂O₂ y Foto-Fenton (PF) para la degradación de tintes en las aguas biológicamente tratadas por lodos activados. Inicialmente el color de las aguas residuales eran rojas. En cuanto al pH se le añadió H₂SO₄ e hidróxido de sodio para estabilizar la acidez (3.0, 5.0 y 11.0). Se empleó la espectrofotometría para los posteriores análisis. Los resultados de la remoción de COD fueron del 76% y decoloración al 71% mediante radiación UVC en tiempo de 95 min con el método de Pt-Co. El PF no reaccionó a la decoloración de las aguas residuales como en los análisis anteriores ni con la aplicación del ácido oxálico en el mismo. Se concluyó que, el tratamiento aplicado de UVC/H₂O₂ fue una buena opción a bajo costos, sin embargo, la comparación entre los procesos biológicos y de oxidación avanzada fueron mínimos.

Por su parte, Khatri et al. (2018) corroboraron el porcentaje de eficiencia del DQO mediante los distintos procesos de oxidación avanzada (POAs) acoplados al aluminio de valencia cero (ZVAI); ZVAI/O₂; ZVAI/Fe³⁺/O₂; ZVAI/Fe³⁺/O₂/H₂O₂ y ZVAI/Fe³⁺/O₂/persulfato para el tratamiento efectivo

de los residuos emergentes en las aguas residuales textiles. Las muestras fueron recolectadas en envases de plásticos de aproximadamente 20L. Inicialmente se aplicó H_2SO_4 de 1N en el agua residual para estabilizar el pH. En cuanto a la metodología varió de acuerdo a cada proceso para el ZVAI/ O_2 se le agregó pequeñas dosis de ZVAI (1g/L, 4g/L y 6g/L), con el propósito de analizar la eficiencia de cada una de ellas. Para el proceso ZVAI/ Fe^{3+} / O_2 se le añadió dosis de ZVAI de 1g/L y 2g/L, y al Fe^{3+} concentraciones de 0.5g/L a 2 g/L. Por consiguiente, al ZVAI/ Fe^{3+} / O_2 / H_2O_2 y ZVAI/ Fe^{3+} / O_2 /persulfato se colocaron concentraciones de H_2O_2 de 1,3g/L, 4 g/L, 5,3 g/L y 6,7 g/L y $K_2S_2O_8$ de 0,18 g/L, 0,36 g/L, 0,75 g/L y 1 g/L. Finalmente para determinar el color se aplicó del espectrofotómetro UV visible con microprocesador. Los resultados arrojaron que, el proceso combinado ZVAI/ Fe^{3+} / O_2 / H_2O_2 fue el más efectivo seguido del ZVAI/ Fe^{3+} / O_2 /persulfato. Continuamente, los porcentajes de remoción del DQO fueron del 97.9% a 1g/L de ZVAI y color al 94.4% a 0,5 g/L de Fe^{3+} luego de tres horas y pH de 2,0. Se concluye que, el proceso combinado refuerza la cantidad de remoción de estos contaminantes textiles, por ende, son eficientes para este tipo de tratamientos.

Silva et al. (2020) trabajaron con cuatro procesos de oxidación avanzadas entre ellos; el Fenton, Foto Fenton con radiación ultravioleta A (PF/UV), Electro-Fenton (EF) y Fotoelectrón-Fenton con radiación UVA (PEF/UV) a fin de remediar y llevar a cabo la reutilización de los efluentes textiles mediante dos procedimientos que parten de los procesos de oxidación; el primero se apoya en la reacción de Fenton y el material orgánico, y el otro sobre el intercambio catiónico con macroalgas marinas tanto rojas (*Gracilaria caudata* y *Gracilaria cervicornis*) como pardas (*Ascophyllum nodosum*, *Fucus spiralis*, *Laminaria hyperborea* y *Pelvetia canaliculata*), además de la reacción del Fenton con el Fe^{3+} . Inicialmente los colores del agua residual extraída fueron entre marrón amarillento claro con pH casi neutro (7.9). Los resultados proporcionaron la eliminación de color entre el 68% al 95%

para el proceso del Fenton; en cuanto al proceso electro-Fenton fue del 76% al 94%, para el proceso de Fotelectrón Fenton con radiación UV con el 85% al 100% y para el método Foto Fenton con radiación ultravioleta tipo A del 80% al 98% siendo este último el de menor costo. Referente a las macroalgas la especie marinas *Laminaria hyperborea* demostró mayor posibilidad de intercambio iónico, sea por su afinidad en las especies de hierro con una remoción de 3.4 mg/L en el proceso de PF. Se concluyó que tanto las macroalgas en los procesos de oxidación permitirán sin duda la reutilización próxima del agua en las etapas de descrude, blanqueo y teñido.

Ayed et al. (2021) en su investigación emplearon del proceso Foto-Fenton (EF) heterogéneo para tratar aguas residuales textiles contaminadas con tinte de cristal violeta (CV), para lo cual, se utilizó como catalizador natural al óxido de hierro para la etapa fotocatalítica. En cuanto a su metodología, se añadieron dosis de 30 mg/L de H₂O₂ y 1,0 g/L de óxido de hierro. Para el proceso de foto-Fenton fue analizado por irradiación de luz UV de tipo C. Como resultado de la remoción del tinte contaminante fue del 98% en 3 horas aproximadamente. Muy aparte, se emplearon técnicas de cromatografía y LC-MS. Se concluyó, que el proceso Foto-Fenton es útil para tratamientos de efluentes con colorantes reales.

Louhichi et al. (2022) lograron tratar los efluentes residuales procedentes de una industria textil que llevaba realizando actividades impactantes al medio acuático de la zona. En su investigación emplearon procesos de oxidación tales como; Electrocoagulación (EC) y Electro-Fenton (EF) para el tratamiento del efluente contaminado. Como procedimientos se llevaron a cabo experimentos con y sin aspersion de aire (SA). Además, usaron la energía solar como fuente de electricidad. Los resultados sin SA evidenciaron el 100% de decoloración en un tiempo de 280 min. En cuanto al proceso de EC sin SA obtuvo una degradación del 80% y para el EF del 85% tanto para el DQO como para el COT. No obstante, con aspersion de aire los resultados variaron favorable del DQO al 97% tanto

para el proceso del EC y EF, la disminución del COT fue del 92% para ambos procesos. En conclusión, el desgaste de los electrodos de hierro emitió un menor resultado a comparación de la aspersión de aire que, prolongó una mejor degradación de los contaminantes.

Santos et al. (2018) tuvieron como objetivo principal la remoción del colorante ADMI en efluentes textiles. Los procesos utilizados fueron: fotocátalisis heterogénea bajo irradiación UV visible acompañados con dióxido de titanio (TiO_2) y pequeñas dosis de hidrotalcita y dopado de hierro (HT/Fe/ TiO_2) de 0 y 3 mg/L en tiempo de 3 horas. Como resultados, los catalizadores aplicados redujeron el 20% de DQO, el 8% de COD y el 17% del color post al tratamiento biológico secundario. Se concluyó que los materiales recalcitrantes dificultan la remoción efectiva del colorante, a su vez que, el catalizador HT/Fe/ TiO_2 funciona como una alternativa efectiva, debido a su procedencia magnética.

Pourgholi et al., (2018) realizaron el tratamiento de aguas residuales textiles mediante los procesos avanzados: UV/ O_3 , UV/ H_2O_2 , O_3 / H_2O_2 , y UV/ O_3 / peróxido de hidrógeno bajo radiación solar artificial. El mismo se realizó a escala de laboratorio en diferentes tiempos de reacción. Las muestras extraídas fueron analizadas a 200 °C. En cuanto al color fue medido mediante el método de espectrometría a distintas longitudes de onda de 30 λ . Y para la eliminación de la misma mediante transmisión de luz durante 30 min Para el DQO se empleó el método 522 OC. Los resultados demostraron la eficiencia del UV/ O_3 / H_2O_2 con el 84.7% del color y el 76.5% de DQO a pH 6. El proceso de UV/ O_3 logró eliminar alrededor del 72.5% de color y el 69.4% de DQO a pH de 8. De igual forma para el O_3 / H_2O_2 que logró la remoción del 71% de color y el 64.2% de DQO a pH de 10. No obstante quien tuvo menor cantidad de remoción fue el UV/ H_2O_2 con el 59.4% de color y 49.5% de DQO. Concluyendo que, el UV/ O_3 / H_2O_2 fue el más efectivo en cuanto a la remoción de contaminante a pH de 6 dados efectuados en 30 min.

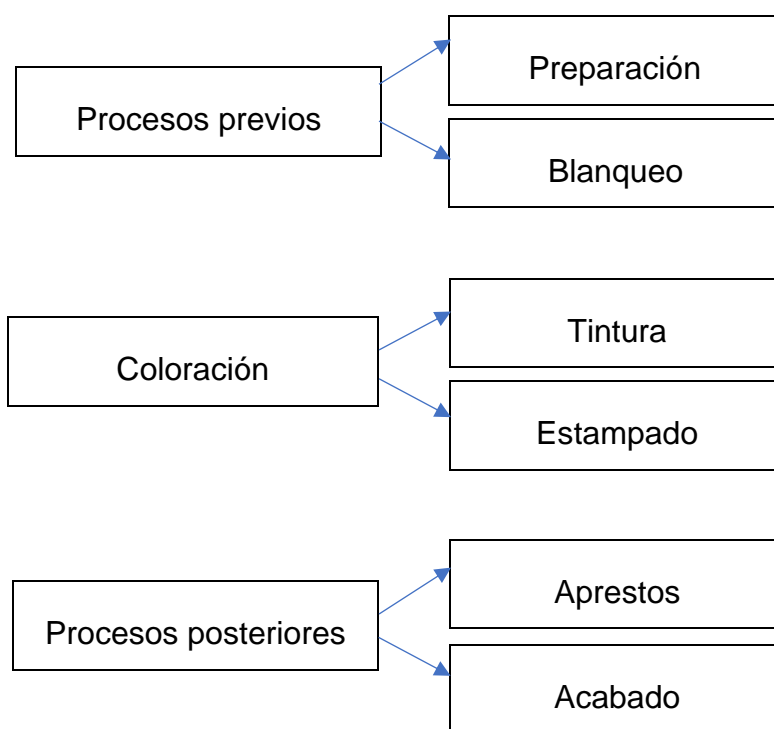
Medeiros, Rodrigues y Lima (2018) en su investigación emplearon el proceso de fotocátalisis solar heterogéneo (ZnO/UV) para la depuración de los contaminantes textiles; catiónico azul de metileno (MB) y aniónico rojo reactivo 198 (RR 198). El catalizador en este caso fue el ZnO. Por otro lado, las muestras fueron analizadas a temperatura ambiente. Su metodología consistió en espectrofotometría UV-visible HP 8453 para la decoloración de los colorantes MB y RR 198. En cuanto al DQO se realizó mediante pruebas estándares. Los resultados demostraron que el proceso aplicado ayudó a remover el 90 a 100% del colorante RR 198 con dosis de 100 mg/L mientras que para el MB solo el 90% con dosis de 150 mg/L del catalizador y a mayor tiempo de exposición. Finalmente, el DQO para ambos fue del 70%. Se concluyó que la viabilidad del proceso de fotocátalisis solar heterogénea contribuye con la eliminación de colorantes textiles.

En cuanto a las bases teóricas y conceptuales de la presente investigación sistemática se consideraron los siguientes términos.

Las industrias textiles son uno de los sectores productivos con mayor volumen de aguas residuales en todo el mundo, pues, se destacan por ser una industria consumidora del agua (80 -100 m³ por prenda) y de productos químicos con propiedades complejas (Santos et al. , 2020, p.1) para llevar a cabo los diferentes procesos textiles. Las aguas residuales de procedencia textil abarcan una gran mezcla de sustancias y colorantes químicos. Los mismos se caracterizan por ser cambiantes en caudal (Salazar G., Crespi y Salazar R., 2009, p.83-99) contribuyendo con el 20% de la contaminación del agua con más de 50.000 toneladas/año en productos como tintes y/o colorantes que, por su alto contenido químico son cancerígenos, mutagénicos y teratogénicos (Ramadán et al. , 2022, p.1) para el ser humano.

A continuación, se muestran los diferentes contaminantes químicos empleados en los procesos de la industrias textiles.

Figura 01. Procesos en la industria textil.



Fuente: Elaboración propia a partir de Brañez et al. (2018)

Tabla 01. Contaminantes químicos en la producción Textil

Operación	Descripción del proceso	Contenido químico	Autor (es)
Descrude	En este proceso busca eliminar las impurezas de la tela, uniformizando, lo que conlleva sumergir la tela en un preparado con sosa cáustica, hierro y un surfactante continuamente.	Soda caustica Hierro, calcio	Patiño et al., (2018)

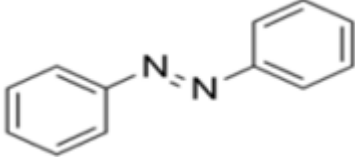
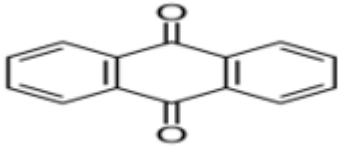
Blanqueo	El blanqueo es vital para crear una base blanca para fijar o teñir la tela y se obtengan colores claros y brillantes.	<ul style="list-style-type: none"> - Peróxido de hidrógeno - Sal tetrasódica - Ácido fosfórico o acético, - Hipoclorito de sodio o clorito de sodio 	Ramos et al., (2021)
Mercerizado	Con este proceso se usa mayormente con fibra de algodón, lo que se busca es cambiar su aspecto y propiedades físicas.	Soda caustica	Nizar et al., (2017)
Paso Final O Enjuague	En esta etapa se busca neutralizar cualquier químico que quedó de los anteriores procesos logrando un pH neutro.	Ácido sulfúrico, surfactante	Nizar et al., (2017)
Teñido	Donde se da el color a la tela con un grado de permanencia	Colorantes reactivos directos y sulfuros, pigmentos	Collivignarelli et al., (2019)

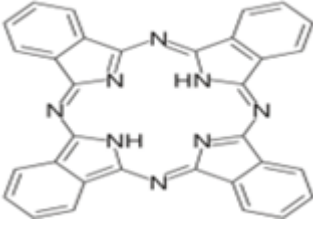
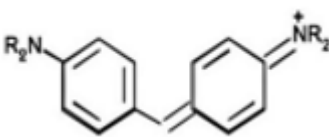
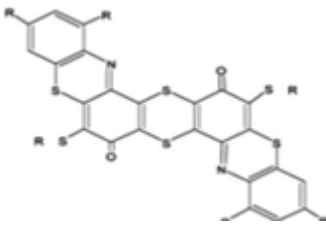
Fuente: Elaboración propia.

En los procesos de teñido y estampado se emplean más colorantes textiles (Santos et al.,2020, p.1) compuestos por distintos tintes y productos auxiliares como, oxidantes, fijadores, ácidos orgánicos y entre otros (Soares et al.,2020, p.450), los cuales, generan grandes contenidos de carga orgánica en el agua residual, dificultando así, el tratamiento convencional del mismo.

De modo que, los colorantes son solubles y poseen la capacidad de impartir color a una fibra, sin efecto alguno de factores como: la temperatura y la luz. Zaruma et al., (2018) define a los colorantes como compuestos orgánicos fluorescentes de color intenso que permiten darle color a las telas. Garzón et al., (2009) menciona que la composición molecular de los colorantes se divide en 3 grupos funcionales: el cromóforo le da la posibilidad de absorber la luz, los autocromos que le permite intensificar el color y el solubilizado. Generalmente, los colorantes tienen una estructura aromática compleja que los hace recalcitrantes(Gopinath et al., 2020, p. 270).

Tabla 02. Clasificación de colorantes por estructura química

Familia	Grupo Cromóforo	Descripción
Azoicos		Más importante dentro de la industria textiles
Antraquinonas		Son quinonas tricíclicas derivadas del antraceno

Ftalocianina		Está conformado por dos anillos fusionados: bencénico y piridina.
Ion arilcarbonico		Conformado por un átomo carbonilo, unido a dos o tres anillos aromáticos
Sulfuro		Proporcionan un gama de colores bajos y apagados.

Fuente: Zaruma et al., (2018)

Por otro lado, los tipos de colorantes se dividen de acuerdo a su aplicación en los procesos de la industria textil. Así como se manifiesta en la siguiente tabla:

Tabla 03. Clasificación de colorantes según su aplicación

Tipo de colorantes	Aplicación
Colorantes Directos	Fibras celulósicas:
Colorantes Reactivos	Naturales
Colorantes Tinas	(algodón)
Colorantes Al Azufre	Regeneradas (artificiales)
Colorantes Ácidos	Fibras Proteicas: Naturales (Lana)
	Fibras Sintéticas: Poliamida (Nylon)

Colorantes Dispersos	Fibras Sintéticas:
Colorantes Ácidos	Poliéster
Colorantes Básicos o Catiónicos	Fibras Sintéticas: Acrílicos

Fuente: Elaboración propia a partir de Brañez et al., (2018)

Destacando que, el teñido es un proceso químico donde el colorante dependerá netamente de la fibra textil en que decida trabajar (Brañez et al. , 2018, p.135). Es por ello que, dada su complejidad de degradación se sugieren tratamientos más avanzados y de menores costos que ayuden a eliminar los contaminantes persistentes en los efluentes residuales de procedencia textil. A consideración de lo antes mencionado se muestran las características del agua residual al contener grandes cantidades de contaminantes textiles.

Tabla 04. Características del agua residual textil

Parámetro	Rango del contaminante
pH	6.0-10.0
DBO ₅	100-4000 mg/L
DQO	150-50000 mg/L
T	35-40 C°
SST	100-5000 mg/L
SDT	1800-6000 mg/L
Na	610-2175 mg/L
N	70-80 mg/L

Fuente: Elaborado por Terán (2015)

Los procesos de oxidación avanzadas son tratamientos terciarios que emplean oxidantes químicos para la eliminación de residuos orgánicos como DQO y DBO₅ (Uribe et al. , 2020, p.301). Estos procesos son comúnmente conocidos como POAs (Gilpavas, 2018, p.157) los cuales, se centran en “la producción de radicales hidroxilo como agente de oxidación no selectivo que reacciona con varios tipos de compuestos orgánicos” (Santos et al. , 2020, p.1) y recalcitrantes altamente tóxicos, como los colorantes y tintes textiles. Los POAS se distribuyen tanto en fotoquímicos y no fotoquímicos (Wang et al., 2018, p.369-377).

Tabla 05. Tipos de procesos de oxidación avanzada

Procesos no fotoquímicos	Procesos Fotoquímicos
O ₃ /H ₂ O ₂	Oxidación en agua
Procesos Fenton (Fe ²⁺ / H ₂ O ₂)	Irradiación/ H ₂ O ₂
Oxidación electroquímica	UV/O ₃
Radiólisis y tratamiento con haces de electrones	Foto-Fenton y relacionados
Plasma no térmico	Fotocatálisis heterogénea
Descarga electrohidráulica y ultrasonidos	Fotocatálisis Homogénea
	Fotocatálisis Solar

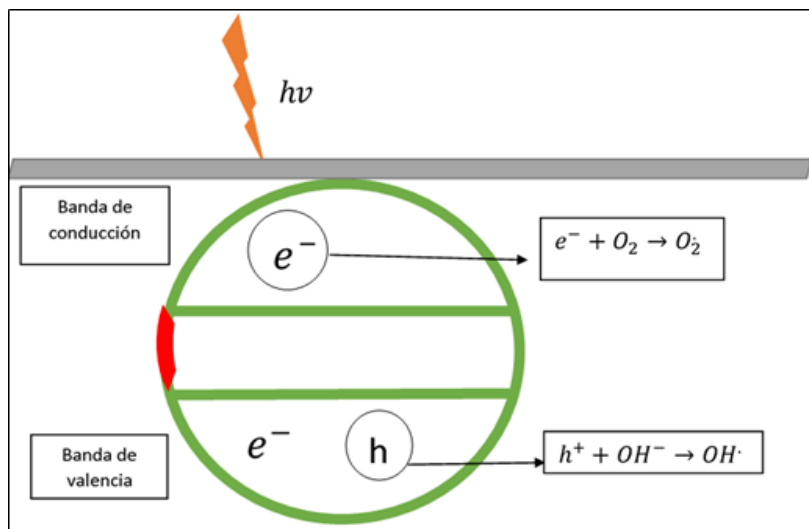
Fuente: Elaborado por Terán (2016).

Los procesos fotoquímicos se clasifican de la siguiente manera:

- **Fotocatálisis:** Consiste en la producción de radicales hidroxilos por interacción de método redox(oxidación- reducción) que suceden en la superficie de un fotocatalizador sea por la acción de la luz o irradiación y la presencia de un agente oxidante como O₂ o el H₂O₂ (Hincapié et al.,

2011, p. 22). Utiliza óxidos metálicos semiconductores, principalmente TiO₂. (Mamun et al., 2019, p.7).

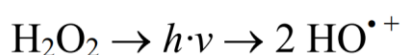
Figura 02. Proceso de la fotocatalisis heterogénea.



Fuente: Elaborado por Terán (2016).

- **Foto Fenton:** Consiste en la reacción química entre el Fe^{2+} y Fe^{3+} , en la cual, se efectúa la descomposición del H_2O_2 generando la producción de radicales de hidroxilo para la degradación de los componentes del colorante. Estas se llevan a cabo bajo condiciones ácidas ($pH < 4$) y radiaciones ultravioletas (UV- A, B o C) y/o luz solar (Da Silva et al. 2021).

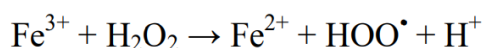
- **UV/ H_2O_2 :** Consta de la producción de radicales de hidroxilo altamente reactivos (Raducan et al. 2022). mediante la fotólisis del peróxido de hidrógeno. Estas son aplicadas para varios tipos de contaminantes persistentes en el agua residual, generando la degradación de los mismos. La reacción se basa en la ruptura homolítica de los enlaces (O-O) debido a su acción UV para transformarlo en dos radicales de $OH\cdot$ (Monge, Silva y Bengoa, 2018, p.39).



Dicha oxidación ocurre por la extracción del H₂, traspaso de electrones y adición de estos radicales bajo condiciones ácidas (Hipólito et al. 2021).

- **UV/O₃**: Este proceso es uno de los más interesantes, puesto que, implica la combinación de UV a 254 nm y ozono directo, además de su efecto degradador de contaminantes orgánicos (DQO, SDT, SST y turbidez) mediante radicales hidroxilo bajo condiciones rápidas y no selectivas (Monge, Silva y Bengoa, 2018, p.46). Dicha reacción se debe a la descomposición de la molécula para producir radicales OH•, en lo cual, se fotoliza al peróxido de hidrógeno debido al exceso de O₃ y oxidación del mismo (Tanveer et al. 2022).

- **Fenton**: Es uno de los métodos más empleados entre todos los procesos de oxidación no fotoquímicos, cuyo rol, es la utilización de sales de Fe como agente catalizador (Fe²⁺) en presencia del peróxido de hidrógeno como agente oxidante. Dicha reacción permitirá la generación de los radicales de hidroxilo para la eliminación de contaminantes. Ante lo dicho se muestra la siguiente ecuación:



El hierro no será consumido en el proceso, sino que, los iones ferrosos se regeneran a base de los iones ferrosos. Esta reacción es dada en condiciones ácidas (pH<4) bajo modo discontinuo a temperaturas estables (Monge, Silva y Bengoa, 2018, p.36-37).

- **Oxidación Electroquímica**: Se basa en la transformación de la energía eléctrica y energía química. Consisten principalmente en la

aplicación de una superficie electrocatalítica, en la cual, se emplea como electrodo al dióxido de estaño dopado con antimonio(DDA), diamante dopado de boro (DDB), el grafito y entre otros. Dichos electrodos, funcionan positivamente en la degradación de los contaminantes recalcitrantes en función a la generación de radicales de hidroxilo como agentes intermediarios(reductores y oxidantes) para la oxidación directa de los mismos (Cifuentes et al., 2015, p.1009- 1010). El presente proceso se clasifica por los siguientes métodos:

- **Foto Electro Fenton:** Consiste en la electrogeneración (*in situ*) del peróxido de hidrógeno simultáneamente con la reducción catódica de iones férricos a iones ferrosos y el catalizador de hierro, el cual, se sitúa en la parte externa del suministro. A diferencia del proceso Electro Fenton, este proceso implica la combinación de las radiaciones ultravioleta (UV) de entre 250 a 500 nm para mayor efectividad en el tratamiento del agua residual (Silva, et al., 2020, p.4).
- **Electro Fenton:** Consiste en la combinación tanto del proceso electroquímico como el proceso avanzado Fenton. Cuyo objetivo es la degradación del contaminante por la presente reacción en la solución y la oxidación directa en el ánodo. El H₂O₂ se forma constantemente mediante la electrólisis en pH ácido, de esa manera se generan los radicales de hidroxilo para descomponer la molécula del compuesto hasta llegar a su mineralización (Kuley, Gökö , Akbal, 2021, p.1).
- **Electro-Oxidación:** También conocido como oxidación anódica es uno de los métodos mayormente empleados en los procesos avanzados, debido a su gran potencial en cuanto a la degradación de compuestos orgánicos. Estos actúan de forma directa e indirecta (Cl, O₃, Fe²⁺, H₂O₂, etc.) (Blanco, 2012, p.7-8). En cuanto al primero, el contaminante sufre una reacción de transferencia de

carga por oxidación, en la cual, se prevé conveniente la sobre potencialidad de O_2 y estabilidad a la corrosión. Y en función al segundo, esta pasa por oxidación debido a la reacción de los agentes oxidantes generados tras la oxidación del H_2O en el ánodo, en el que, comúnmente se emplea del uso de iones metálicos (Pt y Cu) cuya cualidad es contrarrestar las emisiones (Monge, Silva y Bengoa, 2018).

- **Ozonización:** Este proceso se encarga en la mineralización de los compuestos orgánicos en base de la adición de O_3 (2.07V). Siendo empleada por dos mecanismos, directa e indirecta. Esta última eleva su velocidad debido a que poseen radicales libres, lo contrario del mecanismo directo, cuya reacción se daba por dobles enlaces de manera selectiva. Asimismo, se implementa gas de alimentación para llevar a cabo el tratamiento, en lo cual, se adiciona aire o O_2 como gas. No obstante, para una mayor remoción de COT se requieren considerables dosificaciones de ozono en el proceso, lo cual, conlleva a altos costos en todo el proceso en sí, considerándose el tipo de efluente a tratar y la concentración del contaminante (Monge, Silva y Bengoa, 2018, p.14-19).

- **Ozonización con peróxido de hidrógeno:** Es uno de los métodos de combinación más empleados en la industria. Su reacción se basa en la adición de H_2O_2 (oxidación directa del ozono). En particular genera una destrucción más acelerada a los compuestos orgánicos en base al aumento de los radicales de hidroxilo por la descomposición del O_3 . Este proceso normalmente trabaja a condiciones neutras de entre 7 y 8 (Monge, Silva y Bengoa, 2018, p.45-46).

- **Oxidación en aguas subcríticas:** Conocido como oxidación aire seco y vapor de agua. Este proceso consiste en la implementación del aire o al O_2 como agente oxidante para la degradación de compuestos orgánicos y en ocasiones para inorgánicos (en forma líquida) bajo altas temperaturas (entre $120^{\circ}C$ - $310^{\circ}C$) y presión elevada. De dicha manera, se podría emplear catalizadores disminuyendo las cantidades de temperaturas (para la incineración) y presión consideradas. El proceso de oxidación prevé inconvenientes en cuanto a su mineralización completa, debido a la masa molecular. Además, presenta costos elevados en función a sustancias y materiales adicionales en el proceso (Monge, Silva y Bengoa, 2018, p.33-34).

Dado a lo expuesto, se consideran los siguientes parámetros en cada proceso aplicado (tipo de catalizador y oxidante, dosificaciones, tiempo de reacción, pH y temperatura) para la remoción efectiva del agua residual.

Figura 03. Parámetros más importantes



Fuente: Elaboración propia.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación es aplicada puesto que, se basa en generar soluciones ante la presente problemática mediante el desarrollo de tecnologías amigables con el ambiente (Esteban, 2018, p.3). De igual forma, CONCYTEC (2018) refiere que, la investigación aplicada propone solventar una necesidad en particular mediante el empleo de metodologías estratégicas y tecnologías (p.43). En este caso, se busca, solucionar o contrarrestar, la contaminación de las aguas residuales de procedencia textil mediante la aplicación de los procesos de oxidación avanzada.

En este sentido, la revisión sistemática está constituida por resúmenes claros y bien estructurados, conforme a la información obtenida, y enfocadas a responder las interrogantes, siendo estas que, al estar conformadas por diversos artículos y fuentes de datos útiles, manifiestan un alto nivel de certeza. Además de caracterizarse por explicar el proceso de elaboración, la cual será clara e inteligible para la recolección y selección de las evidencias (Moreno et al., 2018).

3.1.2. Diseño de la investigación

Este proyecto es de diseño no experimental pues no se crea ninguna situación nueva más al contrario se analiza y trabaja en las situaciones que ya existen. La investigación no experimental se realiza con referencia a la observación y el análisis de un marco ya proporcionado de forma natural. El diseño de investigación es bibliográfico documental, enfocado a la compilación de información; los cuales, generalmente son libros, reportes, artículos de revistas, etc. (Rojas, 2011).

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Tabla 06: Matriz de categorización

OBJETIVO GENERAL	PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3
		Describir los procesos de oxidación avanzada más empleados en aguas residuales textiles	¿Cuáles son los procesos de oxidación avanzadas más empleados en los tratamientos de aguas residuales textiles?	Procesos de oxidación avanzadas (Tanveer et al., 2022, p.2)	Proceso Fotoquímico (Soares et al., 2017, p. 450–462) Proceso no fotoquímico (Buthiyappan y Abdul, 2019, p. 1-3)	Dosificación requerida	De acuerdo al proceso aplicado	% remoción de contaminantes textiles
Identificar los tipos de procesos de oxidación avanzada con mayor capacidad de remoción para aguas residuales procedentes de la industria textil	¿Cuáles son los tipos de procesos de oxidación avanzada con mayor capacidad en la remoción en aguas residuales procedentes de la industria textil?	Mencionar las principales condiciones fisicoquímicas de los procesos de oxidación avanzada para la remoción efectiva de las aguas residuales textiles	¿Cuáles son las principales condiciones fisicoquímicas de los procesos de oxidación avanzada para la remoción efectiva de las aguas residuales textiles?	Condiciones fisicoquímicas (Hortense et al., 2019, p.2)	Parámetros del efluente residual Condiciones del proceso	Según el color y turbidez De acuerdo al proceso aplicado	Según el DQO y DBO ₅ Dosis requerida	De acuerdo al pH y temperatura
		Identificar los tipos de colorantes más comunes en las aguas residuales textiles	¿Cuáles son los tipos de colorantes más comunes en las aguas residuales textiles?	Colorantes textiles (Alves et al., 2021, p.1)	- Colorantes ácidos - Colorantes reactivos - Colorantes azoicos - Colorantes Dispersos (Brañez et al., 2018, p.134)	Según su clasificación	Según su concentración	Según su toxicidad

Fuente: Elaboración propia

3.3. Escenario de estudio

En esta revisión, el escenario de estudio son investigaciones ligadas a la remediación de contaminantes textiles en las aguas de procedencia textil mediante los diferentes procesos de oxidación avanzada tanto fotoquímicas y no fotoquímicas; las cuales, brindarán la reutilización del agua.

3.4. Participantes

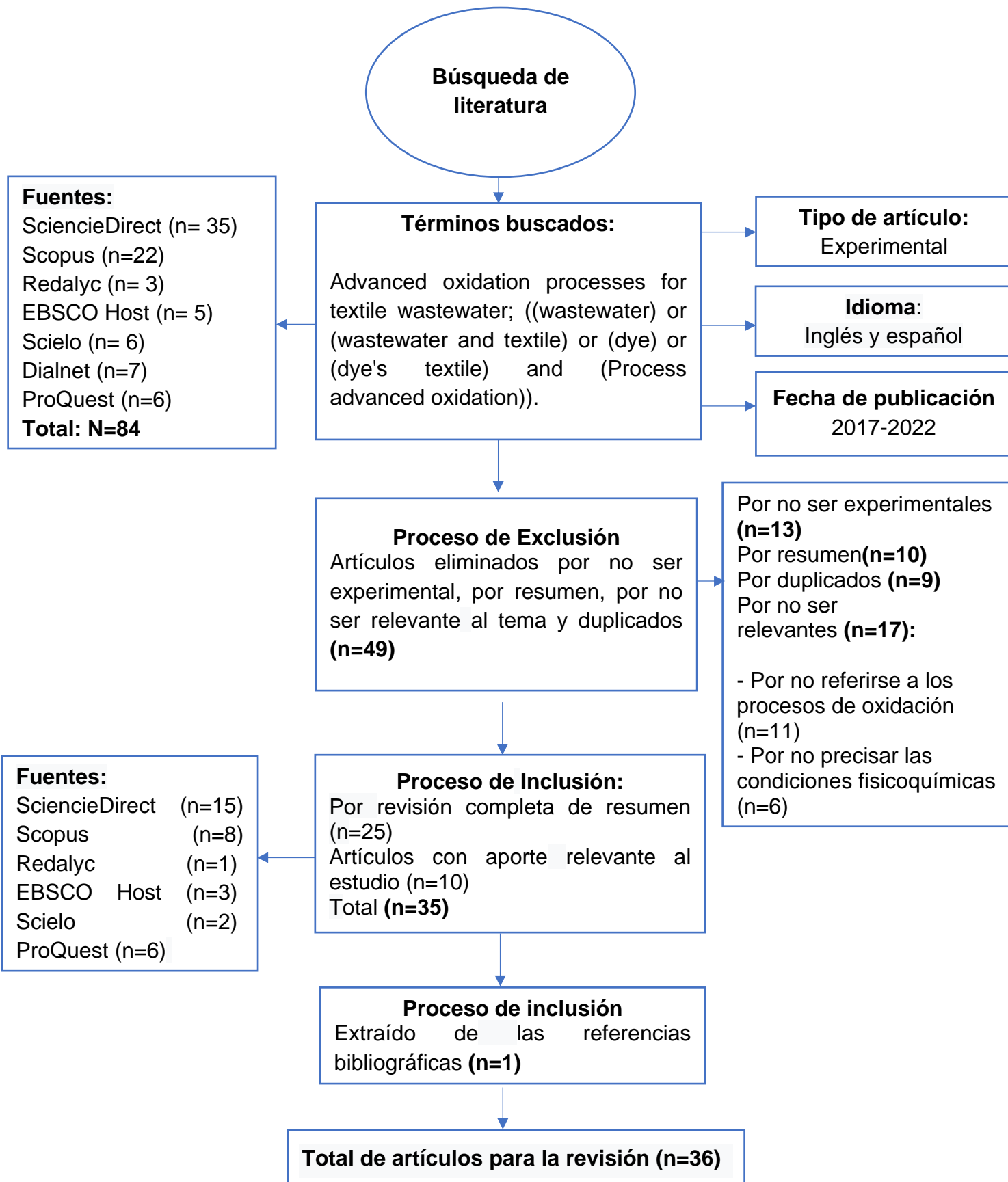
Los participantes del presente estudio se constituyeron por artículos originales provenientes de las diferentes bases de datos tales como; Scopus, Dialnet, ProQuest, EBSCO Host, SciELO, Redalyc y ScienceDirect, las cuales, se obtuvieron mediante la plataforma virtual institucional.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica aplicada a la presente revisión es el análisis documental (Quintana y Montgomery, 2006, p.66), puesto que, está basada en la revisión exhaustiva e interpretación de documentos obtenidos a partir de la base de datos a fin de recolectar información relevante para el tema de investigación.

El instrumento empleado es mediante fichas de análisis desarrollado a través de la recolección de información de los diferentes artículos originales de tipo experimental. Además, se implementó palabras claves con el objeto de minorizar y facilitar la búsqueda de información (Gamboa, 2016, p. 4). Asimismo, conforme la estructuración del marco teórico, se pretende examinar exhaustivamente, la información recolectada para el desarrollo de la problemática.

3.6. Procedimientos



Fuente: Elaboración propia

Para la búsqueda de artículos en las distintas plataformas se colocaron las siguientes palabras: Advanced oxidation processes for textile wastewater; ((wastewater) or (wastewater and textile) or (dye) or (dye's textile) and (Process advanced oxidation)). Los criterios de búsqueda incluyeron los siguientes puntos: periodo de artículos del 2017 al 2022; tipo de artículos experimentales y originales, en idioma español e inglés. Llegando a recopilar artículos científicos de las siguientes fuentes; ScieceDirect (**n=35**) Scopus (**n=22**) Redalyc (**n=3**) EBSCO Host (**n=5**), Scielo (**n=6**) Dialnet (**n=7**) y ProQuest (**n=6**) obteniéndose un total de (**n=84**) artículos. Como primer filtro se excluyeron (**n=49**) de los mismos, sea por no ser experimental (**n=13**), por el resumen (**n=10**), duplicidad de artículos (**n=9**) y por no ser relevantes al tema de estudio (**n=17**). Dicho ello, en esta última se distribuyen y excluyen por no referirse a los procesos de oxidación avanzada (**n=11**) y por no hacer mención a las condiciones fisicoquímicas que el estudio requiere (**n=6**) quedando así un total de (**n=35**) artículos, sumándose (**n=1**) documento más de las referencias bibliográficas revisadas. Finalmente se obtuvieron (**n=36**) artículos científicos para ser procesados continuamente hasta llegar a los hallazgos y resultados de cada uno de ellos.

3.7. Rigor científico

Al ser una investigación cualitativa se encuentra ligada al enfoque científico, ya que, representa validez y calidad en la metodología (Espinoza, 2020, p.105). De acuerdo a Graneheim (2017, p.31) refiere que las pautas para considerar como rigor científico son; credibilidad, transferibilidad, dependencia y confirmabilidad (Arias y Giraldo, 2011, p.504).

La credibilidad se describe como la validez del documento, es decir, cuando los hallazgos y análisis concuerdan con la realidad y se fija la confianza para la obtención de los datos en un periodo prolongado (Tracy, 2010, p.482). Se basa en la autenticidad del trabajo a desarrollar, con coherencia, sentido hacia nuevas y fiables futuras

investigaciones. Es así que, para cumplir con dicho juicio, se empleó diferentes bases de datos tales como; SciELO, ScieceDirect, Redalyc, ProQuest, EBSCO y Scopus, extrayendo artículos de investigación auténticos, que permiten desarrollar el estudio con gran credibilidad.

En cuanto, a la transferibilidad, se refiere a la validez externa, es decir, la suficiencia del investigador para interpretar y demostrar cómo los resultados pueden ser significativos y de interés para los lectores (Paudyal V., 2018, p.4). Bajo esa premisa, la búsqueda de información se centró en el análisis de diversos trabajos relacionados a la temática de estudio, es decir; a los tratamientos de aguas residuales textiles mediante los procesos de oxidación avanzada. En este criterio, se procedió a reunir productos científicos como colorantes textiles presentes en cuerpos de aguas residuales provenientes de la industria textil, y así poder comparar el porcentaje de remoción.

Respecto a la dependabilidad, se basa en informar sobre la efectividad del método o técnica que se maneja. Es decir, el tipo de diseño, precisando las variaciones tomadas en el procedimiento y resultados obtenidos (Arias y Giraldo, 2011, p.505). En este contexto, la importancia de comprender el tema de investigación es crucial, no basarse en una sola data y el ser meticuloso en la selección de información, teniendo en cuenta la similitud de la temática (Rojas y Osorio, 2017). Es así que mediante este criterio se procedió a sustraer información relacionada a los procesos de oxidación avanzada más eficientes en la remoción de colorantes textiles.

Finalmente, la confirmabilidad se enfatiza con la capacidad del investigador para contrarrestar la influencia sobre los datos. Es decir, el instrumento de análisis a base de una investigación exhaustiva. Considerando la parcialidad y juicio de la interpretación de información. Por ende, no se debe de aplicar decisiones de acuerdo a las preferencias propias. (Bush, 2019, p.646).

Bajo este principio, nuestro trabajo de investigación científica solo usará documentos acreditados, publicados propiamente en revistas científicas, revistas internacionales con respecto a los colorantes textiles presentes en las aguas residuales.

3.8. Método de análisis de datos

Los datos obtenidos fueron analizados a través de una matriz de categorización apriorística que consta de 3 categorías; procesos de oxidación avanzadas, condiciones fisicoquímicas y colorantes textiles. Para la categoría de procesos de oxidación avanzadas se consideraron 2 subcategorías; procesos fotoquímicos y procesos no fotoquímicos de las cuales se incluyeron 3 criterios: según la dosis requerida, de acuerdo al proceso aplicado y según el porcentaje de remoción de contaminantes textiles. De forma que, estos criterios permitirán seleccionar la información necesaria de los artículos científicos para fundamentar los resultados relacionados a esta categoría y de esta manera responder a los objetivos establecidos. En cuanto a la segunda categoría; condiciones fisicoquímicas se dividieron en 2 subcategorías; parámetros del efluente y condiciones del proceso. Para la primera se incluyeron 3 criterios tales como; según el color y turbidez; según el DBO₅ y DQO en el agua residual inicial y de acuerdo al pH y temperatura. En función a las condiciones del proceso, se consideraron los criterios; según el proceso aplicado, de acuerdo a la dosis aplicada, y según el pH y temperatura como condición óptima para el proceso de oxidación. De modo que, estos criterios ayudarán a la selección de información necesaria en base a los objetivos propuestos. Finalmente, la tercera categoría, colorantes textiles; en esta, se consideraron; los colorantes ácidos, colorantes azoicos, colorantes reactivos y los colorantes dispersos de los cuales se incluyeron 3 criterios; según su clasificación, según su concentración y según su nivel de toxicidad. De la misma manera, se consideraron para la selección de información según los objetivos descritos con anterioridad.

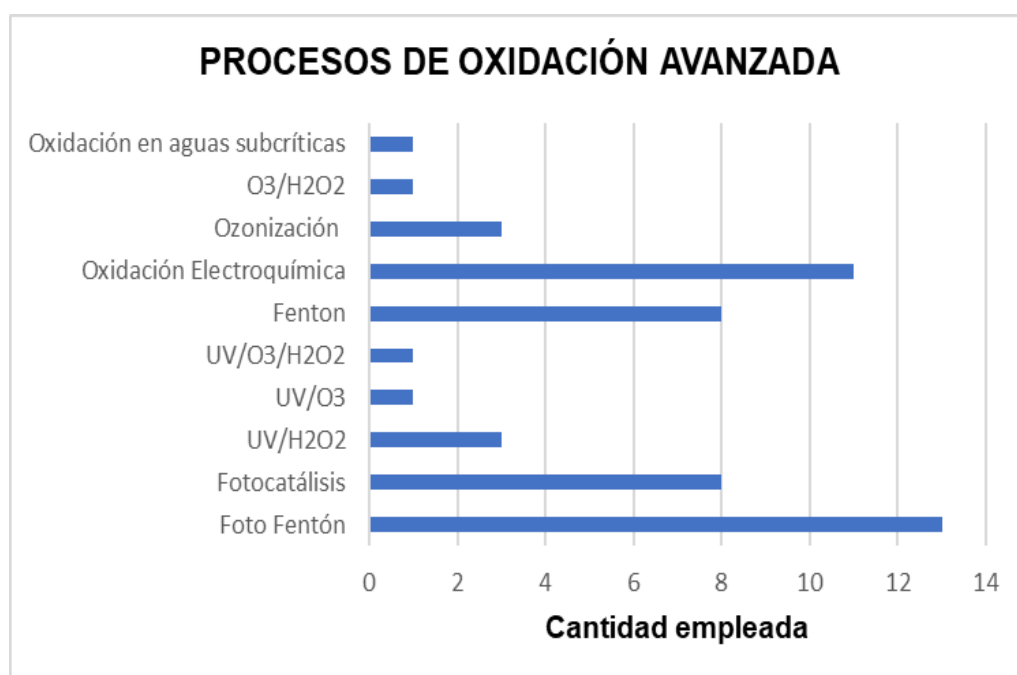
3.9. Aspectos éticos

El autor declara que en todo el procedimiento e indagación científica de la presente revisión sistemática tuvo como principios a la honestidad y la ética. Desarrollándose de forma responsable y transparente. Es por tal que, toda información adquirida es confiable, puesto que, se tomó en consideración a lo solicitado en la Resolución de consejo universitario N°110-2022 /UCV establecido el 5 de abril del 2022. A la vez, precisar que se han respetado los derechos de autor, evitando la copia de documentos de otros autores mediante el uso correcto del citado a través de la norma internacional ISO 690. Asimismo, se utilizó el sistema de Turnitin para proporcionar la autenticidad de búsqueda de información.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Conforme a la metodología aplicada, se recopilaron un total de 36 artículos originales provenientes de las siguientes bases de datos: Scopus(11), ProQuest(5), EBSCO Host(1), SciELO(2), Redalyc(2) y ScienceDirect(15) los mismos que, responden la interrogante ¿Cuáles son los tipos de procesos de oxidación avanzada con mayor capacidad en la remoción de contaminantes para aguas residuales procedentes de la industria textil?.

Figura 04. Principales Procesos de Oxidación Avanzadas para aguas residuales textiles.



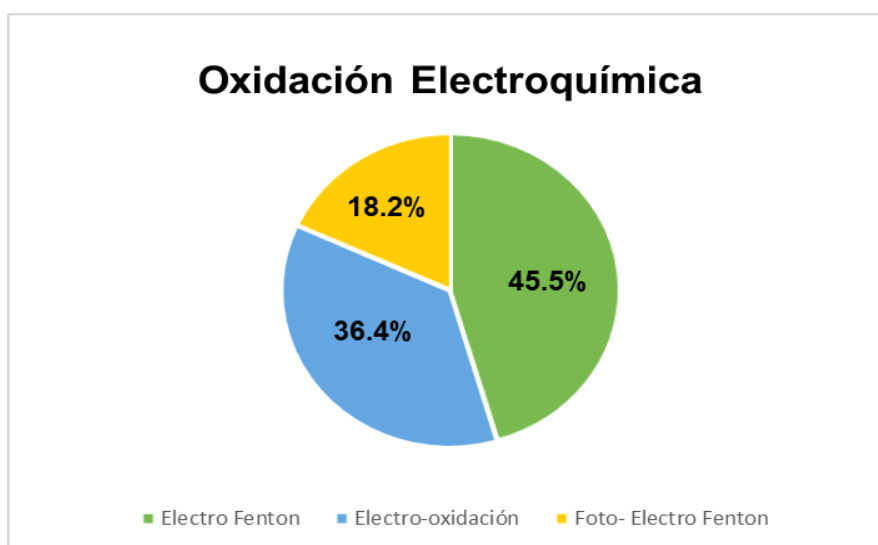
Fuente: Elaboración propia.

4.1. Tipos de procesos de oxidación avanzada para el tratamiento de las aguas residuales procedentes de la industria textil.

En la **figura 04** se observa un total de 10 procesos de oxidación avanzada de los 36 artículos seleccionados anteriormente; de los cuales, el 52% son originarios de los procesos fotoquímicos y el 48% son de tipo no fotoquímicos. Siendo entre los fotoquímicos, el proceso

Foto-Fenton con el 26% de empleabilidad (Santos et al., 2020; Silva et al., 2021; Soares et al., 2017; Silva et al., 2020; Tanveer et al., 2022; Rocha et al., 2021; Finger et al., 2018; Kumar S. y Kumar, 2021; Buthiyappan y Abdu, 2019; Gilpavas et al., 2018; Bilicia et al., 2022; Harsh et al., 2022 y Zouza et al., 2021); el 16% por Fotocatálisis (Santos et al., 2018; Blanco et al., 2018; Harsh et al., 2022; Bandeira et al., 2020; da Silva et al., 2021; Ferrari, Oliveira y Savoia, 2019, Azerrad y Kurzbaum, 2021 y Jorfi et al., 2018); el 6% por UV/H₂O₂ (Soares et al., 2017; Pourgholi et al., 2018 y Azerrad y Kurzbaum, 2021); y el 2% por UV/O₃ , UV/O₃ /H₂O₂ (Pourgholi et al., 2018) respectivamente. En cuanto a los no fotoquímicos, el más empleado fue el proceso de Oxidación Electroquímica (Kaur et al., 2017; Hortense et al., 2019; Sourour y Mahmoud, 2021; Kuleyin et al., 2021; Zazou et al., 2019; Silva et al., 2020; Louhichi et al., 2022 y Geraldino et al., 2020; Pinto et al., 2022 y Salazar et al., 2019) con el 22% de empleabilidad (así se muestra en la **figura 3**); el 16% por Fenton (Silva et al., 2020; Deshannavar et al., 2018; Tanveer et al., 2022; Alves et al., 2017; Uribe et al., 2020; Gilpavas et al., 2018; Bilici et al., 2022 y Solomon, Kiflie y Van, 2020); el 6% por Ozonización (Burak y Huseyin , 2021; Tanveer et al., 2022 y Wang et al., 2019) y el 2% por Oxidación en aguas subcríticas (Bilici et al., 2022), O₃/H₂O₂ (Pourgholi et al., 2018) respectivamente.

Figura 05. Clasificación del proceso de Oxidación Electroquímica.



En base a la **figura 05** se evidenció la clasificación del proceso de oxidación electroquímico, los cuales, atribuyeron con el 45.5% de empleabilidad mediante el método de Electro- Fenton, el 36.4% por Electro-oxidación u Oxidación anódica y el 18.2% por Foto- Electro Fenton.

Tabla 07. Tipos de POA para el tratamiento de aguas residuales textiles.

Tipo de POA	POA	Método acoplado	Dosificación requerida		Tiempo	Remoción de Contaminantes Textiles(%)	Referencias
			Dosis del Catalizador	Dosis del Oxidante			
Proceso Fotoquímico	Foto-Fenton	Microesferas de quisanos	0,1 mol. L ⁻¹ de Fe ²⁺	Di: 400 mg/L de H ₂ O ₂ Df: 70 mg/L de H ₂ O ₂	105 min	SST:9.70% SDT:12.70% DQO:30.2% DBO ₅ :58% Decoloración:91.2% Degradación de colorantes textiles: -94.8% de Remazol Blue -83,0% de Orange 16 -85.6% de Yellow 3GP Otros: 70% de compuestos aromáticos.	Santos et al., (2020)
Proceso no Fotoquímico	Oxidación Electroquímica (Electro-Fenton)	Electrocoagulación	0,2 mM de Fe ²⁺	---	60 min	COT:98.10% COD:54% DQO:98.5% Turbidez: 100%	Sazoa et al., (2019)
Proceso Fotoquímico	Foto-Fenton	No aplica	18 mg de Fe ²⁺	1.0 ml de H ₂ O ₂	120 min	COT:12% Turbidez:64.55% Colorantes textiles: 75% de RB5	Silva et al., (2021)
Proceso Fotoquímico	UV/H ₂ O ₂ Foto-Fenton	Oxidación biológica	---	14.1 mM de H ₂ O ₂ 3mM de H ₂ O ₂	95 min No preciso	DOC: 76% COD: 25%	Soares et al., (2017)
Proceso no fotoquímico	Oxidación Electroquímica (Electro-Fenton)	No aplica	2 mM de Fe ²⁺	---	30 min	COD:93% Decoloración:89% COT: 58%	Kuleyin, Gök y Akbal (2021)
Proceso No Fotoquímico	Ozonización	Granulado generado por carbón activado (rGAC)	5mg/L de Fe ²⁺	18 mg/L de O ₃	5 días	DQO:59.9% Decoloración:81.7%	Wang et al., (2019)

							Anilinas:88.66% por O ₃ COD: 15.2% por O ₃	
Proceso No Fotoquímico	Fenton	Macroalgas marinas: Pardas y rojas	10 mg/L de Fe ²⁺	250 mg /L de H ₂ O ₂	45 min	COD:37% Decoloración:95% DQO: 37 %		Silva et al., (2020)
	Oxidación Electroquímica (Electro-Fenton)		10 mg/L de Fe ²⁺	250 mg /L de H ₂ O ₂	40 min	COD:37% Decoloración:94% DQO: 37 %		
Proceso Fotoquímico	Foto-Fenton		10 mg/L de Fe ²⁺	80 mg/L de H ₂ O ₂	120 min	COD:37% Decoloración:98% DQO: 37 %		
	Oxidación Electroquímica (Foto Electro-Fenton)		10 mg/L de Fe ²⁺	250 mg /L de H ₂ O ₂	>40 min	COD:37% Decoloración:100% DQO: 37 %		
Proceso no Fotoquímico	Fenton	Electrocoagulación	50 mg/L de FeSO ₄ .7H ₂ O	170 mg/L de H ₂ O ₂	60 min	DQO:56.2% SDT:68% Turbidez:37% Salinidad:47.7% CE:64.2% SST:14.2% Decoloración: 37%		Tanveer et al., 2022
	Ozonización		---	50 mg/L de O ₃	60 min	DQO:77% SDT:74.8% Turbidez:99.29% Salinidad:50% CE:67% SST:25.3% Decoloración:100%		
Proceso Fotoquímico	Foto-Fenton		50 mg/L de FeSO ₄ .7H ₂ O	170 mg/L de H ₂ O ₂	60 min	DQO:70.9% SDT:73.8%		

						Turbidez:68% Salinidad:50% CE:53.6% SST:25% Decoloración: 97%	
Proceso Fotoquímico	Foto-Fenton	Microfiltración (MF) y nanofiltración (NF)	1: 1.4 molar de Fe:H2O2	1: 1.3 molar de H2O2	30 min	DQO:69.8% ST:14.2% CE:<0 Decoloración: 98.5%	Rocha et al., (2021)
Proceso Fotoquímico	Oxidación Electroquímica (Foto Electro-Fenton)	No aplica	0.5mM de Fe ²⁺	---	220 min	COT:90% Decoloración:100% Turbidez: 99.3%	Salazar et al., (2019)
Proceso no Fotoquímico	Oxidación Electroquímica (Electro-Fenton)	Electrocoagulación/Aspersión con y sin Aire	1.78 gdm ⁻³ de Fe	---	280 min	DQO del EF: 85% DQO del EFSA: 92% DQO del EC: 80% DQO del ECSA: 97% COT:80-97% Decoloración: 100%	Louhichi et al., (2022)
Proceso Fotoquímico	Foto-Fenton	No aplica	9.66 mg L ⁻¹ de Fe ²⁺	66,80 mg. L ⁻¹ de H2O2	20 min	Decoloración del Colorante textil Red 4B: 100.01%	Finger et al., (2018)
			10.34mg L ⁻¹ de Fe ²⁺	55.04 mg. L ⁻¹ de H2O2	15 min	Decoloración del Colorante textil Blue 5G: 100.56%	
Proceso Fotoquímico	Fotocatálisis	Compuestos de HT/Fe/TiO ₂ bajo visible	- 2 g/L de TiO ₂ - 0.25 molar de HT/Fe/TiO ₂ - 0.5 molar de HT/Fe/TiO ₂ - 0.75 molar de HT/Fe/TiO ₂ - 1 molar de HT/Fe/TiO ₂	---	330-360 min	Decoloración del ADMI: 98,3% del TiO ₂ . Decoloración del ADMI: 85% del compuesto HT/Fe/TiO ₂ DQO:20% COT: <8%	Santos et al., (2018)

Proceso no Fotoquímico	Oxidación Electroquímica (Electro-Oxidación)	Coagulación-floculación	---	---	180 min	COT:82% Turbidez:90.8% Decoloración: 89 %	Hortense et al., (2019)
Proceso no Fotoquímico	Oxidación Electroquímica (Electro-Fenton)	Electrodo de difusión de gas (GDE) con óxido de grafeno reducido (rGO)	100.0 mg.L-1 de Fe ₃ O ₄ /GO al 15%	---	180 min	COT:70.3% Turbidez:98.5% Decoloración:99% DQO:81.7% Absorbancia: 96.7%	Geraldino et al., (2020)
Proceso no Fotoquímico	Fenton	No aplica	- 0.0005 mol Fe ²⁺ para AV49 - 0.0005mol Fe ²⁺ para AR88	- 0.005 mol H ₂ O ₂ para AV49 - 0.006 mol H ₂ O ₂ para AR88	60 min	Remoción del Colorante AV49:98.35% Remoción del Colorante AR88: 97.30 %	Deshannavar et al., (2018)
Proceso no Fotoquímico	Oxidación Electroquímica Electro-oxidación)	No aplica	---	---	80 min	Decoloración:97.25% DQO: 80%	Kaur, Kushwaha y Kumar (2017)
Proceso Fotoquímico	Foto-Fenton	No aplica	10 mg/L Fe ²⁺	50 mg/L de H ₂ O ₂	120 min	COT:79.9% DQO: 86.54% Decoloración: 93%	Kumar S. y Kumar (2021)
Proceso Fotoquímico	Foto-Fenton	No aplica	14.7 ml de Fe ²⁺	42.9 ml de H ₂ O ₂	60 min	COT:78.50% DQO:91.20% Decoloración: 99.90%	Buthiyappan y Abdu (2019)
Proceso no Fotoquímico	Fotocatálisis	UV- Solar	150 mg/L de ZnO	---	90 min	DQO:70% Decoloración: 99%	Melo, Rocha y Silva (2018)
Proceso no Fotoquímico	Oxidación Electroquímica (Electro- oxidación)	Coagulación-Floculación (primer tratamiento)	---	---	2 horas	DBO ₅ :100% DQO:90% Turbidez: 95.97%	Sourour y Mahmoud (2021)
Proceso no Fotoquímico	Fenton	Ultrasonido (US) de baja frecuencia.	1 mM de Fe ²⁺	14 mM de H ₂ O ₂	90 min	DQO:84% Turbidez: 99%	Gilpivas et al., (2018)
Proceso Fotoquímico	Foto-Fenton		1 mM de Fe ²⁺	14 mM de H ₂ O ₂		DQO:95% Turbidez: 99%	

Proceso Fotoquímico	Foto-Fenton	No aplica	50 mg/L de Fe ²⁺	125 mg/L de H ₂ O ₂	60 min	Decoloración:56.94% Remoción del tinte MB: 97.22% DQO: 100%	Bilicia et al., (2022)
Proceso no Fotoquímico	Oxidación en agua subcrítica soportados por el proceso Fenton					Decoloración:61.26% Remoción del tinte MB: 100% DQO: 98.5%	
	Fenton					Decoloración:64.11% Remoción del tinte MB: 100% DQO: 95.5%	
Proceso Fotoquímico	UV/ H ₂ O ₂	No aplica	---	10 g/L de H ₂ O ₂	30 min	Decoloración: 59.4 % DQO: 49.5%	Pourgholi et al., (2018)
	UV/ H ₂ O ₂ /O ₃		---	- 10 g/L de H ₂ O ₂ - 10 g/L de O ₃		Decoloración:84.7% DQO: 76.5%	
	UV/O ₃		---	10 g/L de O ₃		Decoloración:72.5% DQO: 69.4%	
Proceso no Fotoquímico	O ₃ /H ₂ O ₂		---	10 g/L de H ₂ O ₂		Decoloración:71% DQO: 64.2%	
Proceso Fotoquímico	Fotocatálisis Heterogénea	Hongos ligninolíticos (En el tratamiento secundario)	1 000 mg de TiO ₂	---	12 horas	Decoloración: 86% DBO ₅ : 86% DQO: 73%	Blanco et al., (2018)
Proceso Fotoquímico	Foto- Fenton	No aplica	0.5 mM de Fe ²⁺	5,0 mM de H ₂ O ₂	8 min	Degradación del colorante RR: 100%	Harsh et al., (2022)
	Fotocatálisis		1.0 g/L de TiO ₂	---	60 min	Degradación del colorante RR: 98%	
Proceso no Fotoquímico	Fenton	Reactor Discontinuo Secuencial (SBR)	500.4 mg/L de Fe ²⁺	5187.6 mg/L de H ₂ O ₂	11 días	Decoloración:84% DQO: 86.3%	Solomon, Kiflie y Van (2020)
Proceso Fotoquímico	UV/H ₂ O ₂	No aplica	---	100 mg/L de H ₂ O ₂	90 min	Decoloración: 72%	Azerrad y Kurzbaum (2021)
	Fotocatálisis		0.5 g/L de TiO ₂	---		Decoloración: 85%	
Proceso no Fotoquímico	Oxidación Electroquímica	No aplica	---	---	10h	DQO1:88% DQO2: 97%	Pinto et al., (2022)

(Electro-oxidación)							
Proceso Fotoquímico	Foto-Fenton	Irradiación por Luz LED	25 mg.L-1 de Fe ²⁺	500 mg.L-1 de H ₂ O ₂	120 min	Decoloración:100% DQO:93% Turbidez: 96%	De Zouza et al., (2021)
		Irradiación por UV-A	80 mg.L-1 de Fe ²⁺	1200 mg.L-1 de H ₂ O ₂		Decoloración:100% DQO:93% Turbidez: 96%	
		Irradiación por Luz solar	50 mg.L-1 de Fe ²⁺	1400 mg.L-1 de H ₂ O ₂		Decoloración:100% DQO:88.7% Turbidez: 96%	
Proceso Fotoquímico	Fotocatálisis heterogénea	No aplica	587,25 cm ⁻¹ de MnGo-Fe ₃ O ₄	---	120 min	DQO: 4094,94 mg.L ⁻¹	Bandeira et al., (2020)
Proceso No Fotoquímico	Ozonización	Electrodiálisis	---	---	25 min	DQO: 37%	Yuzer y Selcuk (2021)
Proceso Fotoquímico	Fotocatálisis	No aplica	1g/ L de TiO ₂	---	240 min	---	Ferrari, Oliveira y Savoia (2019)
Proceso no Fotoquímico	Fenton	No aplica	5.0x10-4 mol.L ⁻¹ de Fe ²⁺	1,0x10-4 mol.L-1 de H ₂ O ₂	15 min	Remoción de colorantes textiles:100% de verde maliquita. DQO: 95.6%	Alves et al., (2017)
Proceso no Fotoquímico	Fenton	No aplica	0,0156 g/ml de Fe ²⁺	0,0251 g/ml de H ₂ O ₂	90 min	No especifica	Uribe et al., (2020)
Proceso Fotoquímico	Fotocatálisis	Nanocompuestos de Mn y Mo	2 g L ⁻¹ de TiO ₂	---	300 min	DQO : 84% Remoción de colorantes textiles: 81%	Jorfi et al., (2018)

Fuente: Elaboración Propia.

Di: Dosis inicial

Df: Dosis final

CE: Conductividad Eléctrica

Entre los criterios considerados en la **tabla 07** fueron; dosificación requerida sea tanto para el catalizador como para el agente oxidante; el tiempo de reacción de cada proceso aplicado; los cuales, variaron de acuerdo a la persistencia de cada contaminante en el efluente textil y la remoción de los mismos.

En cuanto a la remoción de los contaminantes textiles por los procesos fotoquímicos; el Foto-Fenton, ha demostrado grandes reducciones referente a los compuestos orgánicos y colorantes en toda la bibliografía presente. Por ejemplo, Kumar S. y Kumar, 2021 evidenciaron remociones de entre 79.9% de COT, 86.54% de DQO y el 93% de la decoloración del reactivo rojo Congo; ya sea, porque se emplearon dosificaciones de 10 mg/L de Fe^{2+} y 50 mg/L de H_2O_2 en 120 minutos de tratamiento. Mientras que, a Buthiyappan y Abdu (2019) las dosificaciones aplicadas fueron de 14.7 ml de Fe^{2+} y 42.9 ml de H_2O_2 en 60 minutos con reducciones del 78.50% de TOC, 91.20% del DQO y el 99.9% de decoloración. Por su parte, Bilicia et al., (2022) emplearon dosis medianas de 50 mg/L de Fe^{2+} y 125 mg/L de H_2O_2 en un tiempo de 60 minutos, presentando remociones de entre 56.94% de decoloración, 100% del DQO y 97.22% de degradación del tinte azul de metileno. En cambio, para Harsh et al., (2022) las dosificaciones fueron de 0.5 mM de Fe^{2+} y 5,0 mM de H_2O_2 en un periodo menor que los antes mencionados (8 minutos de tratamiento) para la degradación del colorante reactivo remazol rojo al 100%, probablemente la variabilidad de las remociones se dé por las condiciones óptimas que se somete cada proceso y a los parámetros fisicoquímicos que se presentan inicialmente en el agua residual. Sea el caso por De Souza et al., (2021) que emplearon diferentes irradiaciones (luz LED, UV-A y luz solar) en el proceso de Foto-Fenton para estimar la efectividad de cada uno de ellos. Las remociones fueron del 100% de decoloración, 96% de turbidez respectivamente, el 93% de DQO aplicando la luz LED e igual por UV-A, y el 88.7% de DQO por luz solar. Las dosificaciones respectivas fueron: Luz LED con 25 mg/L de Fe^{2+} y 500 mg/L de H_2O_2 , UV-A con 80 mg/L de Fe^{2+}

y 1200 mg/L de H_2O_2 , y luz solar con 50 mg/L de Fe^{2+} y 1400 mg/L de H_2O_2 en 120 minutos de tratamiento. A pesar que, los resultados fueron buenos para la luz solar, se prevén desventajas en cuanto a su funcionamiento, puesto que, estas dependen del espaciado y de las condiciones climáticas que se presenten en el momento de su aplicación, pues pueda que no sea muy favorable para el proceso si nos referimos a estaciones extremas y espacios reducidos. No obstante, se evidencia una ventaja en cuanto al bajo costo y poco consumo eléctrico que requiere la irradiación solar (De Zouza et al., 2021, p.2). Por otra parte, la implementación de otros métodos y/o reactivos en el proceso Foto-Fenton han demostrado ser competentes en la remoción de los contaminantes textiles. Sea el caso de Gilpavas et al., (2018) mediante el método convencional de coagulación química (800 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) como pretratamiento; seguido del ultrasonido (US) de baja frecuencia (<50 kHz) a dosificaciones de 1 mM de Fe^{2+} y 14 mM de H_2O_2 en 90 minutos de procedimiento. Obteniendo remociones altas del 95% de turbidez y DQO, respectivamente; tal vez sea, por la cavitación acústica, transferencia de la masa y las partículas del catalizador en el proceso fotoquímico. En cuanto a Soares et al., (2017) emplearon el proceso biológico, (lodos activados) como pretratamiento del agua residual contaminada. Asimismo, se adicionó ácido oxálico (0.250 g/L) para la mejora del post tratamiento Foto-Fenton a dosificaciones de 2 mg/L de Fe^{2+} y 3 mM de H_2O_2 . En este caso, el tiempo no fue especificado y los resultados arrojaron un 25% del COD; lo cual, precisa que la complementación del agente no fue relevante en el proceso. Todo lo contrario de Santos et al., (2020), los cuales, adicionaron microesferas de quisanos (4mm) como catalizador sólido a fin inmovilizar los iones de hierro. Las dosis empleadas fueron con 0,1 mol. L⁻¹ de Fe^{2+} y 70 mg/L de H_2O_2 en 105 minutos de tratamiento. La misma, evidenció reducciones de entre 9.70% de SST, 12.70% de SDT, 30.2% de DQO, el 58% de DBO_5 , 87.8% de degradación de colorantes textiles, 91.2% de decoloración y el 70% de compuestos aromáticos. Demostrando ser un buen catalizador para el proceso de Foto-Fenton; además este

se acopla a las diferentes variaciones del pH. Para el caso de Silva et al., (2020) la implementación de macroalgas marinas tanto pardas como rojas sí demostraron ser una alternativa para la mejora del proceso de oxidación, demostrando así, una reducción del 37% del COD, 98% de decoloración y 37% de DQO en 120 minutos con dosis del POA de 10 mg/L de Fe^{2+} y 80 mg/L de H_2O_2 .

De manera similar por Fotocatálisis; sea el caso de Santos et al., (2018) que implementaron compuestos de HT/Fe/TiO₂ bajo UV visible a dosificaciones de 2 g/L de TiO₂ y dosis de HT/Fe/TiO₂ a 25 molar, 0.5 molar; 0.75 molar y 1 molar en un intervalo de 330 a 360 minutos de tratamiento. Manifestando resultados del 98,3% para la decoloración, 20% del DQO, <8% del COD y el 85% de la decoloración del ADMI. Tal vez, la remoción del ADMI fue alta debido al compuesto acoplado HT/Fe/TiO₂. Para Blanco et al., (2018) el acompañamiento de los hongos ligninolíticos son buenos reductores de colorantes textiles evidenciando el 86% de la decoloración, el 86% del DBO₅ y el 73% del DQO con dosis de 1000 mg de TiO₂ a 12 horas de tratamiento. Respecto a Melo, Rocha y Silva (2018) presentaron remociones del 70% y 99% de DQO y de decoloración, respectivamente. La dosis para el catalizador fue de 150 mg/L de ZnO en un tiempo de 90 minutos. Convirtiendo al óxido de Zinc como un excelente catalizador y un semiconductor de bajo costo y no tóxico, asimismo, se asumió que el ZnO es más efectivo que el TiO₂, puesto que, este absorbe más espectro solar que el anterior. Lo opuesto de Harsh et al., (2022), los cuales difieren diciendo que, el fotocatalizador TiO₂ es el mejor de entre todos los catalizadores; además ayuda con la degradación al 98% del colorante remazol rojo con dosis de 1.0 g/L de TiO₂ en 60 minutos de tratamiento. De la misma forma; Ferrari, Oliveira y Savoia (2019) emplearon el TiO₂ como catalizador; no obstante, los resultados no fueron tan relevantes como el anterior caso, siendo solo 45% de reducción del colorante azul de metileno en dosificaciones iguales de TiO₂ en 240 minutos de tratamiento. Ante lo mencionado, se puede asumir que probablemente

el porcentaje de reducción se dé por las diferentes concentraciones y persistencia de cada colorante siendo sometidas a distintas condiciones. De forma similar, Jorfi et al., (2018) emplearon el TiO_2 en dosis de 2 g/L en acompañamiento de nanocompuestos de Mn y Mo en lo cual, se obtuvo un resultado bastante favorable con remociones del 84% de DQO y 81% de los colorantes recalcitrantes en un tiempo de 300 minutos.

Para el UV/ H_2O_2 , se aplicaron dosis de 14.1 mM de H_2O_2 en un tiempo estimado de 30 minutos y a temperatura de 25°C. Obteniéndose como resultados el 93% del COD, 58% de TOC y una decoloración del 89% (Soares et al., 2017). A diferencia de Pourgholi et al.,(2018); las remociones fueron menores (49.5% de DQO y 59.4% de decoloración), aparentemente debido a que se aplicó dosis de 10g/L de H_2O_2 y/o diferentes temperaturas (<25°C). Para Azerrad y Kurzbaum (2021) la dosis fue la correcta (100 mg/L de H_2O_2 , 90 minutos) puesto que, el resultado de la decoloración fue mayor con un porcentaje del 72%.

En cuanto al UV/ O_3 y UV/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ fueron los menos empleados entre los procesos fotoquímicos; no obstante, el UV/ O_3 presentó remociones altas del 72.5% de decoloración y el 69.4% del DQO quizás debido a la aplicación de la ozonización en dosis de 10 g/L en 30 minutos. Finalmente, el UV/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ evidenció remociones del 84.7% de la decoloración del textil y el 76.5% de DQO a dosificaciones de 10g/L de H_2O_2 y 10 g/L de O_3 en 30 minutos (Pourgholi et al., 2018). Se estimó que, la eficiencia del proceso es debido a las altas potencias que presentan los agentes oxidantes y al efecto agregativo de los hidroxilos de hidrógeno.

En cuanto a los procesos no fotoquímicos, el Fenton resultó ser uno de los más empleados, pues esto posiblemente se dé por su buen rendimiento y bajos costos. Para Alves et al., (2017) las remociones evidenciadas fueron del 100% y 95.6% en cuanto al colorante textil

verde malaquita y DQO, respectivamente a dosificaciones de 5.0×10^{-4} mol.L⁻¹ de Fe²⁺ y 1.0×10^{-4} mol.L⁻¹ de H₂O₂ a 15 minutos de tratamiento. Respecto a Silva et al., (2020) las remociones fueron variadas con 95% de la decoloración, 37% del DQO y COD, respectivamente; seguramente por la implementación de macroalgas marinas (pardas y rojas) y dosificaciones de 10 mg/L de Fe²⁺ y 250 mg /L de H₂O₂ en tiempo de 45 minutos. Asimismo, para Tanveer et al., (2022) las remociones fueron intermedias con el 14.2% de SST, el 64.2% de CE y el 37% de decoloración con dosis de 50 mg/L de FeSO₄.7H₂O y 170 mg/L de H₂O₂ mediante el método acoplado de electrocoagulación. En cuanto a Solomon, Kiflie y Van (2020) presentaron remociones del 84% de decoloración y 86.3% del DQO a dosificaciones de 500.4 mg/L de Fe²⁺ y 5187.6 mg/L de H₂O₂ en 10 días de tratamiento a lo mejor fue gracias al reactor discontinuo secuencial en el proceso Fenton.

Para la Ozonización se estimaron remociones intermedias con el 15.2% del COD y el 88.66% de anilinas (compuestos químicos) a dosis de 5 mg/L de Fe²⁺ y 18 mg/L de O₃. Así también, se evidenciaron reducciones del 59.9% del DQO y el 81.7% de la decoloración mediante el acoplo del granulado generado por carbón activado (rGAC) en 5 días de tratamiento (Wang et al., 2019). Con respecto a Tanveer et al., (2022) presentaron remociones del 100% de decoloración, 25.3% de SST, 74.8% de STD y 99.29% de turbidez mediante dosis de 50 mg/L de O₃ en 60 minutos, dichos porcentajes quizás se atribuyeron por la implementación del método de electrocoagulación. Y mediante la electrodiálisis la remoción del DQO fue del 37% en 25 minutos, siendo no muy relevantes para el proceso de ozonización (Burak y Huseyin, 2021).

Para la Oxidación electroquímica, empleando el método de Electro-oxidación, Sourour y Mahmoud (2021); mostraron remociones positivas con el 90% del DQO, 95.97% de turbidez y el 100% del DBO₅ mediante la coagulación (5g/L) y floculación (1.09 mg/L) a 2 horas

de tratamiento a dosis del 80 mg/L del coagulante inorgánico, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Del mismo modo para Hortense et al., (2019) el método de coagulación y floculación (76.7 mg/L) demostró ser buen acompañamiento del OE demostrando dosis altas del 90.8% de turbidez, 82% del COT y 89% de decoloración con dosis de 20 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ en 180 minutos de tratamiento. Además, se empleó como ánodo al $\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{RuO}_2/\text{SnO}_2$ - DSA. Tal vez los porcentajes fueron elevados ya que, se adicionaron algas verdes (*Raphidocelis Subcapitata*) en el tratamiento preliminar al OE. En cuanto al método, FotoElectro-Fenton también resultó ser un buen método para la eliminación de contaminantes del agua residual textil, pues, se estimó un porcentaje del 100% de la decoloración y 37% del DQO a dosificaciones de 10 mg/L de Fe^{2+} y 250 mg /L de H_2O_2 a irradiación UV-A. El tiempo estimado fue >40 minutos con el acompañamiento de macroalgas marinas tanto pardas como rojas (Silva et al., 2020) y con dosis de 0.5mM de Fe^{2+} e irradiación solar se obtuvieron remociones del 100% de la decoloración, el 99.3% de turbidez y 90% del TOC en 280 minutos (Salazar et al., 2019). Para el método, Electro-Fenton las remociones fueron excelentes en referencia a la decoloración de colorantes textiles, pues se evidenció la remoción del 89% con una dosis de 2 mM de Fe^{2+} en tiempo de 30 minutos (Kuleyin, Gök y Akbal, 2021). Además, se presenciaron reducciones del 93% y 58% del COD y COT, respectivamente. Asimismo, se constató la decoloración del 100% quizá por el acoplamiento del método de electrocoagulación con aspersión con y sin aire, mediante dosis de 1.78 gdm^{-3} de Fe en tiempo de 280 minutos de tratamiento. A su vez, mostró reducciones del 92% del DQO con EFSA, 97% con ECSA 85% de DQO , 80- 97% de COT y EF solo el 85% de DQO (Louhichi et al., 2022). De forma similar pasó con Sazoa et al., (2019) los cuales, implementaron el mismo método con dosis diferente de 2 mM de Fe^{2+} en 30 minutos. Los resultados fueron igual de favorables con el 100% de turbidez, 98.5% del DQO, 98.10% de COT y el 54% del COD, de repente porque no se consideraron las aspersiones de aire. Por otro punto, la adición del electrodo de difusión de gas con óxido de grafeno reducido

(GDE/ rGO) resulta ser un buen complemento en este proceso, pues se evidenciaron reducciones del 99% de la decoloración, el 81.7% del DQO y el 70.3% del COT con dosis de 100 mg/L de $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{GO}$ al 15% en tiempo de 180 minutos. Continuamente, se mostró remociones del 94% de la decoloración, 37% del DQO, y 37% del COD a dosificaciones 10 mg/L de Fe^{2+} , 250 mg/L de H_2O_2 en 40 minutos de tratamiento (Silva et al., 2020). Quizás dichas remociones se dieron por el empleo de macroalgas marinas.

Finalmente, tanto la Oxidación en aguas subcríticas como el $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ obtuvieron los menores porcentajes de empleabilidad en los procesos no fotoquímicos. Aun así, se evidenció remociones positivas en cuanto a la decoloración y reducción de contaminantes. Siendo para Pourgholi et al., (2018); el 71% de la decoloración y el 64.2% del DQO con dosis de 10g/L de H_2O_2 y en 30 minutos de tratamiento, ciertamente debido al proceso de $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$. En cuanto a Bilicia et al., (2022); las remociones aplicando oxidación en aguas subcríticas fueron del 100% para el tinte azul de metileno, 61.26% de la decoloración y el 98.5% del DQO sea por su dosificación a 50 mg/L para Fe^{2+} en 30 minutos.

4.2.1. Parámetros fisicoquímicos del Efluente textil.

Tabla 08. Parámetros fisicoquímicos iniciales del efluente residual textil.

Referencias	Parámetros fisicoquímicos del efluente								
	pH	Color	Turbidez	T °	Conductividad	SST	DQO	DBO ₅	Otros
Santos et al., (2020)	8,18	825 mg L ⁻¹ Pt-Co Color: púrpura	---	---	13,5 cm ⁻¹	31,87 mg/L	No precisa	37,14 mg/L	Compuestos aromáticos: 2,431 mg/L SDT: 6606.31 mg/L
Sazoa et al., (2019)	8,75	Color: Negro	72 NTU	22°C	8,75 cm ⁻¹	---	267 mg/L	---	---
Silva et al., (2021)	7,86	385 mg L ⁻¹ Pt-Co	91,4 NTU	---	---	---	131.99 mg/L	55 mg/L	---
Soares et al., (2017)	8,4	230 mg L ⁻¹ Pt-Co Color: rojo	---	---	4.5 cm ⁻¹	98 mg/L	1450 mg/L	440 mg/L	Sulfato: 737 mg/L de SO ₄ Sodio :1772 mg Na ⁺ L1 COD: 354 mg/L
Kuleyin, Gök y Akbal (2021)	7,82	167mg L ⁻¹ Pt-Co	---	---	2276 mS/cm	94 mg/L	---	---	COT: 30 mg/L
Silva et al., (2020)	7,9	134 mg/L Pt-Co Color: Marrón amarillento claro	---	20.°C	2269 mS/cm	3.6 mg/L	65 mg O ₂ /L	Por debajo de los limites	COD: 26 mg C/L STV: 3.4 mg/L
Tanveer et al., 2022	12,38	---	28,41 NTU	---	3,51 ms	360 mg/L	680 mg/L	---	SDT: 3570,5 mg/L Salinidad: 2,1 ppt
Rocha et al., (2021)	7,67	7.129 uh	---	---	3.275 mS/cm	---	1.771 mg/L	---	STV:1,10 mg/L Alcalinidad: 530 mg/L Dureza: 38,1 mg/L
Salazar et al., (2019)	3,8	Color: verdoso- azulado	14.5 NTU	---	9.27 mS/cm	---	1762.89 mg/L	---	COT: 642 mg/L Absorbancia: 0.44 UA

Louhichi et al., (2022)	6,8	---	360 NTU	20.22 °C	8.6 mS/cm	---	712.8 mg/L	0.35 mg/L	NH4 +: 120 mg/L NO3 -: 17.9 mg/L PO4 : 4.1 mg/L
Santos et al., (2018)	9	303 mg L-1 de ADMI	150 NTU	30 °C	1608 mS/cm	---	78 mg/L	---	COD: 25.7 mg/L 264 mg/L CaCO3
Hortense et al., (2019)	7,8	---	220 NTU	---	4640 mS/cm	3570 mg/L	1130 mg/L	289 mg/L	Alcalinidad: 857 mg/L CaCO3 Dureza : 19.4 mg/L Aceites y Grasas: 19 mg/l COT: 734 mg/L
Geraldino et al., (2020)	5,68	1715 mg/L de Pt- Co	185.9 NTU	27.5° C	1366.0 mS/cm	---	655.8 mg/L	158.0 mg/L	COT: 83.0 mg C L-1
Buthiyappan y Abdu (2019)	12,5	1500 m/L de ADMI Color: Azul oscuro	---	---	---	---	1600- 1900 mg/L	---	COT: 170mg/L
Sourour y Mahmoud (2021)	7,2	---	35 NTU	19.9°C	4.8 mS/cm	--	239.9 mg O2/L	6.4 mg O2/L	OD: 7.76 mg/L
Gilpivas et al., (2018)	7,06	---	308 NTU	---	4.520 mS/cm	1341 mg/L	420 mg/L	36.5 mg/L	COT: 124 mg/L
Bilicia et al., (2022)	10,63	264 mg de Vie-Co	---	---	23 mS/cm	---	1240 mg/L	---	---
Vargas et al., (2018)	9,5	1617 mg/L de Pt-Co	---	15°C	0.0052 mS/cm	---	7375 mg/L	2965 mg/L	Bacterias heterótrofas 60x106 UFC MI-1
Pinto et al., (2022)	4,68	Color: Marrón Claro	---	---	3.12 mS/cm	---	1660 mg/L	---	COD: 4600 mg.L-1
De Souza et al., (2021)	8,07	283 mg.L-1 de Pt-Co	276 NTU	---	-53 Mv	---	475.1 mg/L	204 mg/L	Unidades tóxicas: 30.3 mg.L-1

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la caracterización de las aguas residuales textiles de los 20 artículos estudiados se consideraron los parámetros fisicoquímicos; pH, turbidez (NTU), temperatura (°C), sólidos totales suspendidos (mg/L), color, demanda química de oxígeno (mg/L), demanda bioquímica de oxígeno (mg/L), conductividad eléctrica y entre otros.

En la **tabla 08**, el pH se estimó en un rango de 3,8 a 12,5 en toda la bibliografía presente. Particularmente los rangos superiores y básicos lo evidenciaron, Buthiyappan y Abdu (2019) con el 12,5 del pH; Tanveer et al., (2022) con el 12,38; Bilicia et al., (2022) con el 10,63; Kaur, Kushwaha y Kumar (2017) con el 9,84; Vargas et al., (2018) con 9,5; Santos et al., (2018) con 9; Sazoa et al., (2019) con 8,75; Soares et al., (2017) con 8,4; Santos et al., (2020) con 8,18 y De Souza et al., (2021) con 8,07. Entre los pH cercanos a la neutralidad lo presentaron; Silva et al., (2020) con 7,9; Silva et al., (2021) con 7,86 Hortense et al., (2019) con 7,8; Kuleyin, Gök y Akbal (2021) con 7,82; Rocha et al., (2021) con 7,67; Harsh et al., (2022) y Azerrad y Kurzbaum (2021) con el 7,5; Sourour y Mahmoud (2021) con 7,2; Gilpivas et al., (2018) con 7,06; Louhichi et al., (2022) con 6,8 y Geraldino et al., (2020) con 5,68. Por último, entre los cercanos al ácido fueron; Pinto et al., (2022) con 4,68 y Salazar et al., (2019) con pH 3. Cabe mencionar que, las condiciones ácidas y/o alcalinas pueden modificar la estructura enzimática y afectar la prolongación de microorganismos en el agua receptor. En tanto a los pH altos (>8.5) pueden perjudicar la reproducción y permanencia de los peces (Harsh et al., 2022, p.3-4). De forma similar lo refieren Silva y Bengoa (2018, p.9) en que, el pH no debe alejarse de la neutralidad; puesto que, al ser muy elevada, el agua se convierte en no apta para distintas funciones tales como el riego o reutilización de los procesos que lleva a cabo la industria textil.

En cuanto a los valores de turbidez, estos oscilaban entre 14.5 a 360 NTU. Siendo este último (Louhichi et al., 2022) el más alto de entre todos, quizás es debido a la presencia de grandes cantidades de

material particulado en suspensión. En efecto, para Gilpivas et al., (2018) el valor de 306 NTU evidenció grandes porciones de contaminantes en el agua residual convirtiéndolo en un peligro para el medio acuático. Así también para De Zouza et al., (2021); Hortense et al., (2019); Geraldino et al., (2020); Santos et al., (2018) y Silva et al., (2021), los cuales, evidenciaron altos valores con, 276 , 220, 185.9, 150 y 91.4 de NTU, respectivamente, presenciando similares efectos que los anteriores autores. Lo contrario para Tanveer et al., (2020) y Salazar et al., (2018) con valores relativamente menores, 28,41 y 14.5 NTU respectivamente presenciando efectos notorios, pero no peligrosos.

Respecto a la coloración, los resultados fueron intensos, sea por Silva et al., (2020) y Pinto et al., (2022) que evidenciaron un color marrón medio claro. En cambio, para Buthiyappan y Abdu (2019) mostró un color azul oscuro. Casi similar fue para Salazar et al., (2019) con un color azul medio verdoso. Lo contrario de Soares et al., (2017) y Sazoa et al., (2019) con colores rojo y negro, respectivamente. Ante lo mencionado, el color del agua residual se convierte en uno de las propiedades físicas que afectan a la turbidez, pues, al evidenciar una coloración más intensa, la luz de absorción será mayor y difícil de atravesar. Asimismo, lo refiere Cárdenas (2022) en cuanto a estos dos indicadores van de la mano; ya que, ambos dependen de la cantidad de contaminantes (material particulado) presentes en el agua residual (p. 47).

En alusión a la temperatura, se mostraron rangos superiores de entre 15°C a 30°C. Siendo el más elevado por Santos et al., (2018) con 30°C; seguido de Geraldino et al., (2020) con 27.5°C; Sazoa et al., (2019) con 22°C; Silva et al., (2020) con 20°C; Louhichi et al., (2022) *con 20.22 C°; Sourour y Mahmoud (2021) con 19.9°C y Vargas et al., (2018) con 15°C. Posiblemente, las variaciones de las temperaturas se den por los cambios de estaciones y/o la procedencia del agua residual a tratar. Pues suelen ocurrir limitaciones en los procesos de

oxidación en cuanto a lo mencionado (Ramírez, 2021). De dicho modo, Silva y Bengoa (2018) manifiestan que evidentemente las temperaturas no deben ser superiores a 30°C, porque dificultan el proceso biológico, y más bien, deben de encontrarse por debajo del mismo.

Los valores de la conductividad eléctrica fueron elevados, sea por Hortense et al., (2019) con 4640 mS/cm ; Kuleyin, Gök y Akbal (2021) con 2276 mS/cm; Silva et al., (2020) con 2269 mS/cm; Santos et al., (2018) con 1608 mS/cm; Geraldino et al., (2020) con 1366 mS/cm; Bilicia et al., (2022) con 23 mS/cm; Salazar et al., (2019) con 9.27 mS/cm; Louhichi et al., (2022) con 8.6 mS/cm; Sourour y Mahmoud (2021) con 4.8 mS/cm; Gilpivas et al., (2018) con 4.5 mS/cm; Tanveer et al., 2022 con 3.51 mS, Rocha et al., (2021) con 3.275 mS/cm; Pinto et al., (2022) con 3.12 mS/cm. Los valores bajos lo obtuvieron Vargas et al., (2018) con 0.0052 mS/cm; Santos et al., (2020) con 13,5 cm⁻¹; Sazoa et al., (2019) con 8,75 cm⁻¹ y Soares et al., (2017) con 4.5 cm⁻¹. Quizás al tener una mayor conductividad eléctrica implica un alto contenido de iones tales como; sodio, hierro, entre otros; de los cuales en su mayoría se encuentran presentes en los productos químicos empleados en los procesos de descruce y blanqueo textil (Harsh et al., 2019). Asimismo, estos valores no pueden superar los 3000 µS/cm o a 3 mS/cm puesto que, dificulta el proceso biológico como tratamiento convencional (Silva y Bengoa; 2018).

Con respecto al DQO y DBO₅ estas variaron entre 65 mg/L a 7375 mg/L y 0.35 mg/L a 2965 mg/L, respectivamente. De acuerdo al estudio las mayores cantidades evidenciadas para el DQO lo obtuvieron por Vargas et al., (2018) con 7375 mg/L ; Azerrad y Kurzbaum (2021) con 2587 mg/L O₂; Rocha et al., (2021) con 1771 mg/L; Salazar et al., (2019) con 1762.89 mg/L; Buthiyappan y Abdu (2019) con 1600 mg/L; Soares et al., (2017) con 1450 mg/L y Bilicia et al., (2022) con 1240 mg/L pues esto, se debe a que el grado de contaminación es alta. Mientras que, para Harsh et al., (2022) los

valores fueron intermedios con 835.0 mg/L ; Louhichi et al., (2022) con 712.8 mg/L; Tanveer et al., 2022 con 680 mg/L; Geraldino et al., (2020) con 655.8 mg/L ; Kaur, Kushwaha y Kumar (2017) con 544 mg/L; De Zouza et al., (2021) con 475.1 mg/L; Gilpivas et al., (2018) con 420 mg/L; Sazoa et al., (2019) con 267 mg/L ; Sourour y Mahmoud (2021) con 239.9 mg/L y Silvia et al., (2021) con 131.99 mg/L Finalmente, entre los valores más bajos están 65 mg/L por Silva et al., (2020) y 78 mg/L por Santos et al., (2018). De acuerdo a Vargas et al., (2018) el DQO en proporciones elevadas alteran la degradación fotocatalítica debido al alto contenido orgánico e intenso color por los colorantes textiles, los cuales; impiden el paso de la luz ultravioleta, perjudicando la generación de pares de electrones (huecos); además fomenta la pérdida de la producción de especies reactivas de O₂. Asimismo, lo refieren Harsh et al., (2022) que, la concentración de DQO puede ocasionar la mortandad de especies acuáticas, debido a la reducción del oxígeno disuelto en el agua (Harsh et al., 2022).

En el rango de 0.35 mg/L a 2965 mg/L del DBO₅ ; los valores más bajos fueron por Louhichi et al., (2022) con 0.35 mg/L quizás porque fue sometido a un pretratamiento biológico antes de la caracterización. Seguido por Sourour y Mahmoud (2021) con 6.4 mg/L que de la misma manera fue sometido a coagulación (Al₂(SO₄)₃). Algo similar ocurrió con Silva et al., (2020) que presenció valores por debajo de los límites establecidos. En cuanto a los valores altos; Vargas et al., (2018) evidenciaron 2965 mg/L de DBO₅ en comparación de los valores de DQO se estima que, el agua residual se encontraba con grandes cantidades de compuestos orgánicos. Entre los valores intermedios fueron Soares et al., (2017) con 440 mg/L de DBO₅; Hortense et al., (2019) con 289 mg/L; Kaur, Kushwaha y Kumar (2017) con 200 mg/L; Geraldino et al., (2020) con 158.0 mg/L; Harsh et al., (2022) con 141.0 mg/L; Silvia et al., (2021) con 55 mg/L; Santos et al., (2020) con 37,14 mg/L; Gilpivas et al., (2018) con 36.5 mg/L y Silvia et al., (2021) con 55 mg/L de DBO₅. Respecto a la biodegradabilidad entre DBO₅ y DQO resulta ser muy difícil cuando la

concentración y complejidad química de los colorantes textiles y productos químicos en general son muy persistentes. Pues esto dependerá al tipo de colorante y la cantidad del mismo que se desee degradar (Vargas et al., 2018) Aunque, si el promedio entre DBO₅ y DQO es menor a 3, estas indican que pueden ser oxidadas mediante los procesos de oxidación avanzadas (Harsh et al., 2022).

Por último, en referencia del SST se evidenciaron valores de entre 3.6 a 3570 mg/L. El valor más alto lo obtuvieron, Hortense et al., (2019) con 3570 mg/L, tal vez por su elevada cantidad de material suspendido en el agua residual textil (Kaur, Kushwaha y Kumar, 2017). En el caso de Gilpavas et al., (2018) obtuvieron 1341 mg/L de SST; Tanveer et al., 2022 con 360 mg/L; Soares et al., (2017) con 98 mg/L y Silva et al., (2020) con 3.6 mg/L.

4.2.2. Condiciones Óptimas del proceso de oxidación aplicado en las aguas residuales de procedencia textiles.

En la **tabla 09** se observa las condiciones estables para cada proceso, en las cuales; se consideraron los siguientes criterios: temperatura, pH, tiempo de reacción, dosificaciones sean para los agentes oxidantes, catalizadores u otros compuestos y lámparas UV (de ser necesarias).

Tabla 09. Condiciones óptimas del proceso de oxidación aplicado.

Referencias	POAS	Condiciones óptimas del proceso					
		T	pH	Tiempo	Dosis	Otros	Lampara UV
Santos et al., (2020)	Foto-Fenton	18 y 20 °C	8.3	105 min	400 mg/L de H ₂ O ₂ 0,1 mol. L ⁻¹ de Fe ²⁺	2 g de perlas de quisanos.	---
Sazoa et al., (2019)	Oxidación Electroquímica (Electro-Fenton)	30°C	8.75	60 min	0.2 mM de H ₂ O ₂	Coagulantes: H ₂ y O ₂ Diamante de dopado de boro (BDD) como ánodo	No aplica
Silva et al. (2021)	Foto-Fenton	28 a 30°C	7.86	120 min	1.0 mM de H ₂ O ₂	Se empleó AmGO a 6 mg/L	UV-A
Soares et al., (2017)	UV/ H ₂ O ₂	30°C	8.4	95 min	14.1 mM de H ₂ O ₂	Sulfato de hierro heptahidratato (FeSO ₄).	UV-C a 6 W
	Foto-Fenton	15°, 30° y 45°C	3	---	3mM de H ₂ O ₂ 2mg.L-1 de Fe ²⁺	Sulfato de hierro heptahidratato (FeSO ₄)	UV-C
Kuleyin, Gök y Akbal (2021)	Oxidación Electroquímica (Electro-Fenton)	---	3	30 min	2mM de Fe ²⁺	---	No aplica
Silva et al., (2020)	Foto-Fenton	20°C	2.8	120 min	80 mg/L de H ₂ O ₂ 10 mg/L de Fe ²⁺	Macroalgas marinas tanto pardas (<i>Ascophyllum nodosum</i> , <i>Fucus spiralis</i> , <i>Laminaria hyperborea</i> y <i>Pelvetia canaliculata</i>) como rojas (<i>Gracilaria caudata</i> y <i>Gracilaria cervicornis</i>)	UV-A a 6w
	Oxidación Electroquímica (Foto Electro-Fenton)	20°C	2.8	>40 min	250 mg/L de H ₂ O ₂ 10 mg/L de Fe ²⁺		
	Fenton	20- 26°C	2.8	45 min	250 mg/L de H ₂ O ₂ 10 mg/L de Fe ²⁺	No aplica	
	Oxidación Electroquímica	20- 26°C	2.8	40 min	250 mg/L de H ₂ O ₂	No aplica	

	(Electro-Fenton)				10 mg/L de Fe ²⁺		
Tanveer et al., 2022	Ozonización		7.1	60 min	50 mg/L de O ₃		No aplica
	Fenton	25°C	8.85	60 min	170 mg/L de H ₂ O ₂ 50 mg/L de FeSO ₄ ·7H ₂ O	Coagulantes: OH y H ₂	No aplica
	Foto-Fenton		8.12	45 min	170 mg/L de H ₂ O ₂ 50 mg/L de FeSO ₄ ·7H ₂ O		UV a 72W
Rocha et al., (2021)	Foto-Fenton	25°C	8	30 min	1: 1.3 molar de H ₂ O ₂ 1: 1.4 molar de Fe: H ₂ O ₂	Membranas: Nanofiltración (NF) y Macrofiltración (MF)	UV a 6W
Salazar et al., (2019)	Oxidación Electroquímica (FotoElectro-Fenton)	35°C	3	220 min	0.5mM de Fe ²⁺ en NA ₂ SO ₄ 0.5M	Radiación solar de entre 360 a 1120 nm/ Densidad 25 mAcm ²	UV de 30 W m ⁻²
Louhichi et al., (2022)	Oxidación Electroquímica (Electro-Fenton)	25°C	6	280 min	1.78 gdm ⁻³ de Fe	Aspersión con aire. Para la energía solar se emplearon paneles fotovoltaicos: -Potencia(PM): 2W -Corriente: 0,25A -Voltaje: 912 V	---
Finger et al., (2018)	Foto-Fenton	45°C	1,6 y 3 respectivamente	20 min	-9.66 mg/L de Fe ²⁺ y 66,80 mg/L de H ₂ O ₂ para Red 4B -10.34mg/L de Fe ²⁺ y 55.04 mg/L de H ₂ O ₂ para Blue 5G	Absorbancia de 536 nm para Red 4B y 591 nm para Blue 5G	UV-250 W

Santos et al., (2018)	Fotocatálisis heterogénea	35°C	10	330 min	2 g/L de TiO ₂ 0.25 molar de HT/Fe/TiO ₂ 0.5 molar de HT/Fe/TiO ₂ 0.75 molar de HT/Fe/TiO ₂ 1 molar de HT/Fe/TiO ₂	---	UV-125W
Hortense et al., (2019)	Oxidación Electroquímica (Electro-oxidación)	23°C	8	180 min	Ti/TiO ₂ .7Ru0.3O ₂ - DSA	Coagulante: Al ₂ (SO ₄) ₃ : 20 mg/L Floculante: 76.7 mg/L . Aplicación de algas verdes: Raphidocelis Subcapitata. Aplicación de Lactuca Sativa (Lechuga): 20 semillas. DSA a 300 mA	No aplica
Geraldino et al., (2020)	Oxidación Electroquímica (Electro-Fenton)	No especifica	3	180 min	100.0 mg/L de Fe ₃ O ₄ /GO al 15%. 116.0 mg/L de H ₂ O ₂ con respecto al GDE no modificado.	O ₂ , 35 mA cm ⁻² . La adición del rGO a la estructura GDE aumentó la capacidad de generación de H ₂ O ₂ del electrodo a un 83 % .	---
Deshannavar et al., (2018)	Fenton	No especifica	3	60 min	0.0005 mol de Fe ²⁺ para AV49. 0.0005 mol de Fe ²⁺ para AR88. 0.005 mol de H ₂ O ₂ para AV49. 0.006 mol de H ₂ O ₂ para AR88.	---	No aplica
Kaur, Kushwaha y Kumar (2017)	Oxidación Electroquímica (Electro-oxidación)	No especifica	5.49	80 min	---	Corriente E.: 1.66 A Ánodo: Ti/RuO ₂ de 8500 mm ² aproximadamente. Cátodo: Al de 8500 mm ² aproximadamente.	No aplica
Kumar S. y Kumar (2021)	Foto-Fenton	No especifica	3	120 min	10 mg/L de Fe ²⁺ 50 mg/L de H ₂ O ₂	---	UV a 11W
Buthiyappan y Abdu (2019)	Foto-Fenton	No especifica	5.36	60 min	H ₂ O ₂ :DQO=8.87 H ₂ O ₂ :Fe ²⁺ =4.82 14.7 ml de Fe ²⁺ 42.9 ml de H ₂ O ₂	---	UV a 20 W

Medeiros, Rodrigues y Lima (2018)	Fotocatálisis	27.6°C a 30.6°C	5.8	90 min	150 mg/L de ZnO	Radiación solar de entre 936,2 kJ/ m ² hasta 2.863 kJ/m	UV solar
Sourour y Mahmoud (2021)	Oxidación Electroquímica (Electro-oxidación)	---	6.9	2 horas	1.09 mg/L del floculante 5 g/L del Coagulante de Al. 80 mg/L del Coagulante inorgánico, AL ₂ (SO ₄) ₃	Ánodo: acero de 2mm de espesor aproximadamente. Paneles fotovoltaicos con densidad eléctrica de 250, 500 , 750 y 1000 A).	---
Gilpavas et al., (2018)	Fenton	---	3	90 min	1 mM de Fe ²⁺ . 14 mM de H ₂ O ₂ 800 mg/L de Al ₂ (SO ₄) ₃ .	Coagulación química: 800 mg/L de Al ₂ (SO ₄) ₄	---
	Foto-Fenton	---					UV a 6W
Bilicia et al., (2022)	Foto-Fenton	No especifica	3	60 min	50 mg/L de Fe ²⁺ 125 mg/L de H ₂ O ₂	---	---
	Oxidación en agua subcrítica soportados por el proceso Fenton	No especifica					---
	Fenton	25°C					---
Pourgholi et al., (2018)	UV/ H ₂ O ₂	No especifica	4	30 min	10g/L de H ₂ O ₂	---	UV
	UV/ H ₂ O ₂ /O ₃		6		10g/L de H ₂ O ₂		
	UV/O ₃		8		10 g/L de O ₃		
	O ₃ / H ₂ O ₂		10		10g/L de H ₂ O ₂		
Blanco et al., (2018)	Fotocatálisis	28°C	8	12 h	1 000 mg de TiO ₂	Hongos ligninolítico (En el tratamiento secundario): <i>Pleurotus ostreatus</i> y <i>Phanerochaete chrysosporium</i>	UV- Condición de oscuridad
Harsh et al., (2022)	Fotocatálisis	25°C	7	60 min	1.0 g/L de TiO ₂	---	UV-Solar
	Foto- Fenton		3	8 min	0.5 mM de Fe ²⁺ 5,0 mM de H ₂ O ₂		UV- 36W

Solomon, Kiflie y Van (2020)	Fenton	No especifica	2.9	11 días	500.4 mg/L de Fe ²⁺ 5187.6 mg/L de H ₂ O ₂	Reactor Discontinuo Secuencial (SBR)	---
Azerrad y Kurzbaum (2021)	UV-H ₂ O ₂	No especifica	3.5	90 min	100 mg/L de H ₂ O ₂	---	UV-C a 16W
	Fotocatálisis		3.5		0.5 g/L de TiO ₂	---	UV-C
Jorfi et al., (2018)	Fotocatálisis	No especifica	3	30 min	2 g L ⁻¹ de ZnO	Nanocompuestos de Mn, Mo, TiO sintetizado	---
Uribe et al., (2020)	Fenton	No especifica	3.88	90 min	0,0156 g/ml de Fe ²⁺ 0,0251 de H ₂ O ₂	---	UV-visible
Alves et al., (2017)	Fenton	No especifica	3	15 min	5.0x10 ⁻⁴ mol.L ⁻¹ de Fe ²⁺ 1,0x10 ⁻⁴ mol.L ⁻¹ de H ₂ O ₂	Reactor anaeróbico UASB	---
De Souza et al., (2021)	Foto-Fenton	25°C	2.8	120 min	25 mg/L de Fe ²⁺ para UV-LED. 500 mg/L de H ₂ O ₂ para UV-LED. 80 mg/L de Fe ²⁺ para UV-A. 1200 mg/L de H ₂ O ₂ para UV-A. 50 mg/L de Fe ²⁺ para UV-Luz solar. 1400 mg/L de H ₂ O ₂ para UV-Luz solar.	---	- UV- LED a 550 nm - UV-A a 365 nm UV- Luz solar a 852.14Wm ⁻²
Ferrari, Oliveira y Savoia (2019)	Fotocatálisis	No especifica	11.2	240 min	1 g/L de CaTiO ₂	2,07 x 10 ⁻³ (mín.- ¹) Para reducir DQO	---
Yuzer y Selkuk (2021)	Ozonización	No especifica	---	25 min	14 g O ₃ /m ³	Generador de ozono trabajó a 250 mA	---

FUENTE: Elaboración propia.

En cuanto a las condiciones óptimas para el proceso Foto-Fenton se evidenció que, a dosificaciones de entre 55.04 mg/L y 66,80 mg/L de H_2O_2 ; 9.66 mg/L y 10.34mg/L de Fe^{2+} , los cuales, favorecieron la degradación de los colorantes textiles (red 4B y blue 5G, respectivamente) bajo pH ácidos (1,6 y 3) a 45°C, tras irradiación UV de 250 W a 20 minutos de tratamiento (Finger et al., 2018), pues, a inferiores dosis mayor será la generación de radicales de hidroxilo. De dicho modo, para De Zouza et al., (2021) aplicando 500 mg/L, 1200 mg/L y 1400 mg/L de H_2O_2 ; 25 mg/L, 80 mg/L y 50 mg/L de Fe^{2+} bajo UV-LED, UV-A y luz solar (550 nm, 365 nm y 852.14Wm⁻²) respectivamente, a temperatura de 25°C, a pH ácido de 2.8 en 120 min, las reducciones fueron favorables, sobre todo, mediante el empleo de la luz solar, ya que, fue el más eficaz y económico entre todos, pese a sus restricciones como espacios reducidos y en zonas con menores temperaturas (<15°C). En mención de Harsh et al., (2022) las dosis estables fueron de 0.5 mM de Fe^{2+} y 5,0 mM de H_2O_2 en 8 min bajo UV de 36W, a pH 3 y a 25°C, a pesar que, el tiempo de reacción fue menor, este no indica que sea deficiente, sino lo contrario, mediante el mismo se ha demostrado remociones al 100% de contaminantes textiles. Asimismo, para Gilpavas et al., (2018) los cuales, presenciaron excelentes resultados empleando dosis de 1 mM de Fe^{2+} y 14 mM de H_2O_2 con pH igual (3) bajo UV de 6W en tiempo estimado de 90 min, quizás esto se debió al empleo de coagulación química ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) a 800 g/L o a que, el uso del UV tipo A, pues, este contribuye a la liberación rápida de iones de hierro en base de la fotodescarboxilación de los ácidos de carboxílicos de iones ferrosos (Díaz, 2021). En cuanto a Soares et al., (2017) difieren con el anterior caso, ya que, emplean UV tipo C, el cual, ha demostrado ser eficiente dentro del proceso, bajo pH 3 y temperaturas de 15°, 30° y 45°C, empleando dosis 3 mM de H_2O_2 y 2mg/L de Fe^{2+} , posiblemente al aplicar UV-C mejora el proceso en sí, mediante la ruptura homolítica del H_2O_2 por la irradiación del mismo (Páramo, 2015). En tanto Santos et al., (2020) consideraron óptimas las dosis de 400 mg/L de H_2O_2 y 0,1 mol. L⁻¹ de Fe^{2+} , a pH 8.3 bajo temperatura de 18° y 20°C en 105

min, además de la adición de perlas de quisanos (2g). Para Silva et al. (2021) las dosis fueron 1.0 mM de H_2O_2 y 6 mg/L de AmGO bajo UV-A a temperatura de entre 28° a 30°C en 120 min, demostrando remociones mayor del 70% bajo estas condiciones. No obstante, el pH es un factor circunstancial para la efectividad del proceso, puesto que este permite la reducción de la conductividad a periodos largos de exposición (UV). A pesar que, en la mayoría de la bibliografía presente se trabajó con pH ácidos (<3) debido a que permite una mejor solubilidad del Fe^{2+} y fotoactividad de tales; los pH >8 también demostraron ser eficientes en cuanto a las reducciones de contaminantes recalcitrantes (Díaz, 2021).

En cuanto al proceso de Fotocatálisis, Harsh et al., (2022) aplicaron dosis de 1.0 g/L de TiO_2 en 60 min a 25°C y a pH neutro (7), bajo UV solar, está intensidad de la luz debe estar sujeta específicamente para cada proceso. De la misma manera para, Melo, Rocha y Silva (2018) el UV fue solar en radiación de entre 936,2 kJ/ m² hasta 2.863 kJ/m² empleando dosis de 150 mg/L de ZnO en un tiempo de 90 min a temperaturas de entre 27.6° a 30.6°C y a pH de 5.8. Pues el óxido de zinc ha demostrado ser un excelente semiconductor de muy bajo costo, además, se asume que es más efectivo que el TiO_2 ; puesto que, este absorbe más espectro solar. Lo opuesto para Santos et al., (2018) refieren que la adición de compuestos de HT/Fe/ TiO_2 bajo UV visible (125W) es un excelente conductor demostrando remociones superiores al 90%, aplicando dosificaciones óptimas de 2 g/L de TiO_2 e intervalos desde 25 mol, 0.5 mol; 0.75 mol y 1 mol de HT/Fe/ TiO_2 en 330 min, a 35°C y a pH de 10 (básico). Para Bengoa, Silva y Bes (2018) estimaron que el rango del pH óptimo debe estar sujeto a pH básicos o neutro; a su vez, debe trabajarse en diferencia de la carga cero. De igual manera, para Blanco et al., (2018) el porcentaje fue favorable con el 81.7% de remoción sea mediante la dosificación de 1 000 mg TiO_2 y bajo adiciones de hongos ligninolíticos tales como, *Pleurotus ostreatus* y *Phanerochaete chrysosporium*, a condición de UV- oscuro en 12 horas, a 28°C y a pH básico. En cuanto a Ferrari,

Oliveira y Savoia (2019) el porcentaje fue el más bajo con el 45% de eficiencia del proceso, a dosificaciones 1,0 g/L de TiO_2 en 240 min a pH de 11,2. Ante lo mencionado, el TiO_2 es químicamente estable en cuanto a la corrosión fotoquímica y en lo general se encuentra entre los más económicos del mercado en referencia a los semiconductores empleados.

Referente a los porcentajes de UV/ H_2O_2 se estimó un rango de 54.45 a 72% de remoción. Para Azerrad y Kurzbaum (2021) la dosis óptima fue de 100 mg/L de H_2O_2 con una eficiencia de 72% en reacción de 90 min, a pH de 3 y UV de tipo C bajo 16W. Remociones semejantes fue para Soares et al., (2017) con el 71% de eficiencia a los 95 min de reacción, en 30°C mediante dosis de 14.1 mM de H_2O_2 , UV-C a 6 W en pH de 8,4. A diferencia de Pourgholi et al.,(2018); los porcentajes fueron menores, evidenciando tan solo el 59.45% del mismo en dosis de 10g/L de H_2O_2 en 30 minutos, pH de 4 y UV-visible. En el caso del UV/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ y UV/ O_3 , los rangos de remoción variaron entre 85%, 80.6% y 71%, respectivamente. Pues debido a sus dosificaciones de 10g/L de H_2O_2 y 10 g/L de O_3 para el UV/ $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$ tras 30 minutos de tratamiento y a pH 6. Demostrando que las radiaciones de tipo C son muy comunes dentro de los procesos fotoquímicos. En cuanto al UV/ O_3 se trabajó a pH 8 y a dosis de 10 g/L en 30 minutos(Pourgholi et al., 2018). Posiblemente los resultados del UV/ O_3 se debió a las dosificaciones empleadas y al efecto agregativo de los hidroxilos de hidrógeno.

A pesar que, los procesos no fotoquímicos fueron los menos empleados, los porcentajes de efectividad sometidas a condiciones óptimas fueron beneficiosos. Así como lo manifiesta el proceso Fenton con remociones desde el 46.3% al 100%. Sea el caso Alves et al., (2017) que evidenciaron el mayor porcentaje de 100% a dosificaciones de -5.0×10^{-4} mol.L⁻¹ de Fe^{2+} y $1,0 \times 10^{-4}$ mol.L⁻¹ de H_2O_2 a 15 min y a un pH de 3. Quizás el porcentaje fue alto debido a que se empleó reactor anaeróbico UASB. Para Gilpavas et al., (2018)

el resultado fue también elevado empleando dosis de 1 mM de Fe^{2+} , 14 mM de H_2O_2 y 800 mg/L de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a un pH de 3, UV de tipo A a 6W en 90 minutos. Probablemente el porcentaje fue igual de alto por el efecto del método de coagulación química y ultrasonido (US), a baja frecuencia, lo cual se ha demostrado que, el US es un conductor acústico para el proceso de oxidación. Y de acuerdo a Bengoa, Silva y Bes (2018) refieren que para que el Proceso Fenton sea efectivo, el pH idóneo para el proceso de oxidación debe estar sujeto a pH ácido, sea entre 2,5 a 2,8. Todo lo opuesto para Silva et al., (2020) que obtuvieron un porcentaje del 50%, seguramente por el empleo de macroalgas marinas en el proceso de Fenton. Sus dosificaciones fueron de 10 mg/L de Fe^{2+} y 250 mg/L de H_2O_2 en tiempo de 45 min a pH de 2.8 y a temperaturas de entre 20° y 26°C. De la misma manera para Tanveer et al., (2022) que evidenciaron porcentajes por debajo del 50% de porcentaje, siendo el menos eficiente en toda la bibliografía presente. Oportunamente se aplicaron dosis de 50 mg/L de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y 170 mg/L de H_2O_2 , en pH de 8.85 y a temperatura de 25°C. Quizás el porcentaje dado sea por la acoplamiento del método de electrocoagulación, además de evidenciar pH cercanos al básico.

Para la Ozonización (O_3) los porcentajes de remociones estuvieron sujetos entre el 70.48% y 94%. Siendo para Yuser y Selkuk (2021) el 94% mediante dosis de 14g O_3/m^3 en 25 min, quizás, el resultado fue favorable debido a que el generador de ozono estuvo bajo 250 mA. Por el lado de Tanveer et al., (2022) obtuvieron un porcentaje menor pero no menos importante del 70.48% mediante dosis de 50 mg/L de O_3 en 60 min, dichos porcentajes quizás se atribuyeron por la implementación del método de electrocoagulación (OH y H_2) a 25°C y con pH de 7.1.

En cuanto a la Oxidación electroquímica mediante el método de Electro- oxidación, Sourour y Mahmoud (2021); mostraron un porcentaje positivo del 95.32% aplicando dosis de 80 mg/L de

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, 5g/L de coagulantes y 1.09 mg/L de floculantes a 2 horas de tratamiento con pH de 6.9. Además, se empleó ánodo de 2 mm con densidad de 250, 500, 750 y 1000 A. Del mismo modo para Hortense et al., (2019) los cuales, emplearon coagulación a dosis de 76.7 mg. L-1 y 20 mg. L-1 de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ en un tiempo de 180 min a pH de 8 y a temperatura de 23°C. El resultado de eficiencia fue del 87.3% quizás porque emplearon al $\text{Ti}/\text{TiO}_2/\text{RuO}_2/\text{DSA}$ a 300 mA como ánodo o tal vez por la adición de algas verdes (*Raphidocelis Subcapitata*) y/o a la Lactuca sativa (20 semillas). En cuanto al método Electro-Fenton las eficiencias fueron en torno al 80 y 97% de remoción. Siendo para Louhichi et al., (2022) el mayor porcentaje con el 97% mediante dosis de 1.78 gdm^{-3} de Fe en 280 min de tratamiento, a 25°C y bajo pH de 6, quizás el resultado fue mayor por la implementación de la electrocoagulación con aspersion sea con y sin aire, bajo paneles fotovoltaicos a potencia de 2W, corriente de 0,25A y 912 V. Para Sazoa et al., (2019) el resultado fue igual que el anterior aplicando dosis de 0.2 mM de Fe^{2+} en 60 min a pH 8.75 y bajo 30°C, en este caso se emplearon coagulantes (H_2 y O_2) y diamante dopado de boro (DDB) como ánodo. Lo contrario con Kuleyin, Gök y Akbal, (2021) que evidenciaron un porcentaje menor al 80% de eficiencia mediante dosis de 2 mM de Fe^{2+} a pH ácido de 3 y en un tiempo de 30 minutos. Asimismo, el método Foto Electro-Fenton demostró porcentajes favorables en cuanto a la eficiencia del mismo. Dicho esto, Salazar et al., (2019) evidenciaron el mayor porcentaje con el 90% de remoción aplicando dosis de 0.5mM de Fe^{2+} en Na_2SO_4 0.5 M, pH 3, a temperatura 35°C e irradiación solar entre 360 a 1120 nm de radiación y 25 Acm^2 de densidad. Para Silva et al., (2020) el porcentaje fue del 53.3% mediante dosificaciones de 10 mg/L de Fe^{2+} y 250 mg /L de H_2O_2 a irradiación UV de tipo A , a 20°C y a pH de 2.8. En cuanto al tiempo de reacción se efectuó a los 40 min de tratamiento. Adicionalmente, se añadieron macroalgas marinas (pardas y rojas) como método acoplado para la degradación de compuestos orgánicos, quizás por ello se evidenció un porcentaje menor que el anterior.

Por último, tanto para el O_3/H_2O_2 y la Oxidación en aguas subcríticas, los porcentajes variaron de entre 67.6% y 96.6%, respectivamente. Siendo para Pourgholi et al., (2018); el porcentaje más bajo de eficiencia para O_3/H_2O_2 mediante una dosis de 10g/L de O_3/H_2O_2 a 30 min de tratamiento y pH de 10. Y respecto a Bilicia et al., (2022); la eficiencia fue el más alto con el 96.6% por oxidación en aguas subcríticas a dosificaciones de 50 mg/L para Fe^{2+} y 125 mg/L de H_2O_2 bajo pH 3 y a 30 min de reacción.

4.3. Descripción de los tipos de colorantes más comunes en las aguas residuales textiles

En cuanto a la **tabla 10** se evidencian 18 artículos originales, en el cual, se consideraron los siguientes criterios; identificación del tipo de colorante, concentración y su nivel de toxicidad del agua residual textil.

Tabla 10. Tipos de colorantes textiles

Tipo de colorante	Colorante Textil	Concentración del colorante textil	Nivel de toxicidad	Biodegradable (%)	Referencias
Reactivo	QR-19 Azul	No especifica	Levemente tóxico	No especifica	Santos et al., (2020)
Azoico	Azul de metileno	No especifica	Moderadamente tóxico	No especifica	Sazoa et al., (2019)
Azoico	Reactive Black 5	100 mg/L	Moderadamente tóxico	---	Silvia et al., (2021)
Disperso	Dianix Blue K-FBL	8 mg/L	Moderadamente tóxico	0%	Soares et al.,(2017)
	Dianix Orange K3G	22 mg/L	Moderadamente tóxico	0%	
Reactivo	Procion Yellow H-EXL gran	5 mg/L	Moderadamente tóxico	0%	
Azoico	Procion Deep Red HEXL gran	15 mg/L	Moderadamente tóxico	1%	
Azoico	Acid Blue 29	233.5 mg/L	Altamente tóxico	0%	Salazar et al., (2019)
Azoico	Azul índigo	480 mg/L	Moderadamente tóxico	---	Rocha et al., (2021)
Reactivo	Red 4B	100 mg/L	Levemente tóxico	---	Finger et al., (2018)
	Blue 5G	50 mg L ⁻¹	Levemente tóxico	---	
Reactivo	Remazol Deep Black	50 mg/L	No Tóxico	<1%	Santos et al., (2018)

Reactivo	Indanthren Direct Black 5589 Coll	50 mg/L	No Tóxico	<1%	
Reactivo	Bezathren Black RI EPS	50 mg/L	No Tóxico	<1%	
Reactivo	Solanthrene Navy Blue RA	50 mg/L	No Tóxico	<1%	
Reactivo	Bezathren Blue RCL EPS	50 mg/L	Moderadamente Tóxico	<1%	
Reactivo	Novacron Navy S-G	50 mg/L	Moderadamente Tóxico	<1%	
Reactivo	Novacron Ruby S-3B	50 mg/L	Moderadamente Tóxico	<1%	
Reactivo	Reactron Turquoise Blue	50 mg/L	Moderadamente Tóxico	<1%	
Reactivo	Remazol Brilliant Blue RN gran	50 mg/L	Moderadamente Tóxico	<1%	
Reactivo	Green dye indanthren C-FFB	100 mg/L	Levemente Tóxico	---	Hortense et al., (2019)
Azoico	Acid Violet 49	100 mg/L	Levemente tóxico	---	Deshannavar et al., (2018)
	Acid Red 88	100 mg/L	Moderadamente tóxico	---	
Azoico	Rojo Congo	100 mg/L	Altamente tóxico	---	Sathishkumar et al., (2019)
Azoico	Rojo Congo	78.62 mg/L	Altamente tóxico	---	Kumar S. y Kumar (2021)
Azoico	Azul de metileno (MB)	15 mg/L	Levemente tóxico	---	

Reactivo	Rojo 198 (RR198)	15 mg/L	Moderadamente tóxico	---	Medeiros, Rodrigues y Lima (2018)
Azoico	Azul de metileno (MB)	50 mg/L	Moderadamente tóxico	---	Bilicia et al., (2022)
Azoico	Reactive Black 5	35.8 mg/L	Moderadamente tóxico	---	Vargas et al., (2018)
Reactivo	Remazol Red	100 mg/L	Levemente tóxico	---	Harsh et al., (2022)
Azoico	Acid Blue 25	10 mg/L	Moderadamente tóxico	---	Azerrad y Kurzbaum (2021)
Ácido	Red N-2RBL	80 mg/L	No especifica	---	Pinto et al., (2022)
Ácido	Yelow N- 3RL	60 mg/L	No especifica	---	
Ácido	Blue N- GL	60 mg/L	No especifica	---	

Fuente: Elaboración Propia.

La **tabla 10** presenta los tipos de colorantes más comunes de los efluentes residuales procedentes de la industria textil. Para ello se evidenciaron 4 tipos de colorantes tales como; reactivos(47.06%), azoicos(38.24%), ácidos(8.82%), y dispersos (5.88%) en toda la bibliografía presente.

En mención a los reactivos, el Red 4B (Finger et al., 2018), manifestó una concentración de 100 mg/L considerándose moderadamente toxica, debido a su persistencia en el agua residual. De forma similar, para los reactivos, Remazol red (Harsh et al., 2022) y el Green dye indanthren C-FFB (Hortense et al., 2019), con concentraciones iguales (100 mg/L) pues, en complementación a lo anterior presentan grandes grupos funcionales y su sistema cromóforo, permite el aumento de su solubilidad en el agua (Azerrad y Kurzbaum, 2021). En tanto, los tintes, blue 5G (Finger et al., 2018), Remazol deep black (Santos et al., 2018), Novacron navy S-G, Novacron ruby S-3B, Reactron turquoise Blue, Remazol brilliant blue RN gran, Indanthren Direct Black 5589 Coll, Bezathren Black RI EPS, Solanthrene Navy Blue RA y Bezathren Blue RCL EPS (Santos et al., 2018) evidenciaron concentraciones medianas de 50 mg/L; considerándose moderadamente tóxico por su nivel de biodegradabilidad <1%, además de sus efectos nocivos en el ecosistema acuático (según tintes originarios). En cambio, para los pigmentos Rojo 198 (Medeiros, Rodrigues y Lima, 2018) Procion yellow H-EXL gran (Soares et al., 2017) se presenciaron valores de entre 5 y 15 mg/L, respectivamente, a pesar que, evidenciaron concentraciones menores, dichos tintes suelen ser moderadamente tóxicos ya sea , porque son altamente recalcitrantes en el agua (<0% de biodegradabilidad) como es el caso del reactivo Orange 16 que, al ser muy complejo en compuestos, suele dificultar su degradación en los tratamientos convencionales (Ma et al., 2014). Presuntamente estos tipos de colorantes son caracterizados por sus intensos colores brillantes y elevada solidez. En cuanto a los colorantes azoicos, pues estos se representan por su

estructura muy compleja y resistente a distintos tratamientos fisicoquímicos (Chatterjee et al., 2020). Además de que están compuestos por metales tales como el Cu, el Pb, el Zn, el Cr y el Co (Khan et al, 2020). En tal sentido, se tiene como tintes azoicos; al azul de metileno (Sazoa et al., 2019; Bilicia et al., 2022; Medeiros, Rodrigues y Lima, 2018 y Vargas et al., 2018), Procion Deep Red HEXL gran (Soares et al.,2017), Acid Blue 29 (Salazar et al., 2019), Acid Violet 49, Acid Red 88 (Deshannavar et al.,2018), Rojo Congo (Sathishkumar et al., 2019 y Kumar S. y Kumar, 2021), Acid Blue 25 (Azerrad y Kurzbaum, 2021) y Reactive Black 5 (Silva et al., 2021 y Vargas et al., 2018). Este último es uno de los más usados en esta industria debido a su estabilidad química. Por consiguiente, el colorante textil Azul índigo (480 mg/L) posee una estructura química muy compleja (moderadamente tóxica); a su vez se prevé que, durante el proceso de teñido en la que se hace partícipe, pierde casi el 15% del mismo, generando así, severos problemas ambientales (Rocha et al., 2021). De dicha manera con el tinte azoico Acid Blue 29 con concentración de 233.5 mg/L. Cabe decir que, para la degradación de este colorante no fue muy fácil de lograr debido a sus compuestos y anillos aromáticos (Salazar et al., 2019). En referencia de los colorantes ácidos tenemos a Red N-2RBL; Yellow N- 3RL y Blue N- GL (Pinto et al., 2022). Por último, entre los dispersos; Dianix Blue K-FBL y Dianix Orange K3G (Soares et al.,2017). Los cuales son caracterizados por ser muy pocos solubles con el agua; sin embargo, suelen ser solubles para distintos solventes tanto orgánicos como para las fibras sintéticas (Marcano, 2018).

V. CONCLUSIONES

- Se concluyó que, los procesos de oxidación avanzadas con mayor empleabilidad en la industria textil son los procesos fotoquímicos; siendo el Foto Fenton y el Fotocatálisis los más destacados de entre todos; debido a su gran capacidad de degradación y efectos sinérgicos para los colorantes y/o tintes textiles (100%) y su remoción del material orgánico (<90%) en el efluente residual. De la misma manera para los procesos no fotoquímicos, en este caso, el que más predominancia tuvo fue el proceso Fenton.
- Las principales condiciones fisicoquímicas para cada proceso fueron diferentes, puesto que, estos dependen del caudal y contaminante que se requiera tratar. Para los procesos Fenton y derivados del mismo, los pH se encontraron entre el rango de 2.8 a 3 (ácidos) y para los procesos de Fotocatálisis, los pH fueron de entre 7 a 12 (básicos y/o neutros). Las dosis óptimas de H₂O₂ fueron > 50 mg/L para la biodegradabilidad del efluente. En función de las dosis ideales para la ozonización fueron >10g/L de O₃, asimismo, las temperaturas estables fueron de entre 25°C a 35 °C. Por último, el UV tipo C y A demostraron ser buenos conductores de irradiación al igual que el fotocatalizador TiO₂, asimismo el UV por luz solar.
- Finalmente, se concluyó que los tipos de colorantes más comunes en las aguas residuales de la industria textil son los reactivos, posteriormente, los pigmentos azoicos. Entre los reactivos tenemos a QR-19 Azul; Procion Yellow H-EXL gran; Red 4B; Remazol Deep Black; Indanthren Direct Black 5589 Coll; Bezathren Black RI EPS; Solanthrene Navy Blue RA; Bezathren Blue RCL EPS; Novacron Navy S-G; Novacron Ruby S-3B; Reactron Turquoise Blue; Remazol Brilliant Blue RN gran; Green dye indanthren C-FFB; Rojo 198 (RR198) y el Remazol Red. En cuanto a los colorantes azoicos, el azul de metileno fue el más

usado en la industria, seguido los colorantes; Reactive Black 5 y Rojo Congo.

VI. RECOMENDACIONES

- Se sugiere realizar una estimación entre los costos de cada proceso de oxidación avanzada en función a volúmenes elevados de aguas contaminadas. Además, se sugiere efectuar un estudio más profundo entre los métodos acoplados, puesto que, se evidenció gran aporte en el desarrollo de los mismos, como es el caso de las macroalgas marinas (*Ascophyllum nodosum*, *Fucus spiralis*, *Laminaria hyperborea* y *Pelvetia canaliculata*, *Gracilaria caudata* y *Gracilaria cervicornis*) y los hongos ligninolíticos (*Pleurotus ostreatus* y *Phanerochaete chrysosporium*). Asimismo, se recomienda el uso de la luz solar en condiciones climáticas $>27^{\circ}\text{C}$ para evitar limitaciones en cuanto a su uso y prolongar una disminución entre los costos de insumos.
- Se recomienda evaluar a profundidad, la influencia de los parámetros fisicoquímicos en los procesos de oxidación avanzada aplicados en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la industria textil. A su vez, estimar a mayor detalle las dosificaciones óptimas para cada proceso (H_2O_2 , O_3 y Fe^{2+}) y el tiempo de reacción, prolongando el estudio a diferentes tipos de efluentes industriales. Además, considerar la comparación y porcentaje de remoción pre y post tratamiento del agua contaminada.
- Se sugiere estudiar otros tipos de colorantes textiles (tina, al azufre, entre otros no previstos en el presente estudio) e identificar sus efectos en la salud humana y persistencia de los mismos en el medio ambiente.

REFERENCIAS

1. SOARES, Petrick [et al.]. Remediation of a synthetic textile wastewater from polyester-cotton dyeing combining biological and photochemical oxidation processes. *Separation and Purification Technology* [en línea]. Febrero del 2017, vol. 172, p. 450-462. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.08.036>
ISSN 13835866.
2. ZAZOU, Hicham [et al.]. Treatment of textile industry wastewater by electrocoagulation coupled with electrochemical advanced oxidation process. *Journal of Water Process Engineering* [en línea]. Abril del 2019, vol. 28, p. 214-221. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.006>.
ISSN 22147144.
3. KULEYIN, Ayşe, GÖK, Ayşem, AKBALFeryal. Treatment of textile industry wastewater by electro-Fenton process using graphite electrodes in batch and continuous mode. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea]. Febrero del 2021, vol. 9, p.1-9. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104782>.
ISSN 22133437.
4. DESHANNAVAR, U.B. [et al.]. Removal of Acid Violet 49 and Acid Red 88 dyes from Aqueous Solutions using Advanced Oxidation Process. *Materials Today: Proceedings* [en línea]. Mayo del 2020, vol. 24, p.1011-1019. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.414>.
ISSN 22147853.

5. SILVA, Laís [et al.]. Integration of Fenton's reaction based processes and cation exchange processes in textile wastewater treatment as a strategy for water reuse. *Journal of Environmental Management* [en línea]. Octubre del 2020, vol.272, p.1-14. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111082>.
ISSN 03014797.

6. DA SILVA, Maryne [et al.]. Photodegradation of Reactive Black 5 and raw textile wastewater by heterogeneous photo-Fenton reaction using amino-Fe₃O₄-functionalized graphene oxide as nanocatalyst. *Environmental Advances* [en línea]. Julio del 2021, vol.4, p.1-14. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100064>.
ISSN 26667657.

7. WANG, Wen-Long [et al.]. Combination of catalytic ozonation by regenerated granular activated carbon (rGAC) and biological activated carbon in the advanced treatment of textile wastewater for reclamation. *Chemosphere* [en línea]. Setiembre del 2019, vol.231, p. 369-377. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.175>.
ISSN 00456535.

8. LIMA, Beatriz [et al.]. Application of heterogeneous photo-fenton process using chitosan beads for textile wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea]. Agosto del 2020, vol.8, p.1-7. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103893>.
ISSN 22133437.

9. TANVEER, Rameesha [et al.]. Comparison of ozonation, Fenton, and photo-Fenton processes for the treatment of textile dye-bath effluents integrated with electrocoagulation. *Journal of Water Process Engineering* [en línea]. Enero del 2022, vol.46, p.1-11. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102547>.
ISSN 22147144.
10. KAUR, Parminder, PRAKASH, Jai y KUMAR, Vikas. Evaluation and disposability study of actual textile wastewater treatment by electro-oxidation method using Ti/RuO₂ anode. *Process Safety and Environmental Protection* [en línea]. Octubre del 2017, vol.111, p.13-22. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.06.004>.
ISSN 09575820.
11. SALAZAR, Ricardo [et al.]. Treatment of industrial textile wastewater by the solar photoelectro-Fenton process: Influence of solar radiation and applied current. *Solar Energy* [en línea]. Setiembre del 2019, vol.190, p.82-91. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.07.072>.
ISSN 0038092X.
12. GERALDINO, Henrique [et al.]. Electrochemical generation of H₂O₂ using gas diffusion electrode improved with rGO intensified with the Fe₃O₄/GO catalyst for degradation of textile wastewater. *Journal of Water Process Engineering* [en línea]. Agosto del 2020, vol.36, p.1-11. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101377>.
ISSN 22147144.

13. HORTENSE, Nádia [et al]. Real textile effluents treatment using coagulation/flocculation followed by electrochemical oxidation process and ecotoxicological assessment. *Chemosphere* [en línea]. Diciembre del 2019, vol.236, p.1-7. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.07.040>.
ISSN 00456535.
14. LOUHICHI, Boulbaba [et al]. Treatment of textile industry effluents by Electro-Coagulation and Electro-Fenton processes using solar energy: A comparative study. *Chemical Engineering Journal* [en línea]. Abril del 2022, vol.427, p.1-9. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131735>.
ISSN 13858947.
15. SANTOS, Gemima [et al]. Heterogeneous photocatalysis using TiO₂ modified with hydrotalcite and iron oxide under UV–visible irradiation for color and toxicity reduction in secondary textile mill effluent. *Journal of Environmental Management* [en línea]. Abril del 2018, vol.211, p.154-163. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.033>.
ISSN 03014797.
16. LEBRON, Yuri [et al]. Integrated photo-Fenton and membrane-based techniques for textile effluent reclamation. *Separation and Purification Technology* [en línea]. Octubre del 2021, vol.272, p.154-163. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85106313030&doi=10.1016%2fj.seppur.2021.118932&partnerID=40&md5=5231ff0c45ad5db9154bed134bdaf8e2>
ISSN 13835866.

17. KUMAR, Shivappa y KUMAR, Sakare. Application of photo Fenton process for treatment of textile Congo-red dye solution. *Materials Today: Proceedings* [en línea]. Agosto del 2020, vol.46, p.5291-5297. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85112678567&doi=10.1016%2fj.matpr.2020.08.650&partnerID=40&md5=d1009457b03ee93e5da06c491a062e73>
ISSN 22147853.
18. FINGER, Leandro [et al]. Discoloration of red 5B and reactive blue 5G dyes in synthetic textile dye effluent by photo-Fenton process. *Eclética Química*. [en línea]. Junio del 2018, vol.43, p.62-69. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.26850/1678-4618eqj.v43.1Sl.2018.p62-69>.
19. BUTHIYAPPAN, A. y ABDUL, Raman. Energy intensified integrated advanced oxidation technology for the treatment of recalcitrant industrial wastewater. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Enero del 2019, vol.206, p.1025-1040. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85056193323&doi=10.1016%2fj.jclepro.2018.09.234&partnerID=40&md5=1bae7e9d7b6bcf4c8f0fc15e7dc0f0d4>
ISSN: 09596526.
20. MODEIROS, María, RODRIGUES, Elisangela y SILVA, Erika. Solar heterogeneous photocatalysis (ZnO/UV) for textile dyes removal. *Environmental Quality Management* [en línea]. Enero del 2018, vol.28, p.65-71. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85055695326&doi=10.1002%2ftqem.21584&partnerID=40&md5=06e050f0b28de24b59b5bc0e3a4e11bc>

ISSN: 10881913.

21. GILPAVAS, Edison [et al]. Treatment of industrial textile wastewater by chemical coagulation coupled with fenton processes intensified by low frequency ultrasound. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* [en línea]. 2018, vol.34, p.157-167. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85041513395&doi=10.20937%2fRICA.2018.34.01.14&partnerID=40&md5=ad6a7e6a1c061717d04d7adfa8d2d8fe>

ISSN: 01884999.

22. 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]. Enero del 2022, vol.85, p.77-89. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85123652700&doi=10.2166%2fwst.2021.501&partnerID=40&md5=f5e0ac94902194fecc4e4baa64363ede>

ISSN: 02731223.

23. POURGHOLI, Mehrangiz [et al]. Removal of Dye and COD from Textile Wastewater Using AOP (UV/O₃, UV/H₂O₂, O₃/H₂O₂ and UV/H₂O₂/O₃). *Journal of Environmental Health and Sustainable Development* [en línea]. 2018, vol.3, p.630-636. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85086889416&doi=10.18502%2fjehsd.v3i4.223&partnerID=40&md5=6ef4cff9df59f4872cfed7d2828859f4>

ISSN: 24766267.

24. BLANCO, Andrea [et al]. A novel textile wastewater treatment using ligninolytic co. -culture and photocatalysis with TiO₂. *Universitas Scientiarum* [en línea]. 2018, vol.23, no.3 p.437-464

[Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en:
<https://doi.org/10.11144/Javeriana.SC23-3.antw>.

ISSN: 01227483.

25. PIPIL, Harsh [et al]. Comparison of TiO₂ catalysis and Fenton's treatment for rapid degradation of Remazol Red Dye in textile industry effluent. *Rendiconti Lincei* [en línea]. 2022, vol.10, p.49-53 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en:

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85122399900&doi=10.1007%2fs12210-021-01040->

<x&partnerID=40&md5=0093371ee75965b3ca9a68577214b63c>

ISSN: 20374631.

26. BOUZNIF, Sourour y BALI, Mahmoud. Coupling of the coagulation/flocculation and the anodic oxidation processes for the treatment of textile wastewater. *Journal of Water Supply : Research and Technology - AQUA* [en línea]. Junio del 2021, vol.70, no.4, p.587-599 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.2166/aqua.2021.166>.

ISSN: 16069935.

27. DA SILVA, Maryne [et al]. Adsorptive and photocatalytic activity of Fe₃O₄-functionalized multilayer graphene oxide in the treatment of industrial textile wastewater. *Environmental Science and Pollution Research International* [en línea]. Mayo del 2021, vol.28, no.19, p. 23684-23698 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10926-6>.

ISSN: 09441344.

28. DESTA, Solomon, ZEBENE, Kiflie y VAN, Hulle. Integration of sequencing batch reactor and homo-catalytic advanced oxidation processes for the treatment of textile wastewater. *Nanotechnology for Environmental Engineering* [en línea]. Abril del 2020, vol.5, no.1

[Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s41204-020-0070-6>.

ISSN: 23656379.

29. YUZER, Burak y SELCUK, Huseyin. Recovery of Biologically Treated Textile Wastewater by Ozonation and Subsequent Bipolar Membrane Electrodialysis Process. *Membranes* [en línea] 2021, vol.11, no.11, p.900. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/membranes11110900>.

30. PINTO, Claudia [et al]. Reuse of Textile Dyeing Wastewater Treated by Electrooxidation. *Water (Switzerland)* [en línea]. Abril del 2022, vol.14, no.1084 [Fecha de consulta: 10 de abril del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85128312682&doi=10.3390%2fw14071084&partnerID=40&md5=e35c0cb33d1c8e8d0a98fa20b996a3c8>

ISSN: 20734441.

31. AZERRAD, Sara y KURZBAUM, Eyal. Chemical Decolorization of Textile Wastewater Via Advanced Oxidation Processes: Case Study of Key Parameters with Acid Blue 25. *Water, Air & Soil Pollution* [en línea]. Febrero del 2021, vol.232, no.2, p.1-14. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11270-021-04997-5>.

32. DE SOUZA, Ziani [et al]. A comparative study of photo-Fenton process assisted by natural sunlight, UV-A, or visible LED light irradiation for degradation of real textile wastewater: factorial designs, kinetics, cost assessment, and phytotoxicity studies. *Environmental Science and Pollution Research* [en línea]. Mayo del 2021, vol.28, p. 23912 - 23928 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible

en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85098798644&doi=10.1007%2fs11356-020-12106-y&partnerID=40&md5=b5a732df850a71bf3f66e3c09b8af905>
ISSN: 09441344.

33. FERRARI, Ana [et al]. CaTiO₃ Perovskite in the Photocatalysis of Textile Wastewater. *Revista Ambiente & Agua- An Interdisciplinary Journal of Applied Science* [en línea]. 2019, vol.14(13), 2336 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92860487014>
ISSN: 1980993X.

34. SANTOS, Emilia [et al]. Anaerobic reactor type uasb conjunction with process fenton to remove color and chemical oxygen demand textile industry of synthetic wastewater. *Engenharia Sanitaria e Ambiental* [en línea]. Abril del 2017, vol.22(2), p.285-292 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85016446390&doi=10.1590%2fS1413-41522016148154&partnerID=40&md5=bdab7a89c5c30e610bf14f8da49c5f1c>
ISSN: 14134152.

35. URIBE, Carmen [et al]. Reúso en procesos de blanqueo textil de los efluentes provenientes de tinturas con colorantes reactivos negros decolorados mediante el método de fenton. *Rev. Soc. Quím. Perú* [en línea]. 2020, vol.86, no.3, pp.300-314. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v86i3.302>.
ISSN: 1810634X.

36. JORFI, S. [et al]. Visible light photocatalytic degradation of azo dye and a real textile wastewater using Mn, Mo, La/TiO₂/ac

nanocomposite. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly* [en línea]. Julio del 2018 , vol.32, p. 215 - 227. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85050376613&doi=10.15255%2fCABEQ.2017.1261&partnerID=40&md5=d4b9498ca60e309cd54e79076b08854e> .
ISSN: 03529568.

37. REZENDE, Victor [et al]. Process development for textile wastewater treatment towards zero liquid discharge: Integrating membrane separation process and advanced oxidation techniques. *Process Safety and Environmental Protection* [en línea]. Enero del 2022 , vol.157, p. 537-546. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.10.037>
ISSN: 09575820.

38. KOTHAI, A. [et al]. Experimental investigation of textile dyeing wastewater treatment using aluminium in electro coagulation process and Fenton's reagent in advanced oxidation process. *Materials Today: Proceedings* [en línea]. 2021, vol.45, p. 1411-1416. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.07.094>.
ISSN: 22147853.

39. KANTHASAMY, Ramesh, BALASUBRAMANIAN, Mythili y RAJAMANICKAM, Mohanraj. Investigating techno-economic feasibility of biologically pretreated textile wastewater treatment by electrochemical oxidation process towards zero sludge concept. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea]. 2021, vol.9(5). [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106289>.
ISSN: 22133437.

40. SILVA, Laís [et al]. Chemical and electrochemical advanced oxidation processes as a polishing step for textile wastewater treatment: A study regarding the discharge into the environment and the reuse in the textile industry. *Journal of Cleaner Production* [en línea]. Octubre del 2018, vol.198, p. 430-442. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.001>.
ISSN: 09596526.
41. BULCA, Özlem [et al]. Performance investigation of the hybrid methods of adsorption or catalytic wet air oxidation subsequent to electrocoagulation in treatment of real textile wastewater and kinetic modelling. *Journal of Water Process Engineering* [en línea]. Abril del 2021, vol.40. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101821>.
ISSN: 22147144.
42. SATHYA, U. [et al] Evaluation of advanced oxidation processes (AOPs) integrated membrane bioreactor (MBR) for the real textile wastewater treatment. *Journal of Environmental Management* [en línea]. Septiembre del 2019, vol.246, pp.768-775 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.039>.
ISSN: 03014797.
43. KHATRI, Jayraj [et al] Advanced oxidation processes based on zero-valent aluminum for treating textile wastewater. *Chemical Engineering Journal* [en línea]. Septiembre del 2018, vol.348, pp.67-73 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.04.074>.
ISSN: 13858947.

44. YABALAK, Erdal [et al] Water recovery from textile bath wastewater using combined subcritical water oxidation and nanofiltration. Journal of Cleaner Production [en línea]. Marzo del 2021, vol.290 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125207>.
ISSN: 09596526.
45. GUO, Ximing [et al] Enhancing visible-light-activity of Ti-based MOFs based on extending the conjugated degree of organic ligands and photocatalytic degradation process and mechanism in real industrial textile wastewaters. Journal of Environmental Chemical Engineering [en línea]. Diciembre del 2021, vol.9(6) [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106428>.
ISSN: 22133437.
46. ZOU, Rusen [et al] Elimination of recalcitrant micropollutants by medium pressure UV-catalyzed bioelectrochemical advanced oxidation process: Influencing factors, transformation pathway and toxicity assessment. Science of The Total Environment [en línea]. Marzo del 2022, vol.828 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154543>.
ISSN: 00489697.
47. JIMENEZ, Silvia [et al] Produced water treatment by advanced oxidation processes. Science of The Total Environment [en línea]. Mayo del 2019, vol.666, p. 12-21 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.128>.
ISSN: 00489697.
48. AYED, Ben [et al] Cationic dye degradation and real textile wastewater treatment by heterogeneous photo-fenton, using a

novel natural catalyst. Catalysts [en línea]. Noviembre del 2021, vol.11(11) [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85118883949&doi=10.3390%2fcatal11111358&partnerID=40&md5=7c471d99ff0f3c415c742dbcb941df0>
ISSN: 20734344.

49. DEMIR, M.E. [et al] Design and analysis of a new system for photoelectrochemical hydrogen production from wastewater. Energy Conversion and Management [en línea]. Noviembre del 2019, vol.199 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85070917279&doi=10.1016%2fj.enconman.2019.111903&partnerID=40&md5=00539c5edfa509b26c49490603187de2>
ISSN: 01968904.

50. CASTRO, Laura y DURÁN, Esteban. Degradación y decoloración de agua contaminada con colorantes textiles mediante procesos de oxidación avanzada. Tecnología en Marcha [en línea]. Junio del 2014, vol.27, p. 40-50 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835431>
ISSN: 03793962

51. KUPPUSAMY, Sathishkumar [et al]. Sequential electrochemical oxidation and bio-treatment of the azo dye congo red and textile effluent. Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology [en línea]. Noviembre del 2019, vol.200. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2019.111655>.
ISSN: 10111344.

52. ASGHAR, Anam [et al]. Low frequency ultrasonic-assisted Fenton oxidation of textile wastewater: process optimization and electrical energy evaluation. *Water and Environment Journal* [en línea]. Noviembre del 2020, vol.34(4), p.523 - 535 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85065162795&doi=10.1111%2fwej.12482&partnerID=40&md5=ec04b31e99178ef83a004dc9d31e12d2>
ISSN: 17476585.
53. OUHAMMOU, M. [et al]. Textile wastewater discoloration by Fenton oxidation process. *Moroccan Journal of Chemistry* [en línea]. 2019, vol.7, p. 516 - 527 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85071844921&partnerID=40&md5=c6035fa5a1c6bfdd108f29f2a9a9e8e9>
ISSN: 2351812X.
54. KLANOVICZ, Natalia [et al]. Advanced Oxidation Processes Applied for Color Removal of Textile Effluent using a Home-made Peroxidase from Rice Bran. *Bioprocess and Biosystems Engineering* [en línea]. 2019, vol.43, p. 261-272 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00449-019-02222-6>
ISSN: 16157591.
55. JORFI S., y GHAEDRAHMAT, Z. [et al]. Evaluating the efficiency of advanced oxidation processes for textile wastewater treatment: Electro-kinetic, sonochemical and persulfate. *Environmental Progress & Sustainable Energy* [en línea]. Abril del 2021, vol.40. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en:

[https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsgao
&AN=edsgcl.654554871&lang=es&site=eds-live](https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsgao&AN=edsgcl.654554871&lang=es&site=eds-live)

ISSN: 19447442.

56. KHELIFI, S. [et al]. Treatment of textile dyeing wastewater using advanced photo-oxidation processes for decolorization and COD reduction. *Desalination & Water Treatment*. [en línea]. Abril del 2021, vol.217, p. 350–357. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022].

Disponible

en:

[https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eih&AN
=149972632&lang=es&site=eds-live](https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eih&AN=149972632&lang=es&site=eds-live)

ISSN: 19443994.

57. CIFUENTES, Leonardo [et al]. Electrochemical oxidation of Lambda-cyhalothrin on PbO₂-Bi electrodes. *Química Nova*. [en línea]. Junio del 2015, vol.38, no.8, p. 1009-1013. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5935/0100-4042.20150107>

58. RADUCAN, Adina [et al]. Oxidative removal of Fast Green FCF and ponceaux 4R dyes by H₂O₂/NaHCO₃, UV and H₂O₂/UV processes: A comparative study. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. [en línea]. 2022, vol.431 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2022.114040>

ISSN: 10106030.

59. HIPÓLITO, Katia [et al]. Reuse of water from real reactive monochromic and trichromic wastewater for new cotton dyes after efficient treatment using H₂O₂ catalyzed by UV light. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. [en línea]. Agosto del 2021, vol.9 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105731>.

ISSN: 22133437.

60. MONGE, Sarai, SILVA, Adrián y BENGGOA, Christophe. Manual técnico sobre procesos de oxidación avanzada aplicados al tratamiento de aguas residuales industriales: PROGRAMA CYTED, 2018, 60 pp.

ISBN: 9788409086375

61. ZARUMA, Pablo [et al]. Textile Industrial Dyes and optimal wastewater effluents treatments : A short review. Revista de la Facultad de Ciencias Químicas. [en línea]. Enero del 2018, vol.19 [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en:

<https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/quimica/articloe/view/2216/1506>

ISSN: 13901869.


62. RAMOS, M.D.[et al]. A review on the treatment of textile industry effluents through Fenton processes. Process Safety and Environmental Protection. [en línea]. Noviembre del 2021, vol.155, p. 366- 386. [Fecha de consulta: 5 de abril del 2022]. Disponible en:

<https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.09.029>.

ISSN: 09575820.

ANEXOS

Anexo 1. Instrumento de recolección de datos.

	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
Título:		
Fuente:	Año de publicación:	Revista:
Tipo de investigación:		Código DOI:
Autor (es):		
Palabras claves:		
Proceso de Oxidación Avanzada:		
Tipo de POA:		
Condiciones fisicoquímicas del agua residual textil:		
Colorante textil:		

Tipo de colorante textil:	
Resultados:	
Conclusión:	

Anexo 2. Base de datos

N°	Base de Datos	Autor(es)	Titulo	POAs	Año	País	DOI
1	SCIENCIEDIRECT	Petrick A. Soares, Renata Souza, Juan Soler, Tânia F.C.V. Silva, Selene M.A. Guelli U. Souza, Rui A.R. Boaventura, Vítor J.P. Vilar	Remediation of a synthetic textile wastewater from polyester-cotton dyeing combining biological and photochemical oxidation processes	UV/H2O2 y Foto-Fenton	2017	Portugal	https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.08.036
2	SCIENCIEDIRECT	Hicham Zazou, Hanane Afanga, Siham Akhouairi, Hassan Ouchtak, Abdelaziz Ait Addi, Rachid Ait Akbour, Ali Assabbane, Jamaâ Douch, Abdellah Elmchaouri, Joëlle Duplay, Amane Jada, Mohamed Hamdani	Treatment of textile industry wastewater by electrocoagulation coupled with electrochemical advanced oxidation process	Oxidación electroquímica (Electro-Fenton)	2019	Marruecos	https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.02.006
3	SCIENCIEDIRECT	Ayşe Kuleyin, Ayşem Gök, Feryal Akbal	Treatment of textile industry wastewater by electro-Fenton process using graphite electrodes in batch and continuous mode	Oxidación electroquímica (Electro-Fenton)	2021	Turquía	https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104782
4	SCIENCIEDIRECT	Laís G.M. Silva, Francisca C. Moreira, Maria Alice P. Cechinel, Luciana P. Mazur, Antônio A. Ulson de Souza, Selene M.A. Guelli U. Souza, Rui A.R. Boaventura, Vítor J.P. Vilar	Integration of Fenton's reaction based processes and cation exchange processes in textile wastewater treatment as a strategy for water reuse	Fenton, Oxidación electroquímicas (Electro-Fenton y Foto Electro-Fenton) y Foto-Fenton	2020	Portugal	https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111082
5	SCIENCIEDIRECT	Maryne Patrícia da Silva, Ana Caroline Alves de Souza, Letícia Emely de Lima Ferreira, Luiz Martins Pereira Neto, Bruna Figueiredo Nascimento, Caroline Maria Bezerra de Araújo, Tiago José Marques Fraga, Maurício Alves da Motta Sobrinho, Marcos Gomes Ghislandi	Photodegradation of Reactive Black 5 and raw textile wastewater by heterogeneous photo-Fenton reaction using amino-Fe3O4-functionalized graphene oxide as nanocatalyst	Foto-Fenton	2021	Brasil	https://doi.org/10.1016/j.envadv.2021.100064
6	SCIENCIEDIRECT	Deshannavar, U.B.; Kumar Singa, Pradeep; Gaonkar, Dattaraj;	Removal of Acid Violet 49 and Acid Red 88 dyes from Aqueous Solutions using Advanced Oxidation Process	Fenton	2018	India	https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.414

		Gayathri, A.; Patil, Aishwarya; Malade, Litesh V					
7	SCIENCIEDIRECT	Wen-Long Wang, Hong-Ying Hu, Xin Liu, Hui-Xiang Shi, Tian-Hui Zhou, Chun Wang, Zheng-Yang Huo, Qian-Yuan Wu	Combination of catalytic ozonation by regenerated granular activated carbon (rGAC) and biological activated carbon in the advanced treatment of textile wastewater for reclamation	Ozonización	2019	China	https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.05.175
8	SCIENCIEDIRECT	Beatriz Lima Santos Kliench Dalari, Cristiane Lisboa Giroletti, Leonardo Dalri-Cecato, Dayane Gonzaga Domingos, Maria Eliza Nagel Hassemer	Application of heterogeneous photo-fenton process using chitosan beads for textile wastewater treatment	Foto-Fenton	2020	Brasil	https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103893
9	SCIENCIEDIRECT	Rameesha Tanveer, Abdullah Yasar, Amt-ul-Bari Tabinda, Amir Ikhlq, Hira Nissar, Abdul-Sattar Nizami	Comparison of ozonation, Fenton, and photo-Fenton processes for the treatment of textile dye-bath effluents integrated with electrocoagulation	Ozonización, Fenton y Foto-Fenton	2022	Pakistán	https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102547
10	SCIENCIEDIRECT	Parminder Kaur, Jai Prakash Kushwaha, Vikas Kumar Sangal	Evaluation and disposability study of actual textile wastewater treatment by electro-oxidation method using Ti/RuO2 anode	Oxidación electroquímica (Electro-oxidación)	2017	India	https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.06.004
11	SCIENCIEDIRECT	Ricardo Salazar, Juan Gallardo-Arriaza, Jorge Vidal, Camilo Rivera-Vera, Carla Toledo-Neira, Miguel A. Sandoval, Lorena Cornejo-Ponce, Abdoulaye Thiam	Treatment of industrial textile wastewater by the solar photoelectro-Fenton process: Influence of solar radiation and applied current	Oxidación electroquímica (Electro- Foto Fenton)	2019	Chile	https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.07.072
12	SCIENCIEDIRECT	Henrique C.L. Geraldino, Thabata K.F.S. Freitas, Daniele D. Manholer, Franciele França, Jean H. Oliveira, Eduardo A. Volnistem, Alan R.F. Lima, Mauro Bertotti, Emerson M. Giroto, Juliana C. Garcia	Electrochemical generation of H2O2 using gas diffusion electrode improved with rGO intensified with the Fe3O4/GO catalyst for degradation of textile wastewater	Oxidación electroquímica (Electro-Fenton)	2020	Brasil	https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101377
13	SCIENCIEDIRECT	Nádia Hortense Torres, Bruno Santos Souza, Luiz Fernando Romanholo Ferreira, Álvaro Silva Lima, Gláucia Nicolau dos Santos, Eliane Bezerra Cavalcanti	Real textile effluents treatment using coagulation/flocculation followed by electrochemical oxidation process and ecotoxicological assessment	Oxidación electroquímica (Electro-oxidación)	2019	Brasil	https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.07.040
14	SCIENCIEDIRECT	Boulbaba Louhichi, Faiçal Gaided, Khaled Mansouri, Mohamed Razak Jeday	Treatment of textile industry effluents by Electro-Coagulation and Electro-Fenton processes using solar energy: A comparative study	Oxidación electroquímica (Electro-Fenton)	2022	Australia	https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131735

							%222021%22%2ct%2c%222020%22%2ct%2c%222019%22%2ct%2c%222018%22%2ct%2c%222017%22%2ct%2b%2c%22ar%22%2ct%2b%2c%22coexactkeywords%2c%22Textile+Industry%22%2ct%2c%22Oxidation%22%2ct%2c%22Wastewater+Treatment%22%2ct%2c%22Advanced+Oxidation+Processes%22%2ct%2c%22Wastewater%22%2ct%2c%22Textiles%22%2ct%2b%2c%22scolang%2c%22English%22%2ct&sl=94&s=TITLE-ABS-KEY%28TYPES+OF+ADVANCED+OXIDATION+TREATMENT+S+FOR+WASTEWATER+FROM+THE+TEXTILE+INDUSTRY%29&relpos=7&citeCnt=6&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1
24	ProQuest	Blanco-Vargas, Andrea; Ramírez-Sierra, Christian Fernando; Marcela Duarte Castañeda; Beltrán-Villarraga, Milena; Medina-Córdoba, Luz Karime; et al..	A novel textile wastewater treatment using ligninolytic co-culture and photocatalysis with TiO ₂	Fotocatálisis	2018	Colombia	https://www.proquest.com/docview/2348251129/C56E54B9A4CB4BEEPQ/1?accountid=37408
25	SCOPUS	Pipil, H., Yadav, S., Chawla, H., Taneja, S., Verma, M., Singla, N., Haritash, A.K	Comparison of TiO ₂ catalysis and Fenton's treatment for rapid degradation of Remazol Red Dye in textile industry effluent	Fotocatálisis Solar y Foto-Fentón	2022	India	https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85122399900&doi=10.1007%2fs12210-021-01040-x&partnerID=40&md5=0093371ee75965b3ca9a68577214b63c
26	ProQuest	Bouznif, Sourour; Bali, Mahmoud.	Coupling of the coagulation/flocculation and the anodic oxidation processes for the treatment of textile wastewater	Oxidación electroquímica (Electro-oxidación)	2021	Túnez	https://www.proquest.com/docview/2548034745/C8EF1FB252E04636PQ/4?accountid=37408
27	ProQuest	da Silva Maryne Patrícia; de Souza Ziani Santana Bandeira; Cavalcanti Jorge Vinicius Fernandes Lima; Fraga Tiago José Marques; da Motta Sobrinho Maurício Alves; et al..	Adsorptive and photocatalytic activity of Fe ₃ O ₄ -functionalized multilayer graphene oxide in the treatment of industrial textile wastewater	Fotocatálisis	2021	Brasil	https://www.proquest.com/docview/2531425712/C8EF1FB252E04636PQ/10?accountid=37408
28	ProQuest	Solomon Desta; Zebene, Kiflie; Van Hulle Stijn.	Integration of sequencing batch reactor and homo-catalytic advanced oxidation processes for the treatment of textile wastewater	Fentón	2020	Etiopía	https://www.proquest.com/docview/2370706380/C8EF1FB252E04636PQ/11?accountid=37408
29	ProQuest	Yuzer, Burak; Selcuk, Huseyin. Membranes; Basel	Recovery of Biologically Treated Textile Wastewater by Ozonation and Subsequent Bipolar Membrane Electrodialysis Process	Ozonización	2021	España	https://www.proquest.com/docview/2602094658/C8EF1FB252E04636PQ/20?accountid=37408

30	SCOPUS	Cláudia Pinto, Annabel Fernandes, Ana Lopes*, Maria João Nunes, Ana Baía, Lurdes Ciríaco and Maria José Pacheco	Reuse of Textile Dyeing Wastewater Treated by Electrooxidation	Oxidación electroquímica (Electro-oxidación)	2022	Portugal	https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85128312682&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=OXIDATION+PROCESSES+IN+TEXTILE+WASTEWATER&nlo=&nlr=&nls=&sid=c16592f728589bee6a5801ea0016b2f7&sot=b&sdt=cl&cluster=scopusbyr%2c%222022%22%2ct%2c%222021%22%2ct%2c%222020%22%2ct%2c%222019%22%2ct%2c%222018%22%2ct%2c%222017%22%2ct%2bbscsubtype%2c%22ar%22%2ct%2bscolang%2c%22English%22%2ct%2c%22Spanish%22%2ct&sl=56&s=TITLE-ABS-KEY%28OXIDATION+PROCESSES+IN+TEXTILE+WASTEWATER%29&relpos=15&citeCnt=0&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1
31	EBSCO HOST	Azerrad, Sara P.,Kurzbaum, Eyal	Chemical Decolorization of Textile Wastewater Via Advanced Oxidation Processes: Case Study of Key Parameters with Acid Blue 25.	UV/H2O2 y Fotocatálisis	2021	Alemania	https://web.p.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=0&sid=6dd795d9-c004-43b6-b94d-bd46abccf4d6%40redis&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=149023600&db=eih
32	SCOPUS	Ziani S. B. de Souza ¹ & Maryne P. Silva ¹ & Tiago J. M. Fraga ¹ & Maurício A. Motta Sobrinho ¹	A comparative study of photo-Fenton process assisted by natural sunlight, UV-A, or visible LED light irradiation for degradation of real textile wastewater: factorial designs, kinetics, cost assessment, and phytotoxicity studies	Foto-Fenton	2021	Brasil	https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85098798644&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=OXIDATION+PROCESSES+IN+TEXTILE+WASTEWATER&nlo=&nlr=&nls=&sid=c16592f728589bee6a5801ea0016b2f7&sot=b&sdt=cl&cluster=scopusbyr%2c%222022%22%2ct%2c%222021%22%2ct%2c%222020%22%2ct%2c%222019%22%2ct%2c%222018%22%2ct%2c%222017%22%2ct%2bbscsubtype%2c%22ar%22%2ct%2bscolang%2c%22English%22%2ct%2c%22Spanish%22%2ct&sl=56&s=TITLE-ABS-KEY%28OXIDATION+PROCESSES+IN+TEXTILE+WASTEWATER%29&relpos=83&citeCnt=3&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1
33	Redalyc	Ana Maria Ferrari ¹ ; Talitha Oliveira.	CaTiO ₃ Perovskite in the Photocatalysis of Textile Wastewater	Fotocatálisis	2019	Brasil	https://www.redalyc.org/journal/928/92860487014/
34	Scielo	Emília Maria Alves SantosAntônia Tatiana Pinheiro do NascimentoThiago Romário Soares PaulinoBruno César Salgado BarrosoCynara Reis Aguiar	Anaerobic reactor type UASB conjunction with process Fenton to remove color and chemical oxygen demand textile industry of synthetic wastewater	Fenton	2017	Brasil	https://www.scielo.br/j/esa/a/y7xhmBPzKqRCPS5n3nj6KDc/?lang=pt
35	Scielo	Uribe Valenzuela, Carmen L et al.	Reúso en procesos de blanqueo textil de los efluentes provenientes de tinturas con colorantes reactivos negros decolorados mediante el método de Fenton	Fenton	2020	Perú	http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2020000300300&lang=es

36	SCOPUS	Jorfi, S. , Mirali, S. , Mostoufi, A. , Ahmadi, M.	Visible light photocatalytic degradation of azo dye and a real textile wastewater using Mn, Mo, La/TiO ₂ /ac nanocomposite	Fotocatálisis	2018	Irán	https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85050376613&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=ADVANCED+OXIDATION+process+in+textile+wastewater&nlo=&nlr=&nls=&sid=30d3b411c4145f48fe4eadaed7489e94&sot=b&sdt=cl&cluster=scopubyr%2c%222022%22%2c%222021%22%2c%2c%222020%22%2c%2c%222019%22%2c%2c%222018%22%2c%2bscosubtype%2c%22ar%22%2c%2bscolang%2c%22English%22%2c%2c%22Spanish%22%2c&sl=63&s=TITLE-ABS-KEY%28ADVANCED+OXIDATION+process+in+textile+wastewater%29&relpos=124&citeCnt=13&searchTerm=&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1
----	--------	--	---	---------------	------	------	---



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SERNAQUE AUCCAHUASI FERNANDO ANTONIO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, asesor de Tesis Completa titulada: "Tipos de Procesos de Oxidación Avanzada para Aguas Residuales Procedentes de la Industria Textil: Una Revisión Sistemática", cuyos autores son TANDAYPAN ZUÑIGA EVELYN KATHERINE, LOAYZA HUACHACA MEDALID, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 8.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis Completa cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 14 de Julio del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SERNAQUE AUCCAHUASI FERNANDO ANTONIO DNI: 07268863 ORCID: 0000-0003-1485-5854	Firmado electrónicamente por: FSERNAQUEA el 14- 07-2022 00:22:41

Código documento Trilce: TRI - 0342630