



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
REMOCIÓN DE DQO Y DBO POR OXIDACIÓN FENTON EN EFLUENTES DE
CURTIEMBRE DE LA EMPRESA IPEPESA, 2022

Línea de investigación:

Tecnología para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autora:

Alcantara Toribio, Rosalina Julia

Asesor:

Vega Ventosilla, Violeta
(ORCID: 0000-0002-7763-6993)

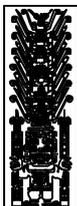
Jurado:

Naupay Vega, Marlit Florinda
Reyna Mandujano, Samuel Carlos
Aguirre Cordero, Rogelio

Lima - Perú

2023





“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

Lima, 16 de febrero del 2023

OFICIO N° 00538-2023-OGGE-FIGAE-UNFV

Señorita

ROSALINA JULIA ALCANTARA TORIBIO

Titulando

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

Asunto: Resultado 2A análisis de similitud

Me dirijo a usted con un cordial saludo a fin de hacerle llegar el resultado del segundo análisis de similitud URKUND correspondiente al trabajo titulado: **“REMOCIÓN DE DQO Y DBO POR OXIDACIÓN FENTON EN EFLUENTES DE CURTIEMBRE DE LA EMPRESA IPEPESA, 2022”**, el mismo que cumple con el porcentaje de similitud permitido (11%), por lo que puede continuar con el trámite correspondiente.

Para verificar su porcentaje de similitud ingrese al siguiente enlace:

<https://secure.arkund.com/old/view/151655624-952632-553630#Dc8xDsJAEPRu2w9QuskmxnnKogCRYBSQJMScXd+4e7Jlr/tfbbtqt5DXWQiM1nIICtJUsQh4YQTTjjhBNouMQUpjCFKUxhCIOYwhRdhTPOOOOMM84444wzzo5U5BQ5Ry6RI3KNzMgKplhiiB1mWGGEDSZYYIB+6mmnnG6qaaaYXvsW7Txen+N57Pfp/mhbv3C2D97WunjwLH9/>

Sin otro particular, quedo de usted.


Ing. CARLOS FERNANDO BALLARDO REYES
Oficina de Grados y Gestión del Egresado



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

“REMOCIÓN DE DQO Y DBO POR OXIDACIÓN FENTON EN
EFLUENTES DECURTIEMBRE DE LA EMPRESA IPEPESA, 2022”

Línea de Investigación:

Tecnología para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autora:

Rosalina Julia Alcantara Toribio

Asesor:

Violeta Vega Ventosilla

Jurado:

.Marlit Florinda Naupay Vega
Samuel Carlos Reyna Mandujano
Rogelio Aguirre Cordero

Lima – Perú

2023

ÍNDICE

RESUMEN.....	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Descripción y formulación del problema	11
1.1.1. Descripción del problema	11
1.1.2. Formulación del Problema	13
1.1.2.1. Problema general.....	13
1.1.2.2. Problemas específicos.	13
1.2. Antecedentes.....	13
1.2.1. Antecedentes internacionales	13
1.2.2. Antecedentes Nacionales	17
1.3. Objetivos.....	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.4. Justificación.....	20
1.5. Hipótesis	22
1.5.1. Hipótesis general.....	22
1.5.2. Hipótesis específicas	22
II. MARCO TEÓRICO.....	23
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación	23
2.1.1. Industria de la curtiembre.....	23
2.1.2. Proceso de elaboración de cuero	24
2.1.2. Agua Residual de Curtiembre	25
2.1.3. Caracterización física y química de los efluentes de curtiembre.	26
2.1.4. Contaminantes de las Aguas residuales de Curtiembre.	26
2.1.5. Parámetros indicadores de contaminación orgánica y biológica.	27
2.1.6. Demanda bioquímica de oxígeno DBO.	28
2.1.7. Demanda química de oxígeno.....	28
2.1.8. Métodos de Tratamiento de Efluentes.....	28
2.1.9. Opciones para el tratamiento de efluentes de curtiembre	30
2.1.10. Procesos de Oxidación Avanzada	30
2.1.11. Peróxido de Hidrógeno	32

	3
2.1.12. Oxidación Química de Fenton	33
2.1.13. Fenton.....	34
2.1.14. Variables de Influencia en el Proceso Fenton	36
2.1.15. Factores que afectan el proceso Fenton	37
2.1.16. Gradiente de Velocidad.....	38
2.1.17. Coagulación.....	39
2.1.18. Floculación.....	39
2.1.19. Método de Jarras	39
2.1.20. Industria Peletera Peruana S.A.....	39
2.1.21. Ubicación Geográfica de la Industria peletera Peruana S.A	40
2.2. Marco Conceptual.....	41
2.2.1. Definición de Términos.....	41
2.3. Marco Legal Ambiental	42
2.3.1. La Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II.....	42
2.3.2. Decreto Legislativo N°635, Código Penal del año 1991	42
2.3.3. Ley General de Salud N° 26842, del año 1997.....	42
III. MÉTODO	45
3.1. Tipo de investigación.....	45
3.2. Ámbito temporal y espacial	45
3.2.1. Ámbito temporal.....	45
3.2.2. Ámbito espacial.....	45
3.3. Variables.....	46
3.3.1. Variable Independiente.....	46
3.3.2. Variable Independiente	46
3.4. Población y muestra.....	48
3.4.1. Población.....	48
3.4.2. Muestra.....	48
3.5. Instrumentos	48
3.5.1. Técnicas.....	48
3.5.2. Instrumentos.....	48
3.5.3. Equipos.....	48
3.6. Procedimientos	49
3.6.1. Monitoreo de campo	49
3.6.2. Caracterización Físicoquímica	50

	4
3.6.3. Determinación final de parámetros fisicoquímicos.....	54
3.7. Análisis de datos.....	54
IV. RESULTADOS.....	55
4.1. Caracterización del Efluente de Curtiembre de la Empresa IPEPESA	55
4.2. Resultados en el Tratamiento de la DQO	56
4.2.1. Concentración de la DQO con tratamiento al 5% de oxidante	56
4.2.2. Concentración de la DQO con tratamiento al 10% de oxidante	58
4.2.3. Concentración de la DQO con tratamiento al 15% de oxidante	60
4.2.4. Concentración de la DQO con tratamiento al 20% de oxidante	62
4.2.5. Concentración de la DQO con tratamiento al 25% de oxidante	64
4.3. Resultados para el tratamiento de la DBO.....	65
4.3.1. Concentración de la DBO con tratamiento al 5% de oxidante.....	66
4.3.2. Concentración de la DBO con tratamiento al 10% de oxidante.....	68
4.3.3. Concentración de la DBO con tratamiento al 15% de oxidante.....	70
4.3.4. Concentración de la DBO con tratamiento al 20% de oxidante.....	72
4.3.5. Concentración de la DBO con tratamiento al 25% de oxidante.....	74
4.3.6. Eficiencias alcanzadas para la Remoción de la DQO Y DBO.....	75
4.3.7. Eficiencias del tratamiento con Peróxido de Hidrógeno para DQO.....	75
4.3.8. Eficiencias porcentuales en el tratamiento con Peróxido para la DBO	80
4.4. Análisis Estadístico	85
4.4.1. Prueba de Normalidad.....	87
4.4.2. Homogeneidad de Varianzas.....	89
4.4.3. Prueba hipótesis DCA	90
4.4.4. Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey).....	91
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	97
VI. CONCLUSIONES	100
VII. RECOMENDACIONES	101
VIII. REFERENCIAS	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características de los diferentes Efluentes del Proceso de Curtiembre	27
Tabla 2 Potencial de Oxidación para diferentes Oxidantes.	31
Tabla 3 Operacionalización de las Variables de Investigación	47
Tabla 4 Resultados de la caracterización del Efluente de Curtiembre.....	55
Tabla 5 Concentraciones promedio de DQO con tratamiento al 5% de oxidante	56
Tabla 6 Concentraciones promedio de DQO con tratamiento al 10% de oxidante	58
Tabla 7 Concentraciones promedio de DQO con tratamiento al 15% de oxidante	60
Tabla 8 Concentraciones promedio de DQO con tratamiento al 20% de oxidante	62
Tabla 9 Concentraciones promedio de DQO con tratamiento al 25% de oxidante	64
Tabla 10 Concentraciones promedio de DBO con tratamiento al 5% de oxidante	66
Tabla 11 Concentraciones promedio de DBO con tratamiento al 10% de oxidante	68
Tabla 12 Concentraciones promedio de DBO con tratamiento al 15 de oxidante.....	70
Tabla 13 Concentraciones promedio de DBO con tratamiento al 20% de oxidante	72
Tabla 14 Concentraciones promedio de DBO con tratamiento al 25% de oxidante	74
Tabla 15 Porcentajes de eficiencias para DQO con tratamiento al 5% de oxidante.....	76
Tabla 16 Porcentajes de Eficiencias para DQO con tratamiento al 10% de oxidante	77
Tabla 17 Eficiencias alcanzadas para DQO con tratamiento al 15% de oxidante	78
Tabla 18 Eficiencias alcanzadas para DQO con tratamiento al 20% de H ₂ O ₂	79
Tabla 19 Porcentaje de eficiencias alcanzadas para DQO con tratamiento al 25% de peróxido	80
Tabla 20 Porcentajes de eficiencias para DBO con tratamiento al 5% de oxidante	81
Tabla 21 Porcentaje de eficiencias para DBO con tratamiento al 10% de oxidante.....	82
Tabla 22 Porcentaje de eficiencias para DBO con tratamiento al 15% de oxidante.....	83
Tabla 23 Porcentaje de eficiencias para DBO con tratamiento al 20% de oxidante.....	84

Tabla 24 Porcentaje de eficiencias para DBO con tratamiento al 25% de oxidante.....	85
Tabla 25 Agrupación de Resultados según Tratamiento aplicado para remoción de DQO y DBO	86
Tabla 26 Prueba Tukey de Aplicación de tratamientos para la disminución de la DQO en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2022	92
Tabla 27 Prueba Tukey de Aplicación de tratamientos para la disminución de la DBO en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2022	93
Tabla 28 Comparación de aplicación de mejor tratamiento aplicado para la remoción de DBO y DQO en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2022.....	95
Tabla 29 Contratación de Hipótesis de Investigación	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Métodos de Tratamiento para Aguas Residuales.	30
Figura 2 Clasificación de los Procesos de Oxidación Avanzada.	32
Figura 3 Tipos de Proceso Fenton	35
Figura 4 Ubicación Geográfica de IPEPESA.	40
Figura 5 Variación de la DQO al 5% con H ₂ O ₂	57
Figura 6 Variación de la DQO al 10% con H ₂ O ₂	59
Figura 7 Variación de la DQO al 15% con H ₂ O ₂	61
Figura 8 Variación de la DQO al 20% con H ₂ O ₂	63
Figura 9 Variación de la DQO al 25% con H ₂ O ₂	65
Figura 10 Variación de la DBO al 5% con H ₂ O ₂	67
Figura 11 Variación de la DBO al 10% con H ₂ O ₂	69
Figura 12 Variación de la DBO al 15% con H ₂ O ₂	71
Figura 13 Variación de la DBO al 20% con H ₂ O ₂	73
Figura 14 Variación de la DBO al 25% con H ₂ O ₂	75
Figura 15 Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de DQO aplicando los tratamientos	87
Figura 16 Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de DBO aplicando los tratamientos	88
Figura 17 Prueba de Igualdad de Varianzas según análisis de Bartlett para la DQO	89
Figura 18 Prueba de Igualdad de Varianzas según análisis de Bartlett para la DBO	90
Figura 19 Presentación de Resultados de la prueba tukey respecto a la remoción de la DQO	92
Figura 20 Presentación de Resultados de la prueba tukey respecto a la remoción de la DBO	94

RESUMEN

Objetivo: Remover la materia orgánica recalcitrante mediante la aplicación del método Fenton. **Método:** El estudio es de diseño experimental de tipo aplicada y se sustentó en la aplicación de la prueba de jarras y el uso del reactivo Fenton a base a Peróxido de Hidrógeno y un catalizador de Sulfato de Hierro, las concentraciones consideradas del oxidante fueron de 5, 10, 15, 20 y 25%, trabajadas en cinco jarras con dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml y tres repeticiones por tratamiento, las variables de operación consideradas para el tratamiento en el floculador programable fueron de un tiempo de 30 minutos, una velocidad de agitación de 250 revoluciones por minuto y un tiempo de sedimentación final de 30 minutos. **Resultados:** En la remoción de la DQO y DBO por Oxidación Fenton del efluente de curtiembre, trabajados al 25% de peróxido de hidrógeno y dosis de 50 ml, alcanzaron valores residuales de 210.14 mg/l y 191.92 mg/l respectivamente, encontrándose estos valores dentro de los LMP- D.S N° 003-2002-PRODUCE. **Conclusión:** La dosis de 50 ml a una concentración del 25% alcanzó la mayor eficiencia con 92.7% para la DQO; y con la dosis de 50 ml a una concentración del 20% se alcanzó una eficiencia máxima del 83.8% para la DBO.

Palabras Clave: Reactivo Fenton, Prueba de jarras, DQO, DBO.

ABSTRACT

Objective: Remove recalcitrant organic matter by applying the Fenton method. **Method:** The study has an applied experimental design and was based on the application of the jar test and the use of the Fenton reagent based on Hydrogen Peroxide and an Iron Sulfate catalyst, the considered concentrations of the oxidant were 5 , 10, 15, 20 and 25%, worked in five jars with doses of 10, 20, 30, 40 and 50 ml and three repetitions per treatment, the operating variables considered for the treatment in the programmable flocculator were a time of 30 minutes, a stirring speed of 250 revolutions per minute and a final sedimentation time of 30 minutes. **Results:** In the removal of COD and BOD by Fenton Oxidation from the tanning effluent, worked at 25% hydrogen peroxide and a dose of 50 ml, they reached residual values of 210.14 mg/l and 191.92 mg/l respectively, these values being within of the LMP- D.S N° 003-2002-PRODUCE. **Conclusion:** The 50 ml dose at a concentration of 25% achieved the highest efficiency with 92.7% for COD; and with the 50 ml dose at a concentration of 20%, a maximum efficiency of 83.8% for BOD was achieved.

Key words: Fenton reagent, jar test, COD, BOD.

I. INTRODUCCIÓN

La constante contaminación de aguas superficiales por efluentes industriales viene aumentando, ocasionando impactos, como: la alteración química de la calidad del agua y pérdida de especies acuáticas. Desde el punto de vista ambiental Ortiz et al (2018) mencionan que las curtiembres vierten volúmenes grandes de contaminantes a los alcantarillados y cuerpos naturales de agua, producto del aprovechamiento de las pieles para la producción del cuero.

Según Agreda y Domínguez (2018) las curtiembres a escala mundial se describen como aquellas que generan gran contaminación, gracias a la composición final de sus efluentes, los cuales poseen grandes cantidades de contaminantes como: DQO, DBO, sólidos, Sulfuros y Cr en solución. En el Perú la contaminación por curtiembre es una de las industrias que, de la forma que aporta calidad y diversidad de cueros, también genera contaminantes a la red de alcantarillado sin tratamiento previo generalmente.

La industria del cuero es una de las más criticadas en el País por los grandes impactos ambientales que ocasionan y sobre todo por los grandes volúmenes de agua que utilizan en cada uno de sus procesos, se considera que se emplea 100 L de agua por Kg de piel salada. Gracias a este proceso se generan efluentes industriales con presencia de distintos componentes como sales inorgánicas, sulfuros, aceites, metales pesados (cromo), proteínas, productos químicos, además de un elevado contenido de carga orgánica (DBO); lo que ocasiona que dichos efluentes difíciles de tratar y ocasionen altos grados de contaminación de agua, suelo, y alteración a la salud. Por tal motivo se necesita tecnologías para el tratamiento de los efluentes, para que estos cumplan con la legislación vigente empleando tratamientos físicos, químicos y biológicos, de forma que la industria del cuero se ejecute de manera responsable y que su producción no genere consecuencias a futuro (Carbonel y Tamayo, 2018).

Una propuesta para llevar a cabo el tratamiento de estos efluentes líquidos es el reactivo

Fenton, un proceso eficiente que logra grandes porcentajes de remoción de contaminantes. El reactivo Fenton ofrece una excelente alternativa para el tratamiento de efluentes con carga orgánica elevada y aunque tiene fama de ser un tratamiento costoso, se ha demostrado que es un sistema eficiente que mejorará la calidad de las aguas residuales, ofrece compatibilidad y versatilidad, con tiempos cortos de tratamiento, seguridad, utiliza equipo convencional y es de fácil automatización y no produce olores desagradables (López, et. al, 2021).

1.1. Descripción y formulación del problema

Desde hace mucho tiempo se sabe que la industria de curtiembre representa uno de los principales ingresos económicos dentro del subsector industria y sector de producción, sin embargo, también puede ser considerada como una de las actividades que más han venido contaminando, asociado a los altos volúmenes de agua y a los diversos agentes químicos que se utilizan en las diferentes etapas del mismo proceso productivo. Los reactivos químicos utilizados generan un elevado impacto contaminante sobre la calidad del agua lo que se traduce en consecuencias negativas para el ambiente en general (Grijalva, Jiménez, & Ponce, 2020).

1.1.1. Descripción del problema

Según información de la Organización de las Naciones Unidas para la Cultura, la Ciencia y la Educación, del porcentaje total de vertidos de agua residual industrial y municipal más del 80% se hacen de forma inadecuada, en el mismo estudio se indica que hay una gran variación entre las distintas naciones debido a la falta de recursos con la que afronta cada región en particular, así tenemos, por ejemplo, que en Europa aproximadamente el 71% del agua residual producida es debidamente tratada mientras, que en Latinoamérica apenas se llega a un aproximado del 20% (UNESCO, 2019).

Cuando las aguas industriales van al sistema de alcantarillado y no cuentan con un tratamiento adecuado por parte de las empresas generadoras, los costes por el tratamiento en

las PTAR municipales se muestran considerablemente muy elevados, (SUNASS, 2022), sin considerar muchas veces los problemas que se pueden suscitar como las obstrucciones de los ductos por la cantidad de material sólido muchas veces en suspensión, sobrecargas y desbordamiento de los depósitos por exceder su capacidad, desgaste y deterioro de las infraestructuras de concreto, (Jaimes & García, 2020). Cabe mencionar, aparte de lo antes indicado el impacto que la industria de curtiembre ocasiona sobre la salud de las personas, mencionar por ejemplo enfermedades de la piel como la dermatitis, la cual se manifiesta tras el contacto con los diferentes reactivos químicos usados en los cueros (Silva & Salinas, 2022).

En la actualidad, se evidencia un creciente interés por una gama de contaminantes cuya manifestación en el ambiente, y sus posibles consecuencias no habían sido considerados, siendo inclusive ignoradas durante mucho tiempo, de los cuales hoy en día, se sabe son conocidos como contaminantes emergentes. De dichas sustancias se sabe muy poco en relación con su manifestación, presencia, impacto y forma de tratamiento, y en la mayoría de los casos son compuestos contaminantes no normados o regulados que en un futuro podrían ser candidatos, dependiendo de las investigaciones desarrolladas sobre sus consecuencias o efectos potenciales en la salud de las personas y el ambiente (Velásquez, 2017). Los contaminantes emergentes están considerados dentro de una amplia gama de sustancias químicas, producto de laboratorios farmacéuticos, de aseo y cuidado personal, agentes tensoactivos, aditivos de industrias y variedades de plásticos, que no están incluidos en la actualidad en los programas de monitoreo para el tratamiento de aguas (Gil, Soto, Usma, & Gutiérrez, 2012).

Nuestro trabajo de investigación se enfocará principalmente en el tratamiento y remoción de la DQO y DBO generados en los efluentes de curtiembre mediante oxidación Fenton. Diversos estudios han demostrado que el Proceso de Oxidación Avanzada por el método Fenton resulta ser factible y eficiente para ser implementado en el tratamiento de aguas residuales a nivel industrial. De manera complementaria al método Fenton, la aplicación de un

tratamiento físico como la sedimentación puede ayudar a incrementar el porcentaje de remoción.

1.1.2. Formulación del Problema

1.1.2.1. Problema general. ¿Cómo es la remoción de DQO y DBO por oxidación Fenton en efluentes de curtiembre de la empresa IPPESA, 2022?

1.1.2.2. Problemas específicos. Se indican en: ¿Cómo están los niveles de los parámetros fisicoquímicos del efluente de curtiembre de la empresa IPEPESA?; ¿Cuánto es la dosis óptima del reactivo Fenton para la remoción de DQO y DBO en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA? y ¿Cómo es la eficiencia del reactivo Fenton para la remoción de DQO y DBO en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes internacionales

Gil et al. (2017) en su estudio: “Coagulation- flocculation sequential with Fenton or Photo-Fenton processes as an alternative for the industrial textile wastewater treatment”, llevaron a cabo un tratamiento del efluente industrial textil mediante una técnica de base química (coagulación- floculación, C-F) secuencial con un proceso de oxidación avanzada (Fenton o Foto- Fenton). Durante la C-F se utilizó $Al_2(SO_4)_3$ como coagulante y se determinó su dosis óptima mediante la prueba del vaso. Así, el C-F permitió eliminar el 98% de la turbidez, el 48% de DQO, y permitió aumentar la relación DBO5/DQO de 0,137 a 0,212. Posteriormente, el efluente C-F fue tratado utilizando cada uno de los procesos de oxidación. Se encontraron las siguientes condiciones óptimas de los procesos Fenton (Fe^{2+}/H_2O_2) y Foto-Fenton ($Fe^{2+}/H_2O_2/UV$): concentración de $Fe^{2+} = 1$ mM, dosis de $H_2O_2 = 2$ ml/l (19,6 mM) y pH = 3. La combinación del pretratamiento C-F con el reactivo Fenton, en condiciones optimizadas, permitió eliminar el 74% de la DQO durante 90 minutos de proceso, además, la relación DBO5/DQO aumentó de 0,212 a 0,68. Estos resultados permitieron demostrar la

mejora de la biodegradabilidad con el tratamiento físico químico a través de los procesos de oxidación.

Sivagami et al. (2018) en su artículo titulado “*Advanced oxidation processes for the treatment of tannery wastewater*”, tuvieron como objetivo tratar efluentes de curtiduría mediante diversos procesos de oxidación avanzada a escala de laboratorio y piloto. Para llevar a cabo este análisis, se realizó un seguimiento periódico de una duración de cinco meses para identificar el desempeño en las diferentes etapas del tratamiento en el CETP. Los resultados mensuales obtenidos fueron que la DBO y la DQO fueron de aproximadamente 0,1 a 0,25, incluyendo un bajo índice de biodegradabilidad pese al tratamiento fisicoquímico. Por esta razón, se llevó a cabo un análisis experimental con procesos de oxidación avanzada para mejorar la biodegradación en el proceso de lodos activados sucesivos y efluentes de tanques de sedimentación secundarios, la eficiencia de eliminación de contaminantes se midió en términos de reducción de DQO y carbono orgánico total. El efecto de purificación obtenido por Procesos de Oxidación Avanzada fue mejor en el proceso de ozonización en comparación con Fenton. Un proceso de tres pasos de (coagulación + aireación + O₃) logró obtener como resultado una reducción del 80-90 % de la DQO.

Ribeiro et al. (2020) en su artículo de investigación: “*Fenton processes for AOX removal from a kraft pulp bleaching industrial wastewater: Optimisation of operating conditions and cost assessment*”, tuvieron como finalidad encontrar las condiciones operativas óptimas para eliminar las emisiones AOX (Adsorbable Organic Halides) del pulpeo de sulfato de aguas residuales por procesos Fenton y foto-Fenton. Para ello, se consideró necesario evaluar el efecto del tratamiento en parámetros distintos a AOX, como DBO₅, DQO y contenido de color. Las muestras fueron obtenidas de una planta industrial de polipropileno almacenadas por una duración menor a un mes. Los resultados obtenidos demostraron que el foto-Fenton tuvo un mejor desempeño que el Fenton con relación a la eliminación de emisiones AOX,

siendo un 90% por $[H_2O_2] = 178 \text{ mM}$ y $[Fe^{2+}] = 1.0 \text{ mM}$ para el primero y 80% por $[H_2O_2] = 169 \text{ mM}$ y $[Fe^{2+}] = 12.5 \text{ mM}$ para el segundo, así como una mayor eliminación del contenido de color y mayor biodegradabilidad de aguas residuales (relación DBO5/DQO). Sin embargo, si bien el proceso de foto-Fenton puede resultar más accesible en términos de costo y demuestra tener mayor eficacia en términos de remoción de emisiones AOX, esto no quiere decir que el proceso Fenton clásico no pueda ser utilizado para tratamientos biológicos.

Testolin, R. et al. (2020) en su estudio: “*Comparison of the mineralization and biodegradation efficiency of the Fenton reaction and Ozone in the treatment of crude petroleum-contaminated water*”, compararon la eficiencia del proceso de Fenton con el proceso de Ozono en la mineralización o cambio en el potencial de biodegradabilidad del agua contaminada por petróleo crudo. En este estudio se realizaron análisis de demanda química de oxígeno (COD), demanda bioquímica de oxígeno (BOD5) y valores de carbono orgánico total (TOC). En relación con el tratamiento Fenton, la eficiencia de remoción de TOC varió de 33 % (1 % H_2O_2 - 1 mM Fe^{2+}) a 75 % (20 % H_2O_2 - 1 mM Fe^{2+}) y resultó en una relación DBO5/DQO de 0,23 ($[H_2O_2] = 1 \%$) o 0,45 ($[H_2O_2] = 10 \%$). Con respecto al proceso de Ozono, se produjo un mayor consumo de Ozono a pH alto, donde la eliminación de TOC alcanzó el 24 % después de 60 min de tratamiento, pero resultó en una relación DBO5/DQO de solo 0,23, lo que representa una pequeña mejora en la biodegradabilidad. Con base en los valores de remoción de TOC o relación DBO5/DQO, esta investigación concluyó que el tratamiento Fenton es más eficiente que el Ozono para mineralizar o aumentar el potencial de biodegradabilidad del agua contaminada con petróleo crudo.

Fitriyanto et al. (2020) presentaron un artículo de investigación denominado: “*Usage of Fenton Reagent in Local Tannery Wastewater Bioremediation*”, el cual tuvo como propósito determinar el efecto del reactivo de Fenton como agente de biorremediación en el tratamiento de aguas residuales de curtiduría de una industria en Bantul, Yogyakarta. El tratamiento

consistió en 4 concentraciones diferentes de la adición del reactivo Fenton P0 como el tratamiento de control, P1 usó 0,2% (0,5 mg $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ + 0,5 mL H_2O_2); P2 al 0,4% (1 mg $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ + 1 mL H_2O_2) y P3 al 0,6% (1,5 mg $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ + 1,5 mL H_2O_2). En esta investigación se observó el contenido de DBO, DQO, ST, cromo total (Cr) y cromo hexavalente (Cr (VI)). Los resultados de este estudio demostraron que la adición del reactivo de Fenton a diferentes concentraciones no tuvo un efecto significativo ($P > 0.05$) sobre el contenido de DBO. Además, la adición de 0,6% en P3 tuvo el mayor efecto al reducir 66,7% DQO, 11,8% de cromo total (Cr) y 11,5% de Cr (VI). Se puede concluir que la adición del reactivo de Fenton hasta el 0,6% de este estudio ha no ha podido cumplir con el estándar de calidad estándar para las aguas residuales de curtiduría; no obstante, fue capaz de reducir los contaminantes inorgánicos, especialmente en Cr (VI).

Favoria et al. (2021) en su estudio: “*Removing BOD, COD, and Decolorization of Batik Cual Wastewater using Fenton Mechanism*”, decidieron evaluar la variación de parámetros en las aguas residuales textiles del Batik Cual mediante el proceso Fenton. El reactivo de Fenton consistió en 1ml de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) con $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, el cual fue mezclado con 100 ml de agua residual. El proceso de oxidación por el método de Fenton se llevó a cabo durante 24 horas y se continuó con la medición de DBO, DQO, el número de compuestos orgánicos de difícil descomposición y la concentración de color del agua residual. El valor de DBO se determinó por la diferencia entre el oxígeno disuelto el primer día de incubación (DO_i) y el oxígeno disuelto después de cinco días de incubación (DO_5). La medición del oxígeno disuelto se llevó a cabo con un medidor de DO, mientras que las mediciones de DQO se llevaron a cabo utilizando el método del reactor de digestión. Los resultados demostraron que la eficiencia del mecanismo de Fenton para eliminar el color de las aguas residuales alcanzó un 97,8%, la eficiencia de la eliminación de DQO fue del 76,3%, la eficiencia de la eliminación de DBO fue el 75,2%, y la eficiencia de degradación de descomposición de la materia orgánica

fue del 76,8%. Asimismo, otro hallazgo fue que, cuando se aplicaban cantidades más altas de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, la efectividad del proceso Fenton incrementa.

1.2.2. Antecedentes Nacionales

Medina et al. (2017) en su artículo de investigación titulado: “Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios”, decidieron realizar un estudio que logre optimizar el proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados en Huancayo, Perú. De esta manera, el proceso experimental comenzó con dos tomas de muestras de los lixiviados, una en época de lluvia y otra en época de estiaje, las muestras fueron tomadas al azar y se homogeneizaron para obtener un *volumen* de 25 litros. Para llevar a cabo la evaluación se establecieron los siguientes parámetros antes y después del tratamiento Fenton: DBO5, DQO, alcalinidad, dureza, pH, conductividad, sólidos totales, turbidez, Pb y Cd. Al aplicar el tratamiento se hizo uso del diseño Box- Behnken para optimizar el mismo, siendo así que los valores óptimos fueron: en época de lluvia (pH=3,19, $\text{FeSO}_4=1645,55$ mg/L y $\text{H}_2\text{O}_2=1096,55$ mg/L) y en época de estiaje (pH=3,26, $\text{FeSO}_4=1788,61$ mg/L y $\text{H}_2\text{O}_2=1180,83$ mg/L). El indicador de biodegradabilidad presentó una variación, siendo 0,568 en época de lluvia y 0,329 en época de estiaje. Cabe resaltar que, si bien el proceso de Fenton logra ser una alternativa eficaz en el tratamiento de lixiviados; obteniendo una disminución de la DQO cercana al 42%, los valores de los parámetros presentan una variación de acuerdo a la temporada, reflejo de ello es que en la época de estiaje todos los parámetros incrementarán con excepción del DBO5.

Rosales (2017) en su tesis denominada: “Reducción del contenido de colorantes en efluentes de la industria textil usando el proceso fenton”, determinó la reducción del contenido de colorantes en efluentes de una industria textil en San Juan de Lurigancho a partir del proceso de Fenton. Para cumplir con el propósito de la investigación se tomaron tres muestras: 12 litros para realizar los parámetros iniciales, 12 litros para realizar pruebas de tratamiento piloto y 30 litros para realizar los tratamientos experimentales. Las mediciones iniciales fueron DQO de

1057 mg/L, turbidez de 60 NTU, pH de 6,28 y conductividad de 5720 uS. Luego, para el tratamiento de los efluentes se utilizaron tres dosis: N°1=0,4 g/l de Fe+2 y 12ml/l de H2O2, N°2=0,26 g/l de Fe+2 y 8ml/l de H2O2, y N°3=0,1 g/l de Fe+2 y 6ml/l de H2O2, cabe resaltar que todas las dosis generaron tendencias decrecientes en los parámetros mencionados anteriormente. Por lo cual, se logra concluir que el proceso fenton es una opción adecuada para el tratamiento de efluentes textiles, logrando un porcentaje alto de remoción de colorantes, turbidez y DQO por encima del 96%.

Medina et al. (2020) en su artículo denominado: “Tratamiento de aguas residuales de camales mediante tecnologías avanzadas de oxidación: proceso fenton”, tuvieron como objetivo mejorar la aplicación del proceso Fenton para degradar las aguas residuales del camal municipal de Chota–Perú. Para ello, los parámetros considerados fueron: DBO5, DQO, alcalinidad, dureza, pH, conductividad, sólidos totales, turbidez, temperatura, potencial óxido-reducción (ORP) y oxígeno disuelto (OD). Es así como, las muestras fueron tomadas al azar en un horario de faena camal para luego ser homogeneizadas y obtener un volumen de 25 litros. Luego de ser depositadas en el laboratorio, se aplicó el proceso de Fenton, en el cual se evaluaron las interacciones de tres variables independientes del proceso: FeSO4, H2O2 y pH de acuerdo con el diseño de experimentos Box–Behnken. Con relación a los resultados obtenidos se demuestra que: la caracterización inicial brindó valores de DQO y DBO por encima de lo establecido por la normativa de aguas residuales, el tiempo de reacción más adecuado para el proceso de Fenton fue de 18 minutos (se logra una remoción significativa del DQO) y una dosificación de 2110,55 mg/L de FeSO4, 1092,67 mg/L de H2O2 y un pH de 3,22 logra una remoción máxima de DQO en 79,9% y una mejoría en la biodegradabilidad d 04 a 0,5. Por lo cual, se concluye que el proceso Fenton logra ser una alternativa eficaz para el tratamiento de aguas residuales.

Yaranga, J (2021) en su tesis denominada: “Eficiencia de la oxidación Fenton y Foto

Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del botadero “El Porvenir”, logró determinar la eficacia de los procesos de oxidación mencionados en la remoción DQO de un botadero en el distrito de El Tambo, Huancayo. Es así que, como parte de la investigación se realizó el estudio de las características de dos muestras de lixiviados; 500 mL para análisis de parámetros fisicoquímicos y de 250 ml para el análisis de DQO, considerando que se utilizó ácido sulfúrico (H_2SO_4) como preservante para la segunda. Con relación al análisis preliminar de la muestra; es decir, sin haber llevado a cabo aún el tratamiento de los lixiviados, se obtuvieron concentraciones de 55818,00 ppm y 9058,00 ppm para la DQO y DBO respectivamente, la remoción de carga orgánica fue evaluada en términos del parámetro de DQO. Para los procesos de tratamiento, tanto de Fenton como de foto-Fenton se reguló el PH a 3 y 4. Es así que, con relación a los resultados obtenidos, se determinó que para un pH de 3 se logró remover 87,71% de DQO en el proceso de foto-Fenton y un 48,77% de DQO en el proceso de Fenton, mientras que para un pH de 4 se logró remover 90,68 % de DQO y un 53,66 % de DQO para el proceso foto-Fenton y Fenton respectivamente. Se concluye que, si bien ambos procesos son eficientes, el proceso de foto-Fenton alcanza elevadas remociones por la radiación ultravioleta, lo cual acelera la mineralización de los compuestos orgánicos.

Marreros y Meléndez (2022) en su tesis: “Análisis de la viabilidad y eficiencia del proceso de oxidación avanzada Fenton aplicado como tratamiento de aguas industriales”, desarrollaron un análisis con relación a la viabilidad y la eficiencia del proceso Fenton aplicado como tratamiento de aguas industriales. Para lograr el objetivo de la investigación se hizo uso de un diseño no experimental de carácter transversal a través de un estudio descriptivo comparativo de un compendio de 30 investigaciones con temática del proceso de oxidación de Fenton. Como resultados se obtuvo que el mayor porcentaje de remoción de DQO (97.16%) logra ser obtenido a través de una dosis de $t=75\text{min}$, $H_2O_2=600\text{mg/l}$, $Fe^{+2}=1000\text{mg/L}$, $T=20^\circ\text{C}$, $pH=2.88$, $DQO/H_2O_2=6.2$, Muestra= 600ml y que el POA de Fenton es eficiente para

efluentes de procesos industriales siempre y cuando sea aplicado en condiciones óptimas. Asimismo, se deben considerar dos situaciones que pueden surgir durante el proceso: el exceso de hierro puede afectar favoreciendo la activación de reacciones secundarias no deseadas; como la formación del precipitado de $\text{Fe}(\text{OH})_3$, y el exceso de H_2O_2 puede dar lugar a su propia degradación debido a la presencia de los radicales hidroxilos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general.

Evaluar la remoción de la DQO y la DBO por Oxidación Fenton en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

Caracterizar los parámetros fisicoquímicos del efluente de curtiembre de la empresa IPEPESA.

Determinar la dosis óptima del reactivo fenton para la remoción de la DQO y DBO en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA.

Determinar la eficiencia del reactivo Fenton para la remoción de la DQO y DBO en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA.

1.4. Justificación

Muchas de las actividades que el hombre realiza traen como consecuencia efectos negativos sobre el ambiente, sobre todo aquellas que desarrollan procesos productivos, generando y dejando muchas veces diversos contaminantes difíciles de ser biodegradados. Las actividades industriales de curtiembre generan compuestos y elementos tóxicos como producto de su procesamiento, de los cuales tenemos al Cromo III y VI, álcalis, ácidos, formación de sulfuros, elevada DQO y DBO entre otros, quedando en muchos casos expuestos al ambiente cuando no son tratados adecuadamente impactando negativamente sobre los diferentes

ecosistemas terrestres, en tal sentido requieren ser tratados para reducir el impacto ambiental. Existe una preocupación por la elevada carga orgánica e inorgánica presente en los efluentes lo cual se traduce en concentraciones importantes de DQO y DBO, los cuales al no ser removidos de manera eficiente pueden llegar a contaminar los diferentes ambientes como lagos, ríos, aguas subterráneas, etc.

Socialmente, la investigación pretende ofrecer una alternativa que nos permita proponer un tratamiento eficiente para la remoción de materia orgánica recalcitrante, de tal manera que no queden expuestos al ambiente, y cuyos efluentes no signifiquen un riesgo para la salud de las personas con posibles intoxicaciones por infiltraciones hacia las aguas subterráneas, lagos y ríos de uso poblacional o de riego.

Los efluentes de curtiembre sin previo tratamiento, por lo general exceden los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la norma del sector producción, en tal sentido se requiere realizar un sistema de tratamiento que asegure cumplimiento de dicha normativa, por lo cual se propone un método de tratamiento efectivo en base al reactivo fenton capaz de degradar los compuestos orgánicos más recalcitrantes expresados como DQO y DBO, y nos permita alcanzar las mayores eficiencias de remoción.

En tal sentido, resulta importante desarrollar métodos de tratamiento de efluentes de curtiembre para la eficaz remoción de la DQO y DBO, que muestran ciertas ventajas comparativas no dejando sustancias residuales en el ambiente con relación a métodos convencionales, y que no aseguran una remoción adecuada e incrementan los costos operativos.

La justificación metodológica, se basa en el desarrollo de un procedimiento tomando en cuenta la prueba de jarras de tipo experimental, donde se aplicarán diferentes dosis del reactivo Fenton, a fin de encontrar las mayores eficiencias de remoción de DQO y DBO.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

La evaluación por procesos de oxidación Fenton permitirá conocer el grado de remoción de la DQO y DBO en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2022.

1.5.2. Hipótesis específicas

Los niveles de los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles en los efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA.

La dosis óptima del reactivo Fenton permitirá remover la DQO y DBO en los efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA.

El reactivo Fenton tiene una elevada eficiencia en la remoción de la DQO y DBO en los efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. *Industria de la curtiembre*

La Industria del curtido de pieles, produce una gran cantidad de efluentes industriales con un elevado contenido de materia orgánica, sólidos, grasas, salinidad y contaminantes como: Cr, sulfuros y amoníaco. Las características y cantidad de estas aguas residuales están en función de las diferentes operaciones y procesos que se emplean en cada categoría de este sector, así como del tipo y de los métodos de conservación de las pieles y de las diferentes sustancias químicas que se emplean en las diversas fases del procesamiento. También hay que considerar el orden en el que se ejecutan las operaciones y el control del proceso productivo.

En primera instancia las pieles son lavadas para eliminar la sal que se adiciono para su conservación y para retirar el material orgánico (sangre y grasa); este proceso contamina por ende las aguas residuales con sal y materia orgánica. Luego las pieles pasan a un tratamiento con cal y sulfuro de sodio en el proceso de pelambre para retirar el pelo en medio básico. No obstante, estas aguas residuales luego de la etapa de lavado denominado desencalado, se mezclan con las aguas de los procesos de piquelado y curtido.

El proceso de curtido conforma la etapa básica para la elaboración de pieles, la selección del tipo de curtido (mineral, vegetal o mixto) está en función al origen de las pieles y a las características que estas adquieren en el proceso. El curtido es el proceso en el cual se estabiliza el colágeno de la piel evitando su degradación gracias a la intervención de microorganismos, a través de agentes curtientes minerales o vegetales, convirtiéndola encuero, siendo la sal de cromo la más empleada. Es así como el curtido químico con Cr es más veloz y se lleva a cabo en un tiempo de 6 a 8 horas, produciendo un efluente con pH bajo al final de la etapa. Estas sustancias son las que generan la presencia del Cr en las aguas industriales.

Para terminar, el cuero se trata con procesos de teñido y acabados para brindarle las propiedades deseadas, logrando una gran contaminación por exceso de colorantes y grasas en las aguas residuales (Inquilla, Calsina, & Velazco, 2017).

2.1.2. *Proceso de elaboración de cuero*

El curtido tiene por finalidad transformar las pieles en productos estables y no putrescibles, denominado cueros. Para la elaboración de un cuero terminado existen 4 etapas:

2.1.2.1. Etapa de Rivera. Se encuentran las siguientes fases: Remojo: Aquí las pieles que entran se tratan con agua y cantidades pequeñas de sustancias inhibidoras con la finalidad de hidratar las proteínas de la piel para de esta manera solubilizar las proteínas naturalizadas. En esta etapa se elimina la sal empleada en la preservación, con lo que se hidrata y abre las fibras contraídas de la piel seca, para eliminar residuos de sal, sangre, excremento y tierra adherida y así preparar la piel para el siguiente tratamiento. Asimismo, el Pelambrado y Encalado: esta etapa tiene por finalidad eliminar de la piel compuestos que no se transforman en cuero, como es el caso de la materia epidérmica superficial incluido el pelo y la capa adiposa subcutánea. Se utiliza sulfuro de sodio. El cual elimina el pelo y la epidermis, la cual es empleada como buffer para mantener el pH aproximado a 13, esto ocasiona que las pieles se hinchen y abran la red fibrosa de colágeno. Favoreciendo la remoción de proteínas no estructurales.

Estos efluentes son muy contaminantes ya que presentan azufre, aminos, subproductos provenientes de la degradación del pelo y epidermis y la elevada concentración de álcalis.

Lavado y Desencalado: las pieles depiladas, descarnadas y alcalinas son neutralizadas (desencaladas) con sales ácidas de amonio y son tratadas con enzimas similares a las presentes en el sistema digestivo, para eliminar los remanentes de pelo y degradar las proteínas.

Desangrado: remueve el exceso de sustancias grasas naturales de las pieles, se realiza

principalmente en pieles de oveja donde el porcentaje de sustancias grasosas sobre el peso bruto es aproximadamente de 30 a 40 %.

2.1.2.2. Etapa de curtido. Incluye el Piquelado: Aumenta la acidez de la piel a un pH 3, originando que los taninos del Cr penetren la piel. Esto se logra empleando soluciones de ácidos: sulfúrico, clorhídrico, fórmicos, lácticos; en presencia de concentraciones óptimas de sales (Cloruro de sodio, sulfato de potasio). Las pieles son tratadas como agente que Desplaza el agua intracelular y la combina con las fibras de colágeno aumentando su resistencia al calor, hidrólisis y la degradación microbiana. El curtido estabiliza el colágeno, los taninos se unen con la proteína de la piel para formar el cuero. Etapa de Recurtido. Son procesos finales donde la piel obtiene un teñido especial con las características deseadas.

2.1.2.3. Etapa de Acabado. Conforman todas las operaciones ya realizadas mejoren la resistencia del color de la piel contra las manchas y abrasiones, de esta manera también incluye el alisamiento y estirado de la piel, secado, acondicionamiento, pulido y planchado.

2.1.2. Agua Residual de Curtiembre

Casi todos los procesos de curtiembre se llevan a cabo en medio acuoso y se calcula que se emplea aproximadamente entre 50 y 100 litros de agua por kg de piel salada.

La composición de las aguas residuales varía según el proceso que se emplee en la curtiembre. Pero se obtienen elementos comunes como los grandes contenidos de materia en suspensión, proteínas, componentes oxidables, productos químicos y sustancias tóxicas, además del color oscuro y el olor desagradable. Los procesos de ribera son los que generan el 80% de carga contaminante total expresada en términos de DBO, debido a la presencia de proteínas y sus productos de degradación, y es responsable también del 60% de los sólidos suspendidos. La presencia de sulfuro en el pelambre y de Cr en curtición generan una toxicidad a las descargas, por lo que deben ser tratados de acuerdo con las características (Inquilla,

Calsina, & Velazco, 2017).

EL proceso de cueros emplea una gran cantidad de agua, la cual es descargada con grandes cantidades de contaminantes: Cr, sulfuros, sales, etc, los cuales son empleados en las diferentes etapas. La mayor parte de contaminación se da en los procesos de pre curtido y recurtido, los cuales ocasionan un incremento de DBO, DQO, TDS, SS, cloruros y sulfatos en los efluentes finales. Las etapas de ribera y curtido contaminan en un 90%, con un pH alcalino y sales entre 15 a 40% (w7w) que se emplean para la preservación de pieles, dichas sales son removidas en el proceso de remojo. En la etapa de pelambre el agua posee un 84% de DBO, 75% de DQO y un 92% de SS, gracias a la utilización de cal y sulfuro de sodio (Agreda y Domínguez, 2018).

2.1.3. Caracterización física y química de los efluentes de curtiembre.

Los principales parámetros considerados para determinar las características físicas y químicas de efluentes de curtiembre son:

2.1.3.1.Físicos. Son: sabor y olor, color, turbidez, temperatura, sólidos (ST.SV, SST y SSV) y C E.

2.1.3.2.Químicos. Son: carga Orgánica: DBO5, DQO, COT; parámetros Inorgánicos: pH, Alcalinidad, Dureza, OD, Nitrógeno (Total, orgánico, amoniacal, nitrito, nitrato), P, Sulfatos, Sulfuros Cloruros) (Méndez, Vidal, Márquez, & E, 2007).

2.1.4. Contaminantes de las Aguas residuales de Curtiembre.

Los componentes de efluentes de curtiembre varían en función a los elementos empleados y su dosificación.

Tabla 1

Características de los diferentes Efluentes del Proceso de Curtiembre

Parámetro	Pelambre	Desencalado	Piquelado	Curtido
pH	11,0— 12,0	11,7 - 11,8	3,6 - 3,7	3,0 — 4,0
DQO [mg O ₂ /L]	12000-18000	1140 - 1 770	3 240 -1 105	7000 -10 000
DBO ₅ [mg O ₂ /L]	1700-6000	350 - 650	1 126 - 370	1900 - 6 000
Cr total [mg/L]	0	0	0	2000 - 6 000
I ₂ [mg/L]	186,00— 659,00	5,00-35,00	0,30- 0,50	0,02-0,03
SO ₄ ²⁻ [mg/L]	156-228	158 -175	2 000 - 9 000	14

Nota. Tomado de “Evaluación para la sustitución de procesos y/o productos químicos para la producción limpia en la industria de curtiembres”. Se puede visualizar que se encuentran los procesos y parámetros que simbolizan a una industria dirigida a curtiembres, por el Ministerio de la Producción (2018), 1.

La etapa de encalado y pelambre genera efluentes con pelos, grasas, proteínas y sulfuros (S⁻), MO, pH básico; en la etapa de Desencalado se origina efluentes que contienen sulfatos (SO₄)⁻²; en la etapa de piquelado se produce la acidificación del efluente, y en las etapas de curtido, debido a la utilización de sulfato de cromo (Cr₂(SO₄)₃), sus aguas son ácidas con altos valores de cromo (Ministerio de la Producción, 2018).

2.1.5. Parámetros indicadores de contaminación orgánica y biológica.

Para las aguas residuales de forma general, la presencia de aceites, grasas, proteínas y otras sustancias orgánicas generan una contaminación expresada como DQO y DBO, y si es alta es perjudicial para el medio receptor.

2.1.5.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Es la cantidad de oxígeno disuelto que es consumido por un agua residual en la oxidación por vía biológica, de la materia biodegradable que se encuentra en dicha agua residual, a ciertas condiciones de ensayo.

2.1.5.2. Demanda química de oxígeno (DQO). Es la cantidad de oxígeno disuelto que es consumido por el agua residual durante la oxidación por vía química, producido por un químico fuertemente oxidante.

2.1.6. Demanda bioquímica de oxígeno DBO.

La DBO es una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica del agua residual. La DBO se determina midiendo el oxígeno consumido por los microorganismos en una muestra de agua durante el período de 5 días a una temperatura constante de 20°C. La DBO es fundamental para calcular la Carga Orgánica que entra en la planta de tratamiento de los sistemas biológicos de tratamiento y en los cuerpos receptores.

2.1.6.1. BDO Total. Indica la cantidad de materia orgánica soluble e insoluble que puede ser degradada por microorganismos.

2.1.6.2. DBO Soluble. Indica la cantidad de materia orgánica presente en forma disuelta. Para calcular la DBO soluble la muestra debe ser pasada por un papel filtro para eliminar la materia orgánica insoluble (Carbonel & Tamayo, 2018)

2.1.7. Demanda química de oxígeno

La DQO expresada en mg/L, es la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación de la materia orgánica e inorgánica que puede ser o no biodegradable presente en un efluente. La DQO indica el grado de contaminación de un desecho y la presencia de sustancias resistentes a la biodegradación. Este método brinda resultados en horas (Aguilar, 2016).

2.1.8. Métodos de Tratamiento de Efluentes.

Para el tratamiento de efluentes existen procesos físicos, químicos y biológicos que pueden ser empleados para remover diversos contaminantes. Cada sistema de tratamiento posee restricciones tecnológicas y económicas. Se ha reportado que el empleo de un solo método de tratamiento no es suficiente para alcanzar la degradación total del contaminante o compuestos que se generan (GilPavas, Dobrosz, & Gómez, 2017).

Por lo cual se debe emplear estrategias para el tratamiento de aguas y aguas residuales,

con la finalidad de contrarrestar estos los problemas ambientales son: el desarrollo de los sistemas de tratamiento apropiados para las aguas contaminadas: subterráneas y superficiales y finalmente el desarrollo de los sistemas apropiados para el tratamiento de efluentes que poseen compuestos tóxicos o no biodegradables. En la actualidad, los procesos y tecnologías disponibles son muy diversos. De manera general, los procesos de tratamientos se clasifican en: preliminares, primarios, secundarios y terciarios (GilPavas, Dobrosz, & Gómez, 2017).

Sin embargo, también tenemos:

2.1.8.1. Tecnologías fisicoquímicas. adsorción, intercambio iónico, coagulación/floculación, electrocoagulación, etc.

2.1.8.2. Tecnologías de oxidación. Oxidación electroquímica, H_2O_2 , O_3 , entre otras.

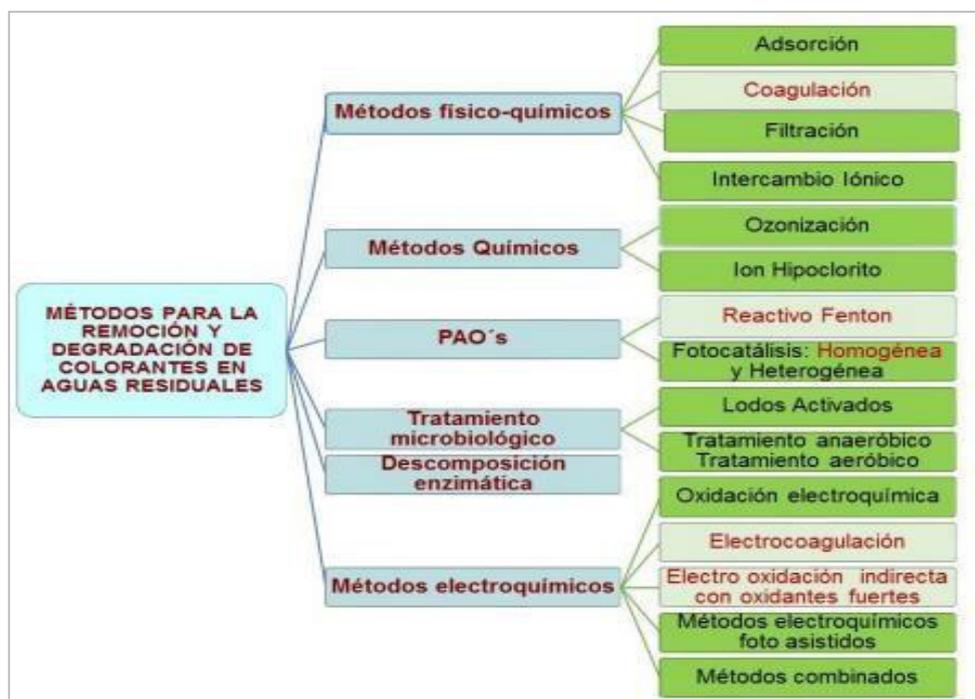
2.1.8.3. Procesos Avanzados de Oxidación (PAO's). H_2O_2/UV , $Fe^{2+}/H_2O_2/UV$, TiO_2/UV , Oxidación Anódica, Sonoquímica etc.

2.1.8.4. Procesos con Membranas. Nanofiltración, ósmosis inversa, etc.

2.1.8.5. Tecnologías biológicas. Procesos de decoloración enzimática, Lodos activados, biorreactores batch etc, (GilPavas, Dobrosz, & Gómez, 2017).

Figura 1

Métodos de Tratamiento para Aguas Residuales.



Nota. Tomado de “Coagulación-floculación secuencial con procesos Fenton o Foto-Fenton como alternativa para el tratamiento de aguas residuales industriales textiles”, en el cual se visualiza todos aquellos métodos que forman parte de la remoción y también la degradación en torno a colorantes a raíz de aguas residuales y fue determinado por GilPavas et al. (2017), *Revista Journal of Environmental Management*, 191.

2.1.9. Opciones para el tratamiento de efluentes de curtiembre

Los efluentes que se obtienen de procesos de curtiembre están caracterizados por presentar una alta carga contaminante, razón por la cual no pueden ser descargados al alcantarillado ni a cuerpos de agua dulce sin previo tratamiento. De acuerdo con los contaminantes presentes y las características propias del efluente, pueden someterse a tratamientos fisicoquímicos, biológicos o una combinación de ellos para mejorar el rendimiento de estos (Arroyo, 2019).

2.1.10. Procesos de Oxidación Avanzada

Los (POA) se han desarrollado como solución de tratamiento de aguas residuales con

una gran estabilidad química o una baja biodegradabilidad, lo cual dificulta su tratamiento por métodos convencionales, en los POA, los compuestos orgánicos pueden ser completamente mineralizados a dióxido de carbono y agua por los radicales hidroxilos (2do agente oxidante más poderoso generados in situ en el ambiente de reacción).

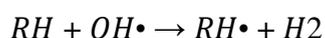
Tabla 2

Potencial de Oxidación para diferentes Oxidantes.

Nombre del oxidante	Potencial de oxidación (eV)
Flúor	3.0
Radical hidroxilo	2.8
Ozono	2.1
Peróxido de hidrógeno	1.8
Permanganato de potasio	1.7
Dióxido de cloro	1.5
Cloro	1.4

Nota. Tomado de “Una escuela en salida. Encuentros educativos en las periferias”, en el que se observa el nombre de cada uno de los oxidantes en función a su nivel potencial de su proceso de oxidación, y fue desarrollado por Arroyo J. (2019), *Revista Razón y Fe*, 280.

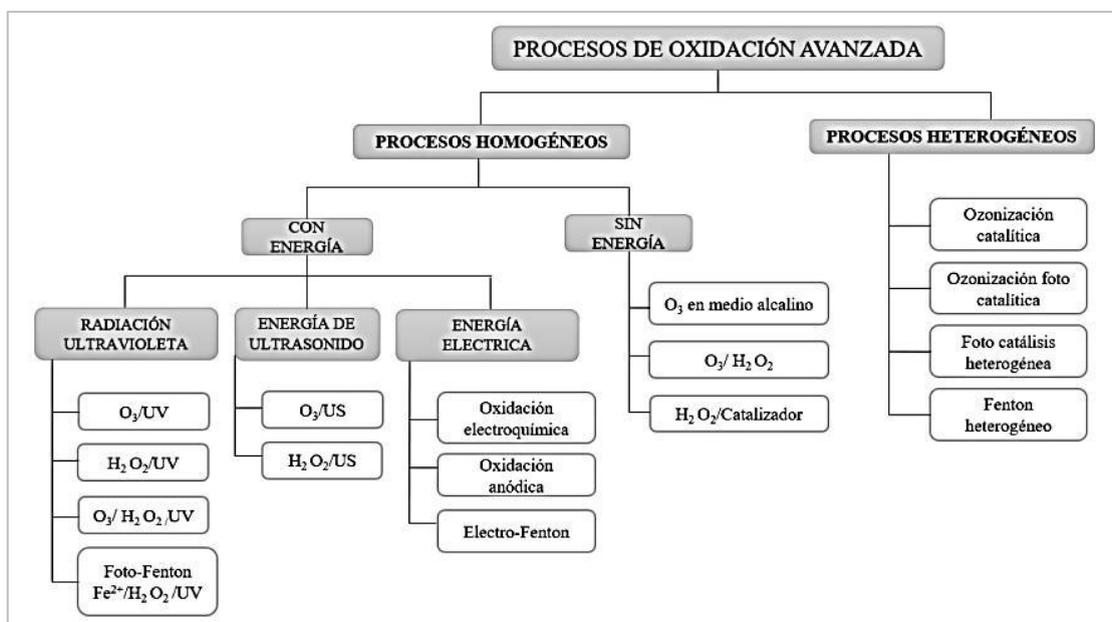
Estos radicales, tienen la finalidad de oxidar compuestos orgánicos por la abstracción de hidrógeno, o por adición electrofílica a dobles enlaces generando radicales orgánicos libres (R•), los cuales reaccionan con moléculas de oxígeno formando un peroxiradical, produciendo reacciones de degradación oxidativa que logran la mineralización del contaminante.



Sabiendo que los POA se basan en la formación del radical hidroxilo, estos procesos se diferencian según el oxidante que da lugar a la generación. Los POA pueden ser clasificados en homogéneos, que pueden incluir el uso o no de energía o heterogéneos, según el uso de diferentes agentes catalizadores (Arroyo J. , 2019).

Figura 2

Clasificación de los Procesos de Oxidación Avanzada.



Nota. Tomado de “Una escuela en salida. Encuentros educativos en las periferias”, en el que se observa cada uno de los procesos involucrados para que pueda ocurrir la oxidación de forma avanzada y se visualizan dos tipos de procesos de forma específica: homogéneos y heterogéneos y fue desarrollado por Arroyo J. (2019), *Revista Razón y Fe*, 280.

Los POA presentan una gran capacidad para remover cargas altas de COT y actuar en matrices complejas de distintos contaminantes gracias a su carácter no selectivo.

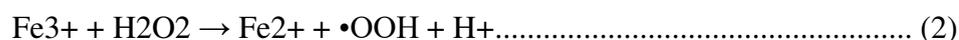
2.1.11. Peróxido de Hidrógeno

El H₂O₂ es un fuerte oxidante que puede degradar cualquier contaminante orgánico y reduce la DQO. Este se presenta como fuente de oxígeno disuelto, el cual es fundamental para prevenir condiciones anaerobias, que dan origen a la formación de sulfuros y facilitan así la oxidación aeróbica. Se emplea el H₂O₂ para tratar efluentes de origen industrial de característica recalcitrante en el agua, ya que este agente oxidante presenta la capacidad de producir radicales hidroxilos lo cual genera una ventaja ante otros agentes oxidantes como el KMnO₄ o ClO₂, de esta forma favorece el rendimiento en la remoción de materia orgánica. Los

radicales hidroxilos se pueden originar en ausencia o no de la radiación, son consideradas especies químicas de mayor energía por lo tanto facilitan la degradación. Para lograr una mayor degradación de contaminantes se necesita ajustar algunos parámetros como: pH, temperatura, volúmenes de dosificación y si se hace necesario la adición de catalizadores. Algunos tipos de agua residual poseen presentan una lenta degradación de los contaminantes, es por eso que se requiere el uso de catalizadores que aceleran la eficiencia de degradación, por eso se recomienda combinar agentes oxidantes con el peróxido, tratamiento híbrido con O₃ y/o UV (García & Rodríguez, 2015).

2.1.12. Oxidación Química de Fenton

Para realizar el proceso de oxidación química se emplean reactivos para la descomposición de compuestos orgánicos peligrosos. El H₂O₂ en la presencia de un catalizador (ej. Fe) genera radical hidroxilo (\bullet OH) los cuales reaccionan con el material orgánico reduciéndolo de acuerdo con el siguiente mecanismo de reacción:

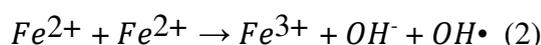


El Fe³⁺ es un reactivo coagulante que se emplea para controlar la remoción de componentes de elevado peso molecular por la adsorción en los flóculos formados de Fe(OH)₃, siempre cuando la muestra se encuentre a un pH neutro. La oxidación con H₂O₂ es realizado a un pH de 3.5 ya que corresponde a la tasa máxima de formación de radicales libres en los

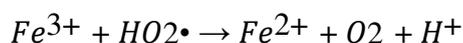
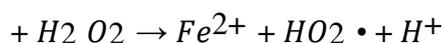
sistemas H₂O₂-Fe²⁺, donde Fe²⁺ (reactivo Fenton) es empleado como catalizador (Lapeyre & Pequeño, 2019).

2.1.13. Fenton

El proceso Fenton reúne las reacciones de peróxido con iones de Fe para formar especies de oxígeno capaces de oxidar compuestos orgánicos e inorgánicos, Fenton determinó que el H₂O₂ podría activarse por sales de Fe (II) para oxidar el ácido tartárico. El (H₂O₂) es un oxidante fuerte que se utiliza en el tratamiento de contaminantes de aguas residuales, como sulfitos, hipocloritos, nitritos, cianuros y cloro. También el H₂O₂ por disociación con agua puede suplir oxígeno para los microorganismos en sistemas de tratamiento biológico; es así como el proceso Fenton se conoce como la producción de radicales hidroxilos en un medio ácido, en una serie de reacciones cíclicas que emplean iones de hierro férrico y ferroso como catalizador para descomponer el H₂O₂. La constante de velocidad para la reacción del ion ferroso con H₂O₂ es elevada, el Fe en condición ferrosa Fe (II) se oxida a férrico Fe (III) en poco tiempo, en presencia de cantidades excesivas de peróxido de hidrógeno.

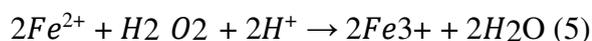


El H₂O₂ se descompone catalíticamente Fe³⁺ por el hierro férrico Fe (III) y produce nuevos radicales



Las reacciones anteriores exponen los estados de oxidación del hierro en ferroso y férrico; como se regenera el Fe (II) y como el H₂O₂ se consume totalmente para la producción de radicales hidroxilos. Una simplificación de la ecuación 2 sugiere la necesidad de la existencia del ion H⁺ (Ecuación 5) para la descomposición del H₂O₂, indicando la necesidad

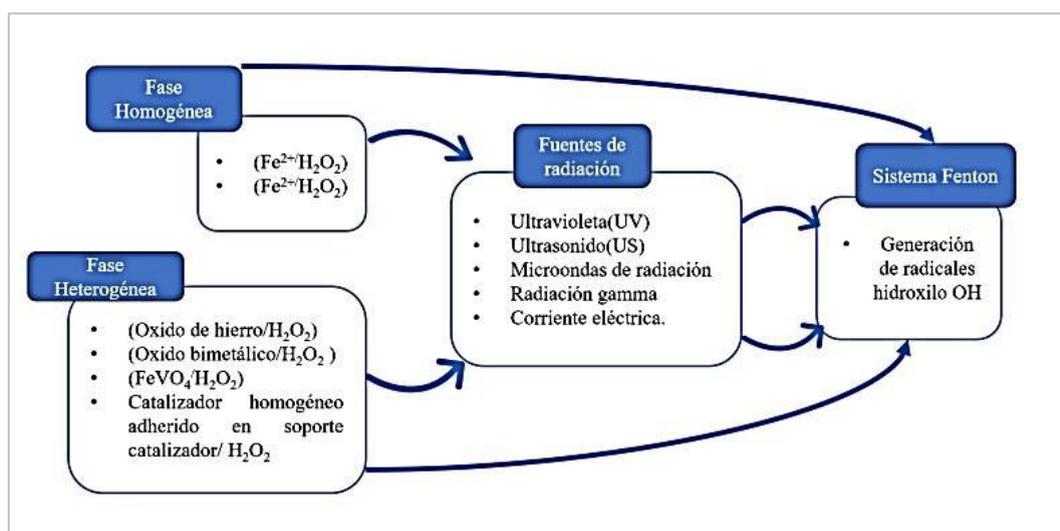
de un medio ácido para la máxima producción de radicales hidroxilos. Investigaciones previas han demostrado que un pH con valores cercanos a 3 es óptimo.



El proceso Fenton puede degradar fenoles, nitrobenzeno y herbicidas en el agua, así como para reducir la DQO en aguas residuales. Utilizar el reactivo Fenton como oxidante resulta atractivo debido a que el hierro es un elemento altamente abundante y no tóxico para el medio ambiente, y el H_2O_2 es ambientalmente favorable. El proceso de Fenton es eficiente para la generación de radicales $OH\cdot$; pero esto implica el consumo de una molécula de Fe (II) para cada radical $OH\cdot$ producido, exigiendo una alta concentración de Fe (II). El proceso Fenton es eficiente en el intervalo de pH 2 – 5 y generalmente más efectivo a pH 2,8 – 3,0. La reacción del reactivo Fenton se puede generar en sistemas homogéneos, donde el hierro se encuentra en solución o en sistemas heterogéneos donde el catalizador se encuentra en algún complejo sólido.

Figura 3

Tipos de Proceso Fenton



Nota. Tomado de "Una escuela en salida. Encuentros educativos en las periferias", en el que se observa el famoso proceso denominado Fenton el cual pasa por un ciclo determinado hasta que este llegue a generarse y fue desarrollado por Arroyo J. (2019), *Revista Razón y Fe*, 280.

El proceso Fenton Homogéneo posee desventajas como la producción de lodos de hierro, los costos elevados y el riesgo asociado al almacenamiento y transporte del peróxido de hidrógeno, además de la necesidad de neutralizar el efluente antes de su disposición final. Por ello, frente a estas desventajas se han empleado catalizadores sólidos que contengan hierro para dar lugar a un proceso Fenton Heterogéneo (Arroyo J. , 2019).

2.1.14. Variables de Influencia en el Proceso Fenton

El pH es uno de los principales factores que participa en el proceso Foto-Fenton, ya que un pH ácido favorece la reacción, mejorando la eficiencia del proceso. El potencial de oxidación de los radicales hidroxilos se reduce con el aumento del pH desde $E_0=2,8$ V a $E_{14}=1,96$ V. La producción de radicales hidroxilos está generalmente en un rango de pH de 2 a 4, gracias a que la regeneración del H_2O_2 también aumenta la tasa de reacción.

2.1.14.1.Dosis de hierro. Un incremento en la dosis de Fe aumenta el porcentaje de remoción de DQO, pero un exceso de iones de Fe inhibe el proceso de degradación fotoquímica, puesto que este exceso compite con los compuestos orgánicos por los radicales hidroxilos. Sin embargo, los incrementos en la dosis de hierro generan más cantidad de lodos e incremento de sólidos disueltos totales y conductividad. Esto se ve reflejado en la turbidez marrón que se presenta e inhibe la radiación UV, originando la recombinación de radicales hidroxilos.

2.1.14.2.Dosis de peróxido de hidrógeno. Alcanzar una dosis ideal de oxidante durante el proceso es muy importante, considerando que una reducción en la dosis de H_2O_2 no generará la cantidad necesaria de radicales hidroxilos para alcanzar la completa degradación, al contrario, un incremento en la dosis de H_2O_2 logra aumentar el porcentaje de degradación. No obstante, un exceso de este reactivo origina la flotación de lodos de Fe o la reducción en la sedimentación del lodo debido a la liberación de gases de O_2 en respuesta a la auto descomposición del H_2O_2 . Por otro lado, un residual de peróxido de hidrógeno contribuye con

DQO en el efluente.

2.1.14.3. Temperatura. La temperatura posee un factor positivo en el tratamiento, pero la reducción de los compuestos orgánicos gracias a la temperatura es casi pequeña en comparación a otros factores. Es así como se presenta un aumento en la remoción de DQO con el incremento de la temperatura. Sin embargo, cuando la temperatura sobrepasa los 40 a 50°C la eficiencia decrece, gracias a que se acelera la descomposición del peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua. Para dosis de H₂O₂ que superen los 10 a 20 g/L, se debe controlar la temperatura por cuestiones de seguridad.

2.1.14.4. DQO inicial. Aunque el porcentaje de remoción es elevado cuando la DQO inicial es baja, la cantidad de eliminación de DQO es mayor cuando los valores iniciales de DQO son altos.

2.1.14.5. Tiempo de reacción. El tiempo ideal para la reacción depende de la dosis de H₂O₂, el punto para el cual se consume la totalidad de oxidante en la reacción se denomina tiempo final. Considerándose un tiempo óptimo alrededor de las 2 horas. Pero según el residuo y la carga contaminante estos tiempos pueden variar (Arroyo J. , 2019).

2.1.15. Factores que afectan el proceso Fenton

2.1.15.1. Producción de lodos. Principal inconveniente, ya que se forma un precipitado coloidalrojizo el cual se separa de la mezcla líquida, y este sedimento se tratará como residuo sólido.

2.1.15.2. Control de Ph. Cualquier sistema en el cual se emplee peróxido y exista metales, se debe trabajar con pH de 9 – 10, con el objetivo de evitar la liberación de gases. Consumo de reactivo: el consumo de H₂O₂ es caro si se usa en ~~ca~~ ^{cu}ntos elevados de aguas residuales, pero se puede optimizar usando un catalizador de Fe para acelerar la reacción (Arroyo J. , 2019).

2.1.16. Gradiente de Velocidad.

Está constituido por la Mezcla rápida o Coagulación: trata de la dispersión rápida del coagulante en toda la masa de agua, a través de una agitación violenta para obtener que el compuesto coagulante esté casi rápidamente en contacto con todos los coloides y los desestabilice. la mezcla rápida puede realizarse mediante turbulencia, generada por medios hidráulicos o mecánicos; en los mezcladores hidráulicos la mezcla es producida como resultado de la turbulencia que existe en el régimen de flujo; en los mecánicos la mezcla es inducida por impulsores rotativos del tipo hélice o turbina. Los de hélice, semejantes a hélices de barco, producen corrientes axiales fuertes que crean gran intensidad de mezcla y se han utilizado para mezcla de alta velocidad con rotaciones de hasta 2000 revoluciones por minuto (García & Rodríguez, 2015).

2.1.16.1. Mezcla lenta o floculación. Para que el floc se forme, se requiere que las partículas choquen unas con otras, con el fin de aglutinar y formar granos pesados. Esto se logra provocando el choque entre las partículas desestabilizadas con una mezcla suave. En la floculación una vez introducido y mezclado el coagulante, las partículas pequeñas coaguladas son puestas en contacto una con otra y con las demás partículas presentes, mediante agitación lenta prolongada (floculación) mediante la cual las partículas se aglomeran, aumentan su tamaño y alcanzan mayor densidad. El floculador es un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención relativamente prolongado. Los impulsores de paletas generan principalmente corrientes radiales y tangenciales, y son más empleados en la floculación con velocidades rotacionales bajas, 2-150 RPM, debido a la mayor área expuesta al agua. El gradiente de velocidad es aceptado, como un medio para calcular los requerimientos energéticos de mezcla (García & Rodríguez, 2015).

2.1.17. Coagulación

Es el proceso de desestabilizadas de partículas coloidales generadas por haber añadido un reactivo químico (coagulante) seguido de una agitación intensa, generalmente se define como mezclado rápido, donde se produce la neutralización de cargas electrostáticas produciendo partículas más grandes unidad entre sí (Agreda & Dominguez, 2018).

2.1.18. Floculación

Es la aglomeración de partículas desestabilizadas en aglomerados voluminosos denominados flóculos.

La floculación mejora la tasa de contacto entre partículas desestabilizadas, es decir incrementa la tasa de colisión y produce la unión y agregación de partículas en los flóculos grandes y densos que facilitan la sedimentación (Agreda & Dominguez, 2018).

2.1.19. Método de Jarras

La prueba de Jarras es la técnica más utilizada para calcular la dosis de químicos y otros parámetros. En esta prueba se simulan los procesos de coagulación, floculación y sedimentación a nivel de laboratorio. En este método intervienen factores químicos e hidráulicos, así tenemos: i) pH ii) Temperatura iii) Concentración de Coagulante iv) Secuencia de aplicación de sustancias químicas v) Grado de agitación y vi) Tiempo de sedimentación (Agreda & Dominguez, 2018).

La prueba de jarras como una prueba de laboratorio que permite determinar las dosis de reactivos mezcla y velocidades requeridas para alcanzar objetivos definidos de calidad en una muestra de agua (Araníbar, 2016).

2.1.20. Industria Peletera Peruana S.A

La Industria Peletera Peruana S.A. “IPEPESA” se dedica principalmente a la fabricación de cueros. La planta cuenta con más de 38 años de operación y su actividad

principal es la exportación de cueros de ovino y vacuno (wet blue) a la India y al Brasil respectivamente. Además, brinda asesoramiento técnico, tanto en los procesos de curtidos y en el control de calidad de los productos.

IPEPESA dispone de los diferentes equipos, maquinarias e insumos; como también del personal técnico capacitado en la fabricación de cueros para que la calidad de los productos cumpla con las exigencias del mercado internacional.

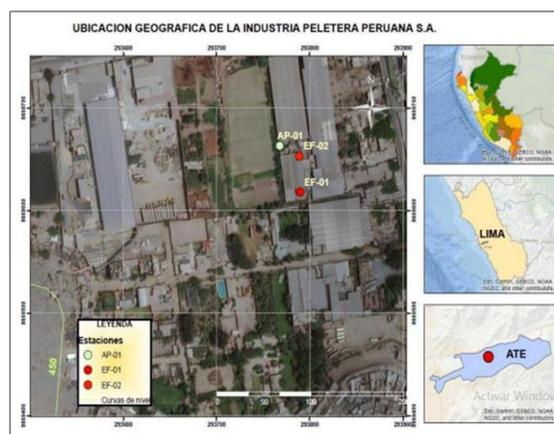
Trabaja de la mano con distintas empresas importadoras de insumos químicos, como son: Peruquimicos BUKMAN (brasileira), Química ANCEL (Argentina), que ofrecen insumos de buena calidad (Condor, 2018).

2.1.21. Ubicación Geográfica de la Industria peletera Peruana S.A

El área de trabajo de monitoreo de la calidad del agua se llevó a cabo en las instalaciones de la Industria Peletera Peruana S.A. ubicada en la Avenida Alfonso Ugarte N°1550 Urbanización la Estrella en el Distrito de Ate – Lima. Con las coordenadas, $x = 293782$ $Y = 8669691$ con una altitud de 400 msnm (Condor, 2018).

Figura 4

Ubicación Geográfica de IPEPESA.



Nota. Ubicación Geográfica de IPEPESA, tomado de “Evaluación de los efluentes de la empresa Industria Peletera Peruana S.A”, Condor (2018), Repositorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, 42.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Definición de Términos.

2.2.1.1. Agua Residual. Son aguas donde sus características iniciales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (Castillo & López, 2018).

2.2.1.2. Concentración. Relación existente entre una sustancia disuelta en una cantidad dada de otra sustancia (MINAM)

2.2.1.3. Contaminación. Presencia de una sustancia química o mezcla de sustancias en un lugar no deseable (aire, agua, suelo), el cual genera efectos adversos al ambiente o a la salud. (MINAM)

2.2.1.4. Efluente. Líquido que procede de una planta industrial, siendo las descargas o salidas de flujos líquidos residuales, tratados o sin tratar, producto de cualquier proceso industrial (Castillo & López, 2018).

2.2.1.5. Fenton. Consiste en la adición de sales de hierro como catalizador en presencia de H₂O₂ para la producción de radicales HO•. Aquí los radicales HO se generan a partir de la interacción entre H₂O₂ y hierro ferroso (Fe²⁺) en medio ácido (pH 2,5-4) (Alva, 2021).

2.2.1.6. Oxidación. Reacción que conlleva la pérdida de electrones, incrementándose el estado de oxidación del elemento que se oxida (López, Lupión, & Blanco, 2017)

2.2.1.7. Ph. Indica la concentración de los iones H⁺ presentes en el agua, está expresado como el logaritmo negativo de la concentración molar del ion hidrógeno (H⁺) (López, Lupión, & Blanco, 2017)

2.2.1.8. Proceso de Oxidación Avanzada. Se realiza con procesos físicos químicos capaces de generar cambios en la estructura química de los contaminantes ya que involucran la producción y uso de especies con un gran poder oxidante como el radical OH⁻, dicho radical

presenta gran efectividad de oxidación de materia orgánica (Agreda & Dominguez, 2018).

2.3. Marco Legal Ambiental

2.3.1. La Constitución Política del Perú – Título III, Capítulo II

Del Ambiente y los Recursos Naturales. La Constitución Política del Perú de 1993, en su artículo 2º, inciso 22, indica que “Toda persona tiene derecho a la paz, la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado para el desarrollo de su vida”. Asimismo, los artículos 66º, 67º, 68º y 69º establecen que el Estado es soberano en el aprovechamiento de los recursos naturales, renovables y no renovables (patrimonio de la Nación), y de promover el uso sostenible de éstos.

2.3.2. Decreto Legislativo N°635, Código Penal del año 1991

En el título XIII sobre delitos ambientales, señala las penas privativas de libertad a las personas que descarguen, comercialicen o viertan desechos industriales o domésticos en zonas no autorizadas, con mayor sanción si el causante es funcionario o servidor público.

2.3.3. Ley General de Salud N° 26842, del año 1997

Se reconoce la responsabilidad del Estado frente al cuidado de la salud del ambiente. Así tenemos:

2.3.3.1. Artículo N° 96 del capítulo IV. Se alude que para la disposición de sustancias y productos peligrosos deben tomarse todas las medidas y precauciones necesarias para evitar daños a la salud y el ambiente. De igual modo, los artículos 99, 104 y 107 del Capítulo VIII, indican que toda persona natural o jurídica, está impedida de efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o el suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente.

2.3.3.2. La Ley General del Ambiente, Ley N°28611. Conforme al Artículo 1. Toda

persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y tiene el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente.

2.3.3.3. Acorde al Artículo 120. Establece que el Estado. Tiene el deber de la protección de la calidad del recurso hídrico del país. El Estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de su reúso, teniendo en cuenta como antecedente la obtención de la calidad necesaria para su reutilización, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizaran.

2.3.3.4. DS N° 003-2002 – PRODUCE. Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las Actividades Industriales de Cemento, Cerveza, Curtiembre y Papel.

2.3.3.5. Ley N° 29338. Ley de Recursos Hídricos. Del 31 de marzo de 2009, esta ley tiene por finalidad normar el uso y gestión integrada del agua, la intervención del Estado y los privados en dicha gestión, basándose en los principios de valoración del agua, priorizar el acceso al agua, participación de los ciudadanos y cultura del agua, seguridad jurídica, el respeto de los usos de agua por las comunidades campesinas y nativas, sustentabilidad, descentralización, prevención, eficiencia, gestión integrada y tutela jurídica.

La presente ley invalida el Decreto Ley N°17752, Ley General de Aguas y su reglamento el Decreto Supremo N°261-69-AP.

2.3.3.6. Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, D.S. N°001-2010 – AG. En su Artículo 103, menciona que la protección del agua tiene como propósito la prevención del deterioro de su calidad; proteger y mejorar el estado de los cuerpos naturales y los ecosistemas acuáticos; establecer medidas específicas para eliminar o minimizar gradualmente las causas que generan su contaminación y degradación.

2.3.3.7. D.L N° 1083-2008-ANA. El presente decreto legislativo establece el marco

normativa para promover el aprovechamiento eficaz y la conservación de los recursos hídricos, impulsando el desarrollo de una cultura de uso responsable entre todos los usuarios y operadores de infraestructura hidráulica, pública o privada.

La Autoridad Nacional del Agua, establece los parámetros de eficiencia para el aprovechamiento de los recursos hídricos, los cuales establecen obligaciones máximas y mínimos aplicables a cada tipo y forma de uso del recurso.

2.3.3.8. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y constituyen Disposiciones Complementarias. Recopila las disposiciones aprobadas mediante el Decreto Supremo N°002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N°023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N°015-2015-MINAM, que aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua, quedando sujeta lo establecido en el presente Decreto Supremo y el Anexo que forma parte integrante del mismo.

Las categorías para los estándares de calidad ambiental para agua son:

A. Categoría 1: Poblacional y Recreacional.

B. Categoría 2. Extracción, cultivo y otras actividades marino-costeras y continentales.

C. Categoría 3. Riego de vegetales y bebida de animales, Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.

2.3.3.9. RM N° 375-2008-TR “Norma básica de Ergonomía y de procedimientos de evaluación de riesgo Disergonómico”. Establece los parámetros que permitan la adaptación de las condiciones de trabajo a las características físicas y mentales de los trabajadores con el fin de proporcionarles bienestar, seguridad y mayor eficiencia en su desempeño.

III.MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada, donde se plantea solucionar un problema a partir de una investigación básica. El mencionado planteamiento pretende remover la Demanda Química de Oxígeno y la Demanda Bioquímica de oxígeno mediante procesos de oxidación Fenton en muestras de efluentes de curtiembre.

El diseño de la investigación es experimental puro, en el cual se pretende manipular la variable independiente (Oxidación Fenton), a fin de causar un efecto sobre la variable dependiente (remoción de DQO y DBO), mediante el cual se podrá medir el efecto antes y después de la dosificación.

3.2. Ámbito temporal y espacial

3.2.1. *Ámbito temporal.*

El desarrollo de la presente investigación se inicia con la búsqueda de información bibliográfica en marzo del 2022, en el cual se consideró tomar únicamente revisiones entre los años 2017 y 2021. La etapa experimental se programó desarrollarlo entre agosto y septiembre del 2022, y la redacción del informe final se programó para octubre del 2022.

3.2.2. *Ámbito espacial.*

El trabajo de investigación será desarrollado principalmente en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE-UNFV, cuyas coordenadas geográficas son 277 097 E y 8 667 468 N, sin embargo, la muestra de agua residual industrial será tomada de la empresa IPEPESA ubicada en el distrito de Ate, las cuales son generadas en diferentes etapas del proceso de curtiembre, y cuya ubicación son las siguientes coordenadas UTM 293782 E y 8 669 691 N, con una altitud de 400 msnm.

3.3. Variables

3.3.1. *Variable Independiente.*

Oxidación Fenton

3.3.2. *Variable Independiente*

Remoción de DQO y DQO

Tabla 3

Operacionalización de las Variables de Investigación

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
V.I Oxidación Fenton.	La Oxidación Avanzada son procesos fisicoquímicos capaces de modificar la estructura química de los contaminantes, este proceso consiste en generar especies fuertemente oxidantes como los radicales (OH.) que actúan como iniciadores de oxidación, (Rodríguez, 2020)	El proceso de oxidación Fenton será desarrollado y evaluado en relación con las variables de operación del floculador programable, considerando 1 litro de muestra, 30 min de agitación y 250 RPM. Las concentraciones del reactivo Fenton para la oxidación serán de 5,10,15,20 y 25% con dosis de 10, 20,30,40 y 50 ml de catalizador de 5 g/l	VARIABLES DE OPERACIÓN	Tiempo	Minutos
				Volumen	Litros
V.D Remoción de DQO y DBO	Esta relación indica qué fracción de la materia orgánica total presente en el agua residual es susceptible de ser descompuesta bioquímicamente. Por lo tanto, el parámetro DBO5/DQO se puede utilizar como estimación del grado de biodegradabilidad de un agua residual. Los siguientes valores son utilizados como guía (Vargas, Durán, Delgado, & Mendoza, 2015)	La remoción de la DQO y DBO se llevará a cabo mediante la prueba de jarras, de manera que al terminar el proceso de tratamiento con el uso del reactivo Fenton se evaluará las eficiencias respectivas medidas como porcentajes de remoción de DQO y DBO, para lo cual se tomará en cuenta las concentraciones iniciales y finales de ambos parámetros. Los otros parámetros de Temperatura, C.E y pH, serán medidos para conocer si existe una relación entre la remoción de la DQO y DBO.	REACTIVO FENTON	Revoluciones	rpm
				Concentración	g
				Dosis	ml
				Temperatura	°C
			PARÁMETROS FÍSICOS-QUÁMICOS	Conductividad Eléctrica	uS/cm
				Potencial de hidrógenos	Unidad de pH
				DQO y DBO	mg/l
			RENDIMIENTO	Eficiencia	%

Nota. Elaboración propia

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población.

La población en estudio corresponde a los efluentes de curtiembre generados como producto del proceso de curtiembre después de haber pasado por una serie de etapas en el curtido de las pieles de la empresa IPEPESA.

3.4.2. Muestra

La muestra en la presente investigación está relacionada con la cantidad total de tratamientos a realizar, para ello se está tomando en cuenta trabajar con 5 concentraciones de reactivo Fenton, y un volumen de muestra de 1 litro para cada concentración. Se está considerando realizar tres tratamientos con tres dosis diferentes y tres réplicas por tratamiento en el floculador programable, de los cuales tendremos un volumen total de 75 litros.

3.5. Instrumentos

3.5.1. Técnicas

3.5.1.1.Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales R.M 273. 2013.VIVIENDA.

3.5.1.2.Manual de seguridad de laboratorios.

3.5.1.3.Métodos de análisis estandarizados para análisis de aguas residuales.

3.5.2. Instrumentos

3.5.2.1.Cadena de Custodia de muestras.

3.5.2.2.Fichas de recolección de datos de campo.

3.5.3. Equipos

3.5.3.1.Jar Test (Floculador Programable).

3.5.3.2.Reactor Digital HACH.

3.5.3.3.Colorímetro Digital HACH

3.5.3.4.Equipo Multiparámetro.

3.5.3.5.Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

3.5.3.6.Color, preservantes, frascos plásticos.

3.6. Procedimientos

El procedimiento se inició con la toma de muestra en campo y posteriormente fue complementado en el laboratorio, el mismo que fue desarrollado en las siguientes etapas: Muestreo de campo para la toma de muestras del efluente de curtiembre, en la empresa IPEPESA; caracterización física y química del efluente de curtiembre; desarrollo experimental en el laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE-UNFV y finalmente la determinación final de los parámetros físicos y químicos finalizada la etapa experimental.

3.6.1. Monitoreo de campo

Para la toma de muestra se solicitó el permiso respectivo a la empresa Industria Peletera Peruana (IPEPESA) cuya planta se encuentra ubicada en la avenida Alfonso Ugarte 1550 distrito de Ate, provincia de Lima, para la toma de 75 litros de efluente de curtiembre, en tres depósitos plásticos de aproximadamente 25 litros de capacidad cada uno.

La toma de muestra fue tomada en un único día y se realizó considerando todos los implementos de seguridad como son los Equipos de Protección Personal, el cual incluyó el uso del casco protector, chaleco de alta visibilidad con distintivos, botas con refuerzo de punta de acero, lentes protectores, guantes de nitrilo y otros que se considere de importancia. La toma de muestra será desarrollada siguiendo el Protocolo de Monitoreo de Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de aguas Residuales Domésticas o Municipales (R.M. N° 273-2013-VIVIENDA).

De acuerdo con lo señalado en el párrafo anterior se tomó inicialmente una cantidad de muestra en un recipiente limpio lavado con agua destilada, y se procedió a medir los parámetros

de campo mediante el uso de un equipo multiparamétrico marca HANNA, el cual incluye a la Temperatura, pH y Conductividad Eléctrica, de los cuales, éstos dos últimos fueron previamente calibrados con soluciones amortiguadoras de 4, 7 y 10 y solución de calibración salina con KCl de 0.1 N respectivamente, y se procedió finalmente a registrar los datos obtenidos en una ficha de recolección de campo.

Terminado el registro de datos de campo con una jarra y un embudo se procedió a llenar los tres depósitos plásticos de 25 litros de capacidad aproximadamente cada uno, luego se colocaron las respectivas etiquetas a cada uno de los depósitos plásticos con su rótulo respectivo y la información adicional que se requiere como lugar y fecha de muestreo, coordenadas Geográficas o UTM, parámetro a determinar, tipo de preservante, matriz y otro que considere el investigador de relevancia para su determinación, y trasladar finalmente al Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE-UNFV.

La información de campo fue registrada en una ficha de recolección de datos, tomando en cuenta la cadena de custodia como principal registro, a fin de cumplir con los detalles mínimos y asegurar la representatividad de las muestras.

3.6.2. Caracterización Fisicoquímica

Terminado el monitoreo de campo, el cual incluía las mediciones in situ de Temperatura, pH y Conductividad Eléctrica en la muestra de efluente de curtiembre, se realizó la determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), el cual incluyó el siguiente procedimiento:

3.6.2.1. Se prepararon tres soluciones para la determinación de la DQO. El primer reactivo será una solución de digestión con 10,216 g de Dicromato de Potasio, 167 ml de Ácido Sulfúrico concentrado y 33.3 g de Sulfato Mercúrico, aforados en 1 litro de agua destilada.

3.6.2.2. El segundo reactivo fue preparado en base a una solución de Ácido Sulfúrico

concentrado con Sulfato de Plata, en una proporción de 5,5 g de AgSO_4 por Kg de H_2SO_4 .

3.6.2.3.El tercer reactivo que se preparó fue una solución patrón de Ftalato de Hidrógeno de Potasio, disolviendo 425 mg de soluto en 1 litro de agua destilada, para obtener un ROQ teórico de 500 μg de O_2/ml .

3.6.2.4.Seguidamente se procedió a tomar una muestra de efluente de curtiembre de 2,5 ml y fue llevado a un vial de vidrio transparente de 10 ml aproximadamente, luego se añadió 1,5 ml de la solución de digestión y finalmente 3,5 ml del reactivo Ácido Sulfúrico y se procedió a agitar suavemente.

3.6.2.5.De acuerdo al paso anterior se procedió a preparar un vial para un blanco o testigo con agua destilada y otro vial para el patrón de Ftalato de Hidrógeno de Potasio de 500 ppm.

3.6.2.6.Una vez obtenido los tres viales (muestra, blanco y patrón), fueron llevados al rector

3.6.2.7.digital y se procedió a la digestión correspondiente por un tiempo de 2 horas y a 150 °C.

3.6.2.8.Terminado el tiempo de digestión se procedió a esperar que enfríen para luego colocarlos en la rampa de medición y proceder a leerlos en el colorímetro digital.

3.6.2.9.Obtenidos los resultados finales sobre la caracterización inicial, estos fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles correspondiente al DS 003-2002-PRODUCE, para actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel.

3.6.2.10.La determinación de la DBO se realizó por el método de la dilución, para lo cual se preparó un agua de dilución en un frasco de vidrio de 4 litros de acuerdo con un conjunto de reactivos:

3.6.2.11.Reactivos para el agua de dilución: Agua destilada, agua residual, Solución de fosfatos (Monohidrógenofosfato de sodio 8,493 g más Dihidrógenofosfato de potasio 2,785 g

y llevados a 1 litro con agua destilada), solución de sulfato de magnesio 20 g/l, solución de cloruro de calcio de 25 g/l, solución de cloruro de hierro 1,5 g/l, solución de cloruro de amonio 2 g/l.

3.6.2.12. Seguidamente, una vez terminada la preparación de los reactivos se procedió a añadir 4 ml de cada uno de ellos en el frasco de vidrio de 4 litros y se completó con agua destilada hasta llegar al volumen total de aforo.

3.6.2.13. Se procedió a agitar vigorosamente el frasco de dilución a fin de oxigenarlo y alcanzar una saturación máxima de O₂, u obtenerse una concentración mínima de 7.5 mg/l. De no obtenerse este valor se puede inyectar oxígeno por medio de un difusor.

3.6.2.14. Seguidamente se procedió a medir tres alícuotas de agua residual de 0.5, 1.0 y 2.0 ml para ser llevados a 3 frascos de OD, donde cada uno tuvo su duplicado y completados con agua de dilución hasta su volumen de 300 ml cada uno.

3.6.2.15. Una vez completados los 3 frascos con agua de dilución con sus respectivos duplicados (3), se realizaron las lecturas con el Oxímetro para saber la concentración inicial de OD de cada uno de ellos.

3.6.2.16. Los frascos duplicados (3), fueron llevados a la incubadora por un tiempo de 5 días, donde terminado el tiempo de incubación se procedió a medir la concentración final de OD y obtener la DBO₅ de la muestra de agua residual.

3.6.2.17. Desarrollo Experimental

3.6.2.18. El desarrollo experimental consistió en los siguientes pasos:

3.6.2.19. Se prepararon 5 soluciones de Peróxido de Hidrógeno con concentraciones del 5, 10, 15, 20 y 25 %, de las cuales cada concentración sirvió para realizar un tratamiento con dos repeticiones adicionales.

3.6.2.20. Seguidamente, se preparó una solución de Sulfato Ferroso de 5 g/l, el cual fue utilizado como catalizador para todos los tratamientos en general.

3.6.2.21.En cada una de las cinco jarras del floculador programable se procedió a adicionar un volumen de muestra de 1 litro, y se llevó a medio ácido (pH 3.5 aprox.) con Ácido Sulfúrico.

3.6.2.22.A continuación, el floculador programable fue programado para trabajar a una velocidad de 250 RPM, a temperatura ambiente y un tiempo de agitación de 30 minutos.

3.6.2.23.Para el primer tratamiento con la concentración al 5% con Peróxido de Hidrógeno, se añadieron dosis en el orden del 10, 20, 30, 40 y 50 ml por cada litro de muestra, y una cantidad fija de Sulfato Ferroso de 25 ml como reactivo catalizador.

3.6.2.24.Adicionalmente a lo indicado se realizaron dos repeticiones más a fin de verificar los resultados iniciales.

3.6.2.25.Terminado el primer tratamiento, se continuó con el segundo, tercer cuarto y quinto tratamiento con las respectivas concentraciones y considerando las mismas dosis de 10, 20, 30, 40 y 50 ml y una cantidad fija de Sulfato Ferroso de 25 ml como reactivo catalizador, de la misma forma que el ítem anterior se hicieron dos repeticiones más de cada concentración, a fin de verificar los resultados iniciales.

3.6.2.26.Terminado de añadir las dosis a cada una de las 5 jarras se procedió a la agitación por un tiempo de 30 minutos a 250 RPM.

3.6.2.27.Culminado el tiempo de agitación se procedió a esperar un tiempo de sedimentación de la muestra de 30 minutos finales.

3.6.2.28.Terminado el tiempo de sedimentación en las jarras se tomó en frascos limpios sin uso y rotulados, todo el volumen del sobrenadante.

3.6.2.29.Como ya se indicó, a fin de obtener un resultado representativo se llevaron a cabo 2 repeticiones adicionales a la primera y se tomó en cuenta el promedio de las tres.

3.6.2.30.Una vez tomada la muestra sobrenadante en los frascos de primer uso, se tomó un volumen aproximado de 250 ml para proceder a determinar la concentración de DQO y

DBO, de acuerdo con el procedimiento de caracterización fisicoquímica.

3.6.3. *Determinación final de parámetros fisicoquímicos*

La medición final de los parámetros fisicoquímicos de todas las muestras tratadas como la Temperatura, pH y conductividad eléctrica fueron cuantificadas mediante el equipo multiparámetro, previamente calibrados con las soluciones amortiguadoras de 4, 7 y 10, y una solución de KCl a 0.1 N. Para el caso de la determinación final de la DQO y DBO se realizó tomando en cuenta el procedimiento desarrollado en la caracterización fisicoquímica (apartado 3.6.2).

3.7. *Análisis de datos*

Una vez obtenidos los resultados del ensayo experimental, éstos fueron tabulados y ordenados en un formato Excel 2016, para posteriormente desarrollar la prueba estadística en base a un software con el MINITAB 19, quien nos permitió evaluarla variable independiente (oxidación Fenton) y dependiente (remoción de DQO y DBO) tomadas de manera individual, para ello se usó la estadística descriptiva mediante tablas y gráficas de datos y permita a su vez mostrar la distribución de los datos obtenidos empleando modelos lineales. El análisis de datos nos permitió conocer la dosis óptima para el tratamiento con peróxido de hidrógeno y sulfato de hierro, y conocer finalmente las eficiencias en la remoción de la Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno en el tratamiento del agua residual de curtiembre, y contrastar finalmente de esta manera la hipótesis de investigación.

IV.RESULTADOS

Con el fin de alcanzar concentraciones residuales de DQO y DBO en los diferentes tratamientos de aguas residuales de curtiembre, llevados a cabo con H₂O₂, se decidió trabajarlos con diversas dosis, de modo que se logre conocer las eficiencias para cada caso en particular. Las concentraciones empleadas en el tratamiento Fenton con H₂O₂ fueron de 5, 10, 15, 20 y 25%, tanto para la remoción de la DQO como para la de DBO, el volumen empleado para el tratamiento de las muestras fue de 1 L, con un tiempo de agitación de 30 min, 250 rpm y posterior sedimentación de 20 minutos. Cada tratamiento se realizó por triplicado, y se elaboraron tablas y figuras en función a los promedios obtenidos, con el objetivo de poder observar el comportamiento asumido al añadir diferentes dosis de reactivo Fenton.

4.1. Caracterización del Efluente de Curtiembre de la Empresa IPEPESA

A continuación, se muestran los resultados de la caracterización del Efluente de Curtiembre de la Empresa IPEPESA.

Tabla 4

Resultados de la caracterización del Efluente de Curtiembre

Parámetros Físicoquímicos						
Parámetros	Temperatura(°C)	pH	TSS (mg/l)	AyG (mg/l)	DBO mg O ₂ /L	DQO mg O ₂ /L
Valores	24.9	8.7	764	224.3	1182.45	2878.39
(*) LMP	35	6 a 9	500	50	500	1500

Nota. Elaboración propia, donde se determina que el límite Máximo Permisible LMP-D.S N° 003-2002-

PRODUCE

De la Tabla 4, se puede apreciar que el Límite Máximo Permisible para los Sólidos Suspendidos Totales, Aceites y Grasas, Demanda Bioquímica de Oxígeno y Demanda Química de Oxígeno se encuentran fuera del nivel permitido, normados para TSS en 500 mg/l, AyG

en 50 mg/l, 59 DBO en 500 mg O₂ /L, y la DQO en 1500 mg O₂ /L, así mismo el nivel de pH normado en un valor de 6 a 9, y la Temperatura normado con 35 °C, se encuentra dentro del nivel permitido con 8.7 y 24.9 °C respectivamente.

4.2. Resultados en el Tratamiento de la DQO

De acuerdo a las concentraciones de peróxido de hidrógeno al 5, 10, 15, 20 y 25%, y dosificaciones de 10, 20, 30, 40, y 50 ml para cada concentración, se alcanzó a remover la materia orgánica obteniéndose resultados importantes expresados como DQO.

4.2.1. Concentración de la DQO con tratamiento al 5% de oxidante

Tabla 5

Concentraciones promedio de DQO con tratamiento al 5% de oxidante

[] Oxidante	H ₂ O ₂ al [5%]				
	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺	3.32	3.22	3.13	3.04	2.91
Concentración inicial [DQO]	2878.39 mg/l				
RÉPLICAS	[]= mg DQO/L				
Primera réplica	2117.36	2056.45	2021.88	2002.12	1933.25
Segunda réplica	2115.24	2054.23	2019.67	2006.24	1936.15
Tercera réplica	2113.15	2058.34	2020.46	2010.31	1939.35
Concentración Final-[DQO]	2115.25	2056.34	2020.67	2006.22	1936.25

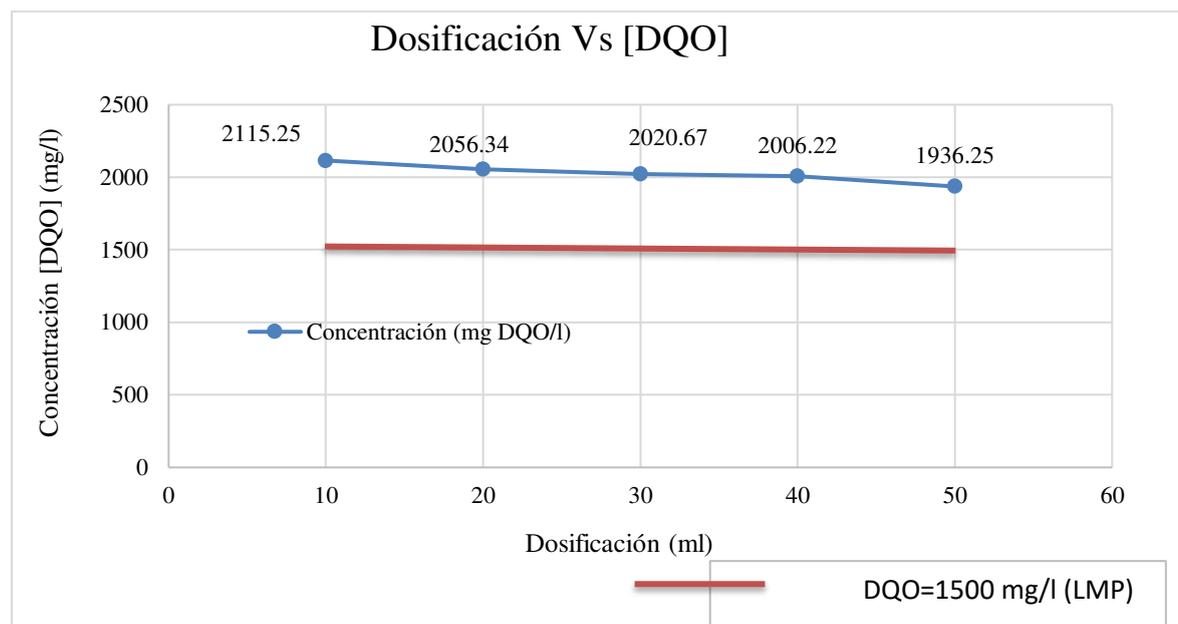
Nota. Elaboración propia

En la Tabla 5, tenemos el promedio de los resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los cuales fueron obtenidos con la concentración al 5% de H₂O₂, donde las dosis empleadas fueron de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, así mismo las dosis utilizadas en el tratamiento fueron trabajadas en base a tres réplicas, obteniéndose un promedio final de trabajo. Se pudo apreciar también que los niveles de pH fueron disminuyendo de acuerdo a las dosis añadidas de peróxido de hidrógeno, llegando a alcanzar un valor final 2.91 para la dosis de 50

ml.

Figura 5

Variación de la DQO al 5% con H₂O₂



Nota. Elaboración propia

De la Figura 5, se observa una variación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) quien va disminuyendo en sus concentraciones de acuerdo a las dosis que se va adicionando de H₂O₂ de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, alcanzando para esta última una concentración residual de 1936.25 mg/l, y una remoción total de 942.14 mg/l. Con relación a este primer tratamiento con peróxido de hidrógeno al 5% de concentración, la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml, sin embargo, cabe indicar que ninguno de los resultados obtenidos llegó a cumplir con el Límite Máximo Permisible establecido en 1500 mg/l.

4.2.2. Concentración de la DQO con tratamiento al 10% de oxidante

Tabla 6

Concentraciones promedio de DQO con tratamiento al 10% de oxidante

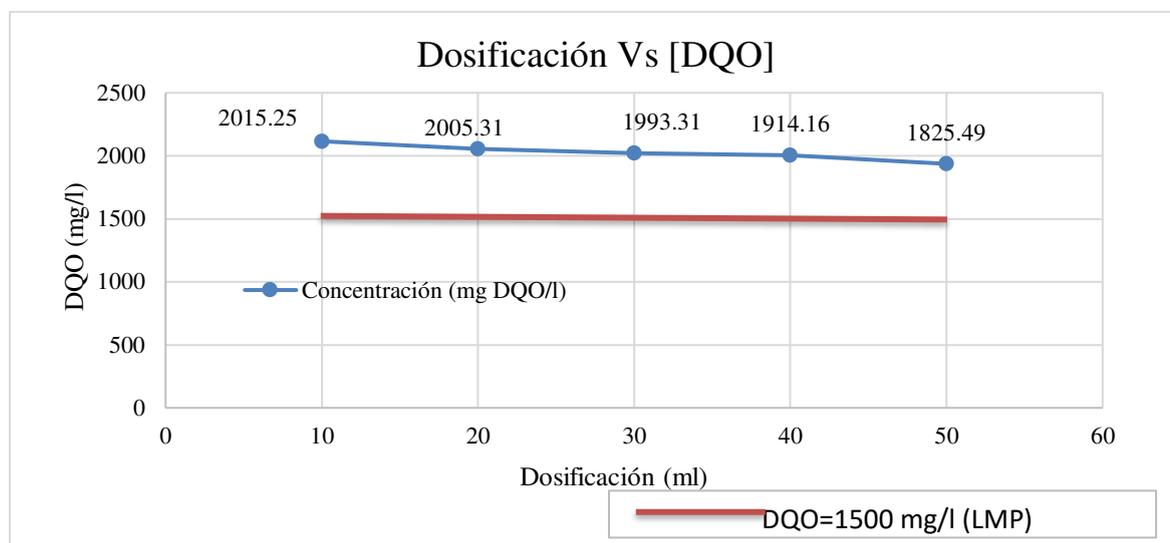
[] Oxidante	H ₂ O ₂ al [10%]				
Dosificaciones	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺	3.12	3.01	2.84	2.61	2.48
Concentración inicial [DQO]	2878.39 mg/l				
REPLICAS	[] de DQO (mg/l)				
Primera replica	2013.23	2003.25	1997.28	1910,20	1825.53
Segunda replica	2017.25	2005.31	1993.31	1918.16	1830.49
Tercera replica	2015.27	2007.37	1990.34	1914.12	1821.45
Concentración Final- [DQO]	2015.25	2005.31	1993.31	1914.16	1825.49

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 6, tenemos el promedio de los resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los cuales fueron obtenidos con la concentración al 10% de H₂O₂, donde las dosis empleadas fueron de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, así mismo las dosis utilizadas en el tratamiento fueron trabajadas en base a tres réplicas, obteniéndose un promedio final de trabajo. Se pudo apreciar también que los niveles de pH fueron disminuyendo de acuerdo a las dosis añadidas de peróxido de hidrógeno, llegando a alcanzar un valor final 2.48 para la dosis de 50 ml.

Figura 6

Variación de la DQO al 10% con H₂O₂



Nota. Elaboración propia

De la Figura 6, se observa una variación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) que va disminuyendo en sus concentraciones de acuerdo a las dosis que se va adicionando de H₂O₂ de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, alcanzando una concentración residual mínima de 1825.49 mg/l, y una remoción total de 1052.9 mg/l. Con relación a este segundo tratamiento con peróxido de hidrógeno al 10% de concentración, la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml, sin embargo, cabe indicar que ninguno de los resultados obtenidos llegó a cumplir con el Límite Máximo Permisible establecido en 1500 mg/l.

4.2.3. Concentración de la DQO con tratamiento al 15% de oxidante

Tabla 7

Concentraciones promedio de DQO con tratamiento al 15% de oxidante

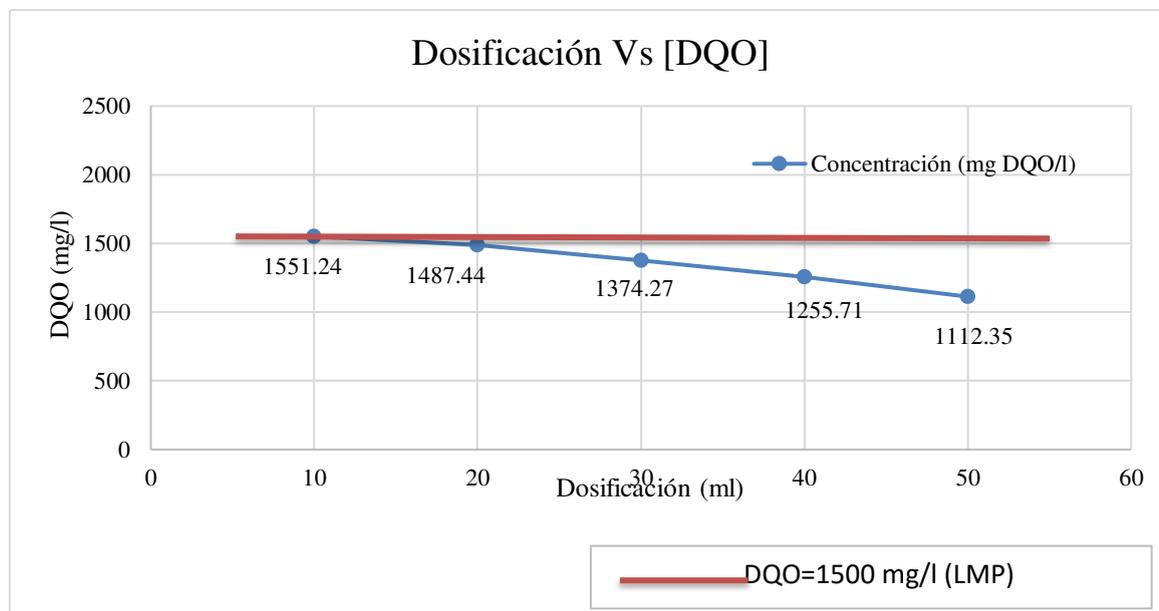
[] OXIDANTE	H2O2 al [15%]				
Dosificaciones	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺	3.01	2.82	2.71	2.65	2.54
Concentración inicial [DQO]	2878.39 mg/l				
RÉPLICAS	[] de DQO (mg/l)				
Primera Réplica	1551.16	1487.44	1374.27	1255.71	1109.39
Segunda Réplica	1548,20	1482.48	1371.25	1258.68	1115.35
Tercera Réplica	1554.24	1492,40	1377.29	1252.74	1112.31
Concentración Final-[DQO]	1551.24	1487.44	1374.27	1255.71	1112.35

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 6, tenemos el promedio de los resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los cuales fueron obtenidos con la concentración al 15% de H₂O₂, donde las dosis empleadas fueron de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, así mismo las dosis utilizadas en el tratamiento fueron trabajadas en base a tres réplicas, obteniéndose un promedio final de trabajo. Se pudo apreciar también que los niveles de pH fueron disminuyendo de acuerdo a las dosis añadidas de peróxido de hidrógeno, llegando a alcanzar un valor final 2.54 para la dosis de 50 ml.

Figura 7

Variación de la DQO al 15% con H₂O₂



Nota. Elaboración propia

De la Figura 7, se observa una variación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) que va disminuyendo en sus concentraciones de acuerdo a las dosis que se va adicionando de H₂O₂ de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, alcanzando una concentración residual mínima de 1112.35 mg/l, y una remoción total de 1766.04 mg/l. Con relación a este tercer tratamiento con peróxido de hidrógeno al 15% de concentración, la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml, así mismo, cabe indicar que la primera dosis de 10 ml no llegó a cumplir con el Límite Máximo Permisible establecido en 1500 mg/l, sin embargo, las dosis de 20, 30 40 y 50 ml si llegaron a cumplir con el LMP.

4.2.4. Concentración de la DQO con tratamiento al 20% de oxidante

Tabla 8

Concentraciones promedio de DQO con tratamiento al 20% de oxidante

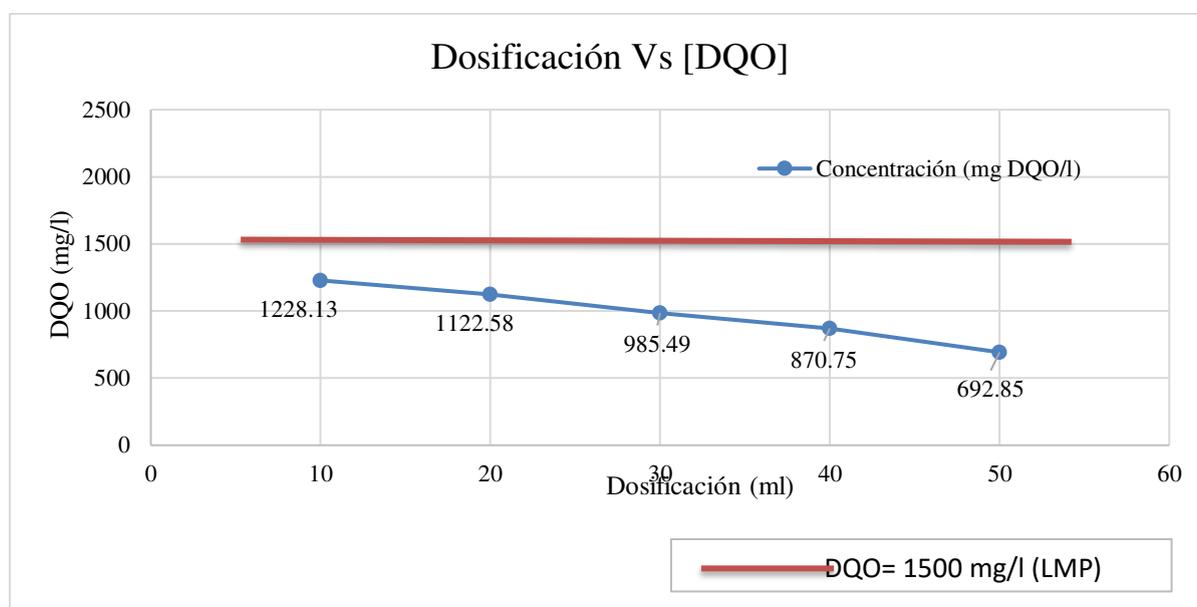
[] OXIDANTE	<i>H₂O₂ al [20%]</i>				
Dosificación	<i>10ml</i>	<i>20ml</i>	<i>30ml</i>	<i>40ml</i>	<i>50ml</i>
Potencial de H ⁺	2.92	2.82	2.71	2.62	2.52
Concentración inicial [DQO]	2878.39 mg/l				
RÉPLICAS	<i>[] de DQO (mg/l)</i>				
Primera Réplica	1228.16	1119.55	988.15	868.72	698.85
Segunda Réplica	1224.13	1122.58	985.12	870.75	686.88
Tercera Réplica	1232.10	1125.61	983.19	872.77	692.82
Concentración Final-[DQO]	1228.13	1122.58	985.49	870.75	692.85

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 8, tenemos el promedio de los resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los cuales fueron obtenidos con la concentración al 20% de H₂O₂, donde las dosis empleadas fueron de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, así mismo las dosis utilizadas en el tratamiento fueron trabajadas en base a tres réplicas, obteniéndose un promedio final de trabajo. Se pudo apreciar también que los niveles de pH fueron disminuyendo de acuerdo a las dosis añadidas de peróxido de hidrógeno, llegando a alcanzar un valor final 2.52 para la dosis de 50 ml.

Figura 8

Variación de la DQO al 20% con H₂O₂



Nota. Elaboración propia

De la Figura 8, se observa una variación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) quien va disminuyendo en sus concentraciones de acuerdo a las dosis que se va adicionando de H₂O₂ de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, alcanzando una concentración residual mínima de 692.85 mg/l, y una remoción total de 2185.54 mg/l. Con relación a este cuarto tratamiento con peróxido de hidrógeno al 20% de concentración, la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml, así mismo, cabe indicar que todas las dosis llegaron a cumplir con el Límite Máximo Permissible establecido en 1500 mg/l.

4.2.5. Concentración de la DQO con tratamiento al 25% de oxidante

Tabla 9

Concentraciones promedio de DQO con tratamiento al 25% de oxidante

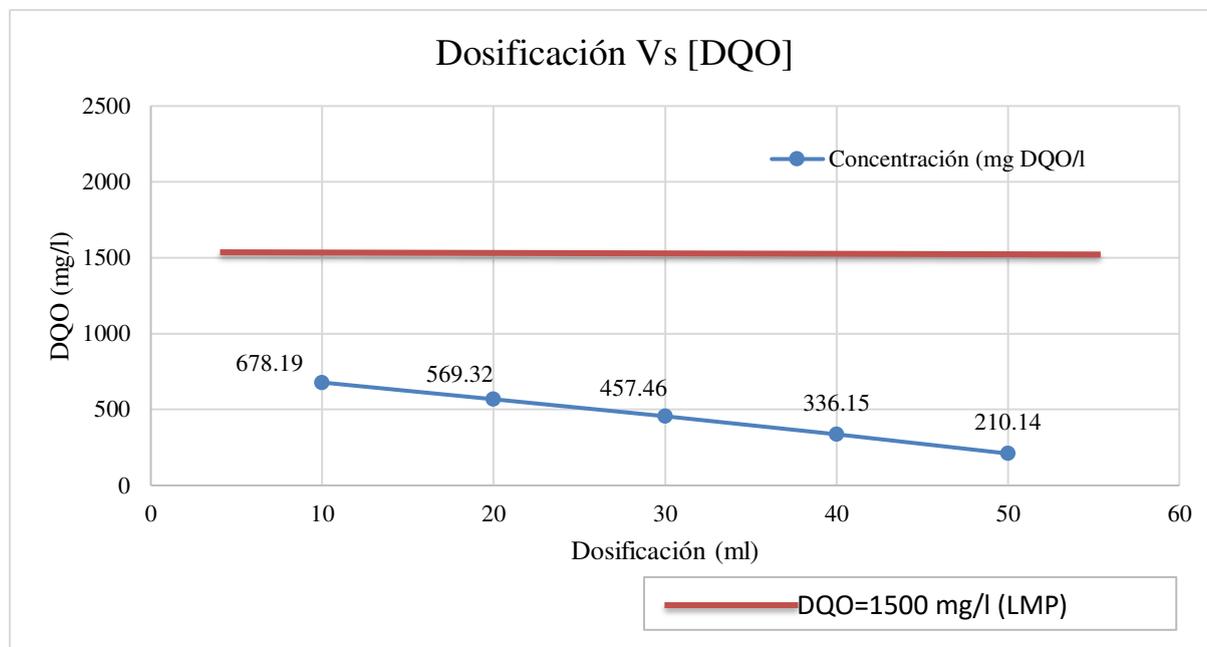
[] OXIDANTE		H ₂ O ₂ al [25%]				
Dosificación		10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺		2.86	2.35	2.46	2.38	2.25
Concentración inicial		2878.39 mg/l				
[DQO]						
RÉPLICAS		[] de DQO (mg/l)				
Primera Réplica		674.24	572.36	457.43	339.15	210.14
Segunda Réplica		678.15	569.32	452.46	336.11	207.18
Tercera Réplica		682.19	575.28	462.49	333.19	213,10
Concentración Final-		678.19	569.32	457.46	336.15	210.14
[DQO]						

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 9, tenemos el promedio de los resultados de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los cuales fueron obtenidos con la concentración al 25% de H₂O₂, donde las dosis empleadas fueron de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, así mismo las dosis utilizadas en el tratamiento fueron trabajadas en base a tres réplicas, obteniéndose un promedio final de trabajo. Se pudo apreciar también que los niveles de pH fueron disminuyendo de acuerdo a las dosis añadidas de peróxido de hidrógeno, llegando a alcanzar un valor final 2.25 para la dosis de 50 ml.

Figura 9

Variación de la DQO al 25% con H₂O₂



Nota. Elaboración propia

De la Figura 9, se observa una variación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) que va disminuyendo en sus concentraciones de acuerdo a las dosis que se va adicionando de H₂O₂ de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, alcanzando una concentración residual mínima de 210.14 mg/l, y una remoción total de 2668.25 mg/l. Con relación a este quinto tratamiento con peróxido de hidrógeno al 25% de concentración, la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml, así mismo, cabe indicar que todas las dosis llegaron a cumplir con el Límite Máximo Permissible establecido en 1500 mg/l.

4.3. Resultados para el tratamiento de la DBO

De acuerdo a las concentraciones de peróxido de hidrógeno al 5, 10, 15, 20 y 25 %, y dosificaciones de 10, 20, 30, 40, y 50 ml para cada concentración, se alcanzó a remover la materia orgánica obteniéndose resultados importantes expresados como DBO.

4.3.1. Concentración de la DBO con tratamiento al 5% de oxidante

Tabla 10

Concentraciones promedio de DBO con tratamiento al 5% de oxidante

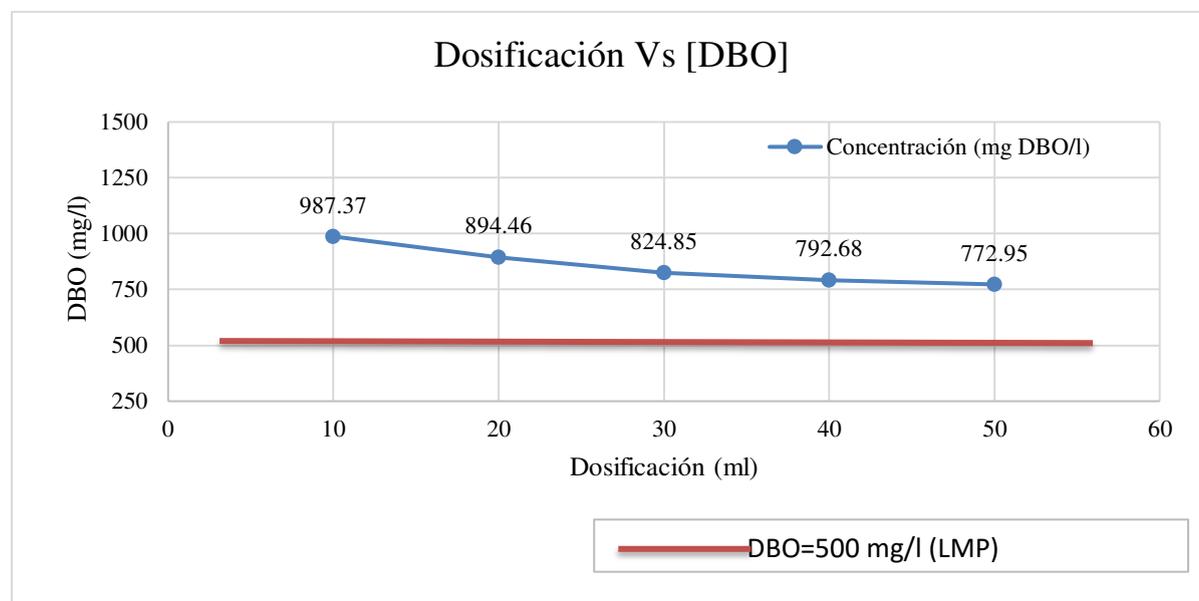
[] OXIDANTE		H ₂ O ₂ : 5%				
Dosificación		10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺		3.32	3.22	3.13	3.04	2.91
Concentración	inicial	1182.45 mg/l				
[DBO]						
RÉPLICAS		[] de DBO (mg/l)				
Primera Réplica		987.34	894.42	820.81	793.68	775.33
Segunda Réplica		989.37	891.46	824.85	792.65	773.29
Tercera Réplica		985.39	897.49	828.89	791.71	770.25
Concentración		987.37	894.46	824.85	792.68	772.95
Final-[DBO]						

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 10, tenemos el promedio de los resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO), los cuales fueron obtenidos con la concentración al 5% de H₂O₂, donde las dosis empleadas fueron de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, así mismo las dosis utilizadas en el tratamiento fueron trabajadas en base a tres réplicas, obteniéndose un promedio final de trabajo. Se pudo apreciar también que los niveles de pH fueron disminuyendo de acuerdo a las dosis añadidas de peróxido de hidrógeno, llegando a alcanzar un valor final 2.91 para la dosis de 50 ml.

Figura 10

Variación de la DBO al 5% con H₂O₂



Nota. Elaboración propia

De la Figura 10, se observa una variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) quien va disminuyendo en sus concentraciones de acuerdo a las dosis que se va adicionando de H₂O₂ de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, alcanzando para esta última una concentración residual de 772.95 mg/l, y una remoción total de 409.5 mg/l. Con relación a este primer tratamiento con peróxido de hidrógeno al 5% de concentración, la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml, sin embargo, cabe indicar que ninguno de los resultados obtenidos llegó a cumplir con el Límite Máximo Permisible establecido en 1500 mg/l.

4.3.2. Concentración de la DBO con tratamiento al 10% de oxidante

Tabla 11

Concentraciones promedio de DBO con tratamiento al 10% de oxidante

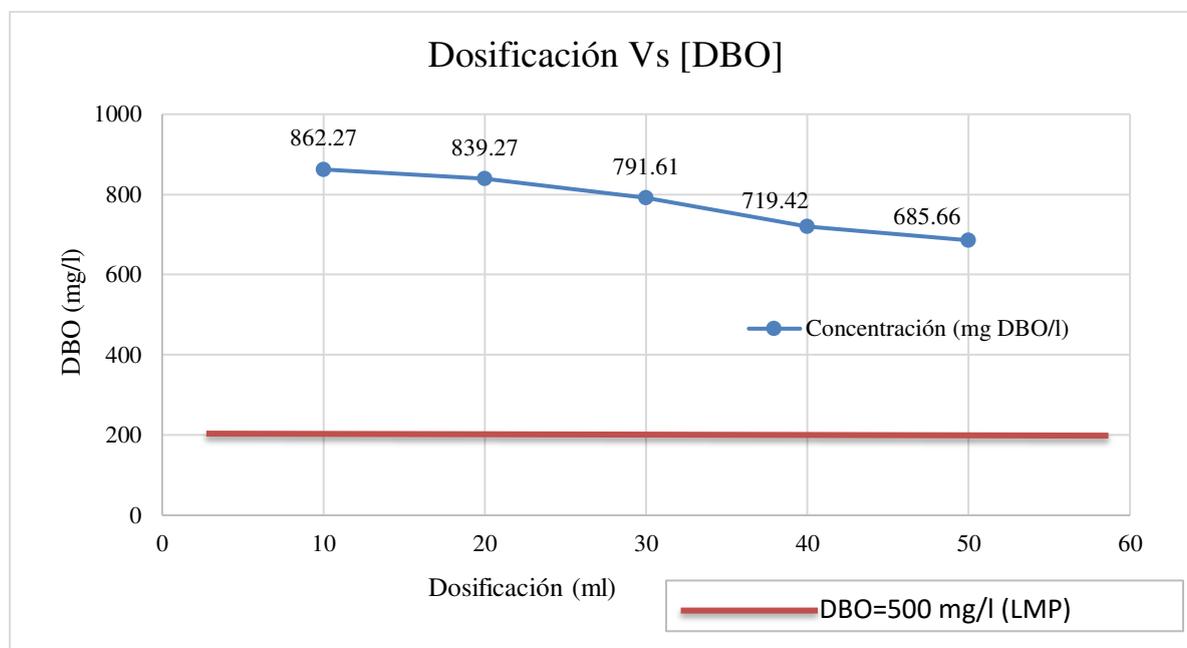
[] OXIDANTE	H2O2 al [10%]				
Dosificación	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺	3.12	3.01	2.84	2.61	2.48
Concentración inicial [DBO]	1182.45 mg/l				
RÉPLICAS	[] de DBO (mg/l)				
Primera Réplica	859.25	839.27	786.58	719.42	685.41
Segunda Réplica	862.29	835.31	791.61	715.37	691.33
Tercera Réplica	865.27	843.23	796.64	723.47	680.23
Concentración Final-[DBO]	862.27	839.27	791.61	719.42	685.66

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 11, tenemos el promedio de los resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO), los cuales fueron obtenidos con la concentración al 10 % de H₂O₂, donde las dosis empleadas fueron de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, así mismo las dosis utilizadas en el tratamiento fueron trabajadas en base a tres réplicas, obteniéndose un promedio final de trabajo. Se pudo apreciar también que los niveles de pH fueron disminuyendo de acuerdo a las dosis añadidas de peróxido de hidrógeno, llegando a alcanzar un valor final 2.48 para la dosis de 50 ml.

Figura 11

Variación de la DBO al 10% con H₂O₂



Nota. Elaboración propia

De la Figura 11, se observa una variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) que va disminuyendo en sus concentraciones de acuerdo a las dosis que se va adicionando de H₂O₂ de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, alcanzando para esta última una concentración residual de 685.66 mg/l, y una remoción total de 496.79 mg/l. Con relación a este segundo tratamiento con peróxido de hidrógeno al 10% de concentración, la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml, sin embargo, cabe indicar que ninguno de los resultados obtenidos llegó a cumplir con el Límite Máximo Permisible establecido en 1500 mg/l.

4.3.3. Concentración de la DBO con tratamiento al 15% de oxidante

Tabla 12

Concentraciones promedio de DBO con tratamiento al 15 de oxidante

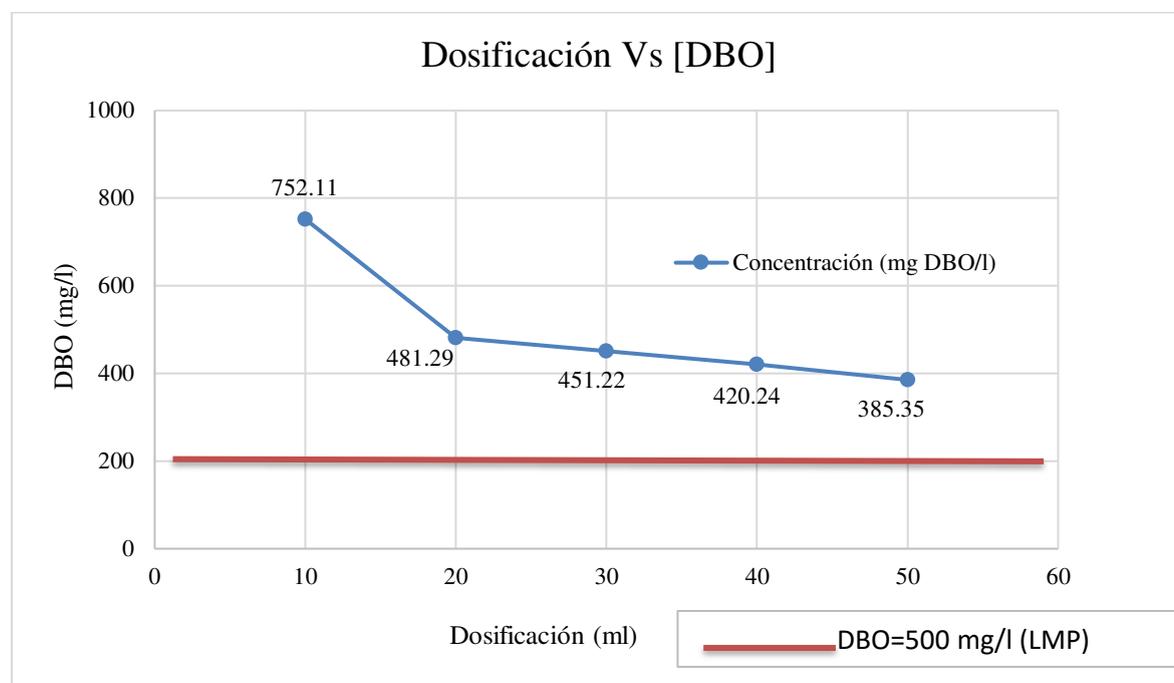
[] OXIDANTE		H2O2 al [15%]			
Dosificación	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺	3.01	2.82	2.71	2.65	2.54
Concentración inicial (DBO)	1182.45 mg/l				
RÉPLICAS	[] de DBO (mg/l)				
Primera Réplica	752.06	485.34	447.22	416.21	389.35
Segunda Réplica	755.16	477.29	451.18	420.24	381.31
Tercera Réplica	749.11	481.24	455.26	424.27	385.39
Concentración Final (DBO)	752.11	481.29	451.22	420.24	385.35

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 12, tenemos el promedio de los resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), los cuales fueron obtenidos con la concentración al 15% de H₂O₂, donde las dosis empleadas fueron de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, así mismo las dosis utilizadas en el tratamiento fueron trabajadas en base a tres réplicas, obteniéndose un promedio final de trabajo. Se pudo apreciar también que los niveles de pH fueron disminuyendo de acuerdo a las dosis añadidas de peróxido de hidrógeno, llegando a alcanzar un valor final 2.54 para la dosis de 50

Figura 12

Variación de la DBO al 15% con H₂O₂



De la Figura 12, se observa una variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) que va disminuyendo en sus concentraciones de acuerdo a las dosis que se va adicionando de H₂O₂ de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, alcanzando una concentración residual mínima de 385.35 mg/l, y una remoción total de 797.1 mg/l. Con relación a este tercer tratamiento con peróxido de hidrógeno al 15% de concentración, la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml, así mismo, cabe indicar que la primera dosis de 10 ml no llegó a cumplir con el Límite Máximo Permisible establecido en 500 mg/l, sin embargo, las dosis de 20, 30, 40 y 50 ml sí llegaron a cumplir con el LMP.

4.3.4. Concentración de la DBO con tratamiento al 20% de oxidante

Tabla 13

Concentraciones promedio de DBO con tratamiento al 20% de oxidante

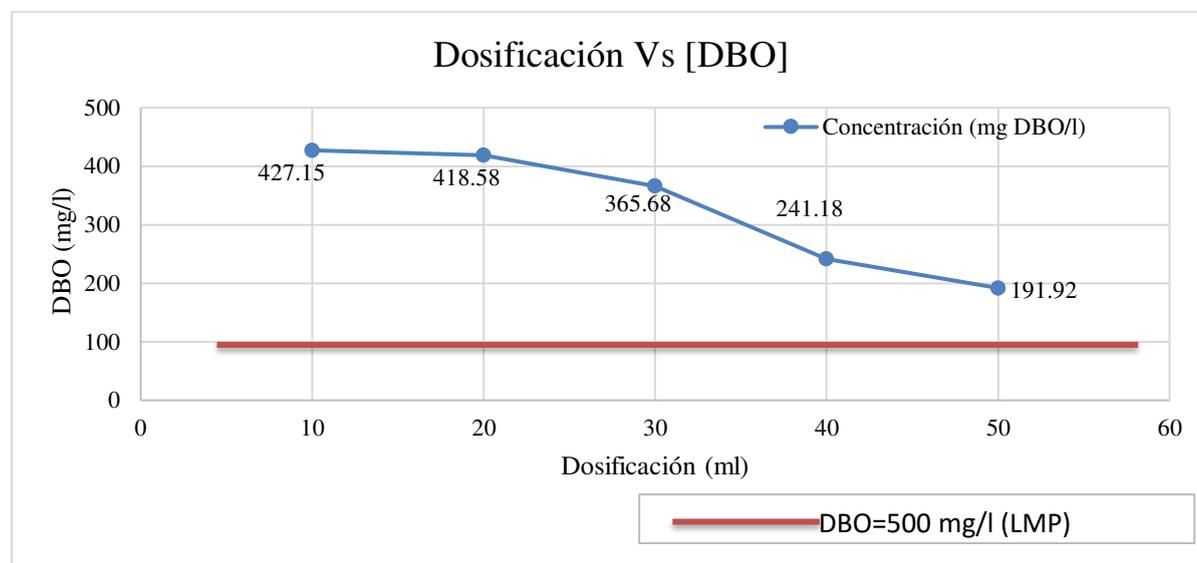
[] OXIDANTE		H2O2 al [20%]				
Dosificación		10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺		2.92	2.82	2.71	2.62	2.52
Concentración inicial (DBO)		1182.45 mg/l				
RÉPLICAS		[] de DBO (mg/l)				
Primera Réplica		427.11	413.58	361.64	242.13	195.92
Segunda Réplica		424.15	418.62	365.68	240.18	191.86
Tercera Réplica		430.19	423.54	369.72	241.23	187.98
Concentración (DBO)	Final	427.15	418.58	365.68	241.18	191.92

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 13, tenemos el promedio de los resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO), los cuales fueron obtenidos con la concentración al 20 % de H₂O₂, donde las dosis empleadas fueron de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, así mismo las dosis utilizadas en el tratamiento fueron trabajadas en base a tres réplicas, obteniéndose un promedio final de trabajo. Se pudo apreciar también que los niveles de pH fueron disminuyendo de acuerdo a las dosis añadidas de peróxido de hidrógeno, llegando a alcanzar un valor final 2.52 para la dosis de 50 ml.

Figura 13

Variación de la DBO al 20% con H₂O₂



Nota. Elaboración propia

De la Figura 13, se observa una variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) quien va disminuyendo en sus concentraciones de acuerdo a las dosis que se va adicionando de H₂O₂ de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, alcanzando una concentración residual mínima de 191.92 mg/l, y una remoción total de 990.53 mg/l. Con relación a este cuarto tratamiento con peróxido de hidrógeno al 20% de concentración, la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml, así mismo, cabe indicar que todas las dosis llegaron a cumplir con el Límite Máximo Permissible establecido en 500 mg/l.

4.3.5. Concentración de la DBO con tratamiento al 25% de oxidante

Tabla 14

Concentraciones promedio de DBO con tratamiento al 25% de oxidante

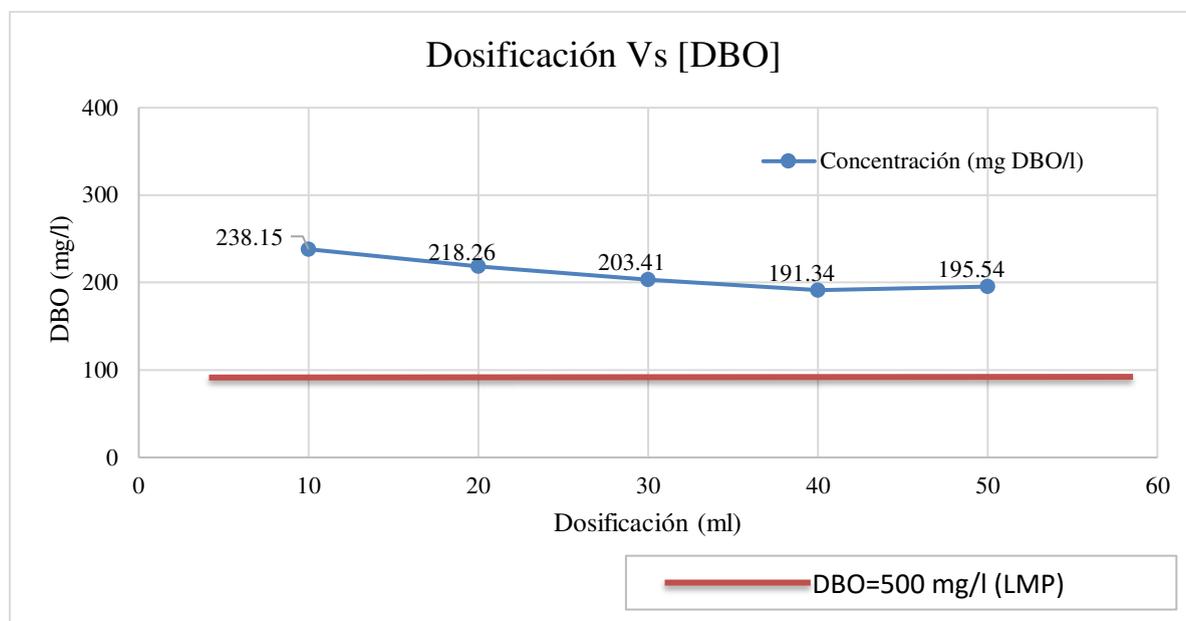
[] OXIDANTE	H2O2 al [25%]				
Dosificación	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺	2.86	2.35	2.46	2.38	2.25
Concentración inicial (DBO)	1182.45 mg/l				
RÉPLICAS	[] de DBO (mg/l)				
Primera réplica	235.21	218.26	206.46	191.35	195.54
Segunda réplica	238.09	222.31	203.35	196.33	191.51
Tercera réplica	241.15	214.21	200.41	186.34	199.57
Concentración Final- [DBO]	238.15	218.26	203.41	191.34	195.54

Nota. Elaboración propia

En la Tabla 14, tenemos el promedio de los resultados de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DQO), los cuales fueron obtenidos con la concentración al 25% de H₂O₂, donde las dosis empleadas fueron de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, así mismo las dosis utilizadas en el tratamiento fueron trabajadas en base a tres réplicas, obteniéndose un promedio final de trabajo. Se pudo apreciar también que los niveles de pH fueron disminuyendo de acuerdo a las dosis añadidas de peróxido de hidrógeno, llegando a alcanzar un valor final 2.25 para la dosis de 50 ml.

Figura 14

Variación de la DBO al 25% con H₂O₂



Nota. Elaboración propia

De la Figura 14, se observa una variación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) quien va disminuyendo en sus concentraciones de acuerdo a las dosis que se va adicionando de H₂O₂ de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, alcanzando una concentración residual mínima de 195.54 mg/l, y una remoción total de 986.91 mg/l. Con relación a este cuarto tratamiento con peróxido de hidrógeno al 25% de concentración, la máxima remoción alcanzada fue con la dosis de 50 ml, así mismo, cabe indicar que todas las dosis llegaron a cumplir con el Límite Máximo Permissible establecido en 500 mg/l.

4.3.6. Eficiencias alcanzadas para la Remoción de la DQO Y DBO

4.3.7. Eficiencias del tratamiento con Peróxido de Hidrógeno para DQO

4.3.7.1. Eficiencias al 5% con H₂O₂. Terminada la dosificación de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, con la concentración al 5% de peróxido de hidrógeno (H₂O₂), se procedió a determinar las eficiencias para cada caso en particular, tomando en cuenta la concentración inicial y final de la DQO.

Tabla 15

Porcentajes de eficiencias para DQO con tratamiento al 5% de oxidante

[] OXIDANTE		H2O2 al [5%]			
Dosificación	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺	3.32	3.22	3.13	3.04	2.91
Concentración inicial- DQO	2878.39	2878.4	2878.41	2878.42	2878.43
Concentración Residual- DQO	2115.25	2056.34	2020.67	2006.22	1936.25
E (%)	26.5	28.6	29.8	30.3	32.7

Nota. Elaboración propia

De la tabla 15, tenemos que los resultados obtenidos para las 5 dosis empleadas en el tratamiento las eficiencias varían de acuerdo las dosis empleadas de Peróxido de Hidrógeno, donde se observa a su vez que el mayor porcentaje de eficiencia se alcanzó con la dosificación de 50 ml, llegando hasta 32.7%.

4.3.7.2.Eficiencias al 10% con H2O2. Terminada la dosificación de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, con la concentración al 10% de peróxido de hidrógeno (H₂O₂), se procedió a determinar las eficiencias para cada caso en particular, tomando en cuenta la concentración inicial y final de la DQO.

Tabla 16

Porcentajes de Eficiencias para DQO con tratamiento al 10% de oxidante

[] OXIDANTE	H2O2: 10%				
Dosificación	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺	3.12	3.01	2.84	2.61	2.48
Concentración inicial- DQO	2878.39	2878.4	2878.41	2878.42	2878.43
Concentración Residual- DQO	2015.25	2005.31	1993.31	1914.16	1825.49
E (%)	30.0	30.3	30.7	33.5	36.6

Nota. Elaboración propia

De la tabla 16, tenemos que los resultados obtenidos para las 5 dosis empleadas en el tratamiento las eficiencias varían de acuerdo las dosis empleadas de Peróxido de Hidrógeno, donde se observa a su vez que el mayor porcentaje de eficiencia se alcanzó con la dosificación de 50 ml, llegando hasta 36.6%.

4.3.7.3.Eficiencias al 15% con H2O2. Terminada la dosificación de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, con la concentración al 15% de peróxido de hidrógeno (H₂O₂), se procedió a determinar las eficiencias para cada caso en particular, tomando en cuenta la concentración inicial y final de la DQO.

Tabla 17*Eficiencias alcanzadas para DQO con tratamiento al 15% de oxidante*

[] OXIDANTE	H2O2: 15%				
Dosificación	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺	3.01	2.82	2.71	2.65	2.54
Concentración inicial- DQO	2878.39	2878.4	2878.41	2878.42	2878.43
Concentración Residual- DQO	1551.24	1487.44	1374.27	1255.71	1112.35
E (%)	46.1	48.3	52.3	56.4	61.4

Nota. Elaboración propia

De la tabla 17, tenemos que los resultados obtenidos para las 5 dosis empleadas en el tratamiento las eficiencias varían de acuerdo las dosis empleadas de Peróxido de Hidrógeno, donde se observa a su vez que el mayor porcentaje de eficiencia se alcanzó con la dosificación de 50 ml, llegando hasta 61.4%.

4.3.7.4.Eficiencias al 20% con H2O2. Terminada la dosificación de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, con la concentración al 20% de peróxido de hidrógeno (H₂O₂), se procedió a determinar las eficiencias para cada caso en particular, tomando en cuenta la concentración inicial y final de la DQO.

Tabla 18*Eficiencias alcanzadas para DQO con tratamiento al 20% de H₂O₂*

[] OXIDANTE		H ₂ O ₂ : 20%				
Dosificación		10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺		2.92	2.82	2.71	2.62	2.52
Concentración inicial- DQO		2878.39	2878.4	2878.41	2878.42	2878.43
Concentración Residual- DQO		1228.13	1122.58	985.49	870.75	692.85
E (%)		57.3	61.0	65.8	69.7	75.9

Nota. Elaboración propia

De la tabla 18, tenemos que los resultados obtenidos para las 5 dosis empleadas en el tratamiento las eficiencias varían de acuerdo las dosis empleadas de Peróxido de Hidrógeno, donde se observa a su vez que el mayor porcentaje de eficiencia se alcanzó con la dosificación de 50 ml, llegando hasta 75.9 %.

4.3.7.5. Eficiencias al 25% con H₂O₂. Terminada la dosificación de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, con la concentración al 25% de peróxido de hidrógeno (H₂O₂), se procedió a determinar las eficiencias para cada caso en particular, tomando en cuenta la concentración inicial y final de la DQO.

Tabla 19

Porcentaje de eficiencias alcanzadas para DQO con tratamiento al 25% de peróxido

[] OXIDANTE	H2O2 al [25%]				
Dosificación	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺	2.86	2.35	2.46	2.38	2.25
Concentración inicial- [DQO] (mg/l)	2878.39	2878.4	2878.41	2878.42	2878.43
Concentración Residual- [DQO](mg/l)	678.19	569.32	457.46	336.15	210.14
E (%)	76.4	80.2	84.1	88.3	92.7

Nota. Elaboración propia

De la tabla 19, tenemos que los resultados obtenidos para las 5 dosis empleadas en el tratamiento las eficiencias varían de acuerdo las dosis empleadas de Peróxido de Hidrógeno, donde se observa a su vez que el mayor porcentaje de eficiencia se alcanzó con la dosificación de 50 ml, llegando hasta 92.7%.

4.3.8. Eficiencias porcentuales en el tratamiento con Peróxido para la DBO

4.3.8.1. Eficiencias al 5% con H2O2. Terminada la dosificación de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, con la concentración al 5% de peróxido de hidrógeno (H2O2), se procedió a determinar las eficiencias para cada caso en particular, tomando en cuenta la concentración inicial y final de la DBO.

Tabla 20

Porcentajes de eficiencias para DBO con tratamiento al 5% de oxidante

[] OXIDANTE	H2O2 al [5%]				
Dosificación	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺	3.32	3.22	3.13	3.04	2.91
Concentración inicial- [DBO]	1182.45	1182.46	1182.47	1182.48	1182.49
Concentración Residual- [DBO]	987.37	894.46	824.85	792.68	772.95
E (%)	16.5	24.4	30.2	33.0	34.6

Nota. Elaboración propia

De la tabla 20, tenemos que los resultados obtenidos para las 5 dosis empleadas en el tratamiento las eficiencias varían de acuerdo las dosis empleadas de Peróxido de Hidrógeno, donde se observa a su vez que el mayor porcentaje de eficiencia se alcanzó con la dosificación de 50 ml, llegando hasta 34.6%.

4.3.8.2.Eficiencias al 10% con H2O2. Terminada la dosificación de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, con la concentración al 10 % de peróxido de hidrógeno (H2O2), se procedió a determinar las eficiencias para cada caso en particular, tomando en cuenta la concentración inicial y final de la DBO.

Tabla 21*Porcentaje de eficiencias para DBO con tratamiento al 10% de oxidante*

[] OXIDANTE	H2O2 al 10%				
Dosificación	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺	3.12	3.01	2.84	2.61	2.48
Concentración inicial- [DBO]	1182.45	1182.46	1182.47	1182.48	1182.49
Concentración Residual- [DBO]	862.27	839.27	791.61	719.42	685.66
E (%)	27.1	29.0	33.1	39.2	42.0

Nota. Elaboración propia

De la tabla 21, tenemos que los resultados obtenidos para las 5 dosis empleadas en el tratamiento las eficiencias varían de acuerdo las dosis empleadas de Peróxido de Hidrógeno, donde se observa a su vez que el mayor porcentaje de eficiencia se alcanzó con la dosificación de 50 ml, llegando hasta 42.0%.

4.3.8.3.Eficiencias al 15% con H2O2. Terminada la dosificación de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, con la concentración al 15% de peróxido de hidrógeno (H2O2), se procedió a determinar las eficiencias para cada caso en particular, tomando en cuenta la concentración inicial y final de la DBO.

Tabla 22

Porcentaje de eficiencias para DBO con tratamiento al 15% de oxidante

[] OXIDANTE	H ₂ O ₂ al [15%]				
Dosificación	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺	3.01	2.82	2.71	2.65	2.54
Concentración inicial- [DBO]	1182.45	1182.46	1182.47	1182.48	1182.49
Concentración Residual- [DBO]	752.11	481.29	451.22	420.24	385.35
E (%)	36.4	59.3	61.8	64.5	67.4

Nota. Elaboración propia

De la tabla 22, tenemos que los resultados obtenidos para las 5 dosis empleadas en el tratamiento las eficiencias varían de acuerdo las dosis empleadas de Peróxido de Hidrógeno, donde se observa a su vez que el mayor porcentaje de eficiencia se alcanzó con la dosificación de 50 ml, llegando hasta 67.4%.

4.3.8.4.Eficiencias al 20% con H₂O₂. Terminada la dosificación de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, con la concentración al 20% de peróxido de hidrógeno (H₂O₂), se procedió a determinar las eficiencias para cada caso en particular, tomando en cuenta la concentración inicial y final de la DBO.

Tabla 23*Porcentaje de eficiencias para DBO con tratamiento al 20% de oxidante*

[] OXIDANTE	H2O2 al [20%]				
Dosificación	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺	2.92	2.82	2.71	2.62	2.52
Concentración inicial- [DBO]	1182.45	1182.46	1182.47	1182.48	1182.49
Concentración Residual-[DBO]	427.15	418.58	365.68	241.18	191.92
E (%)	63.9	64.6	69.1	79.6	83.8

Nota. Elaboración propia

De la tabla 23, tenemos que los resultados obtenidos para las 5 dosis empleadas en el tratamiento las eficiencias varían de acuerdo las dosis empleadas de Peróxido de Hidrógeno, donde se observa a su vez que el mayor porcentaje de eficiencia se alcanzó con la dosificación de 50 ml, llegando hasta 83.8%.

4.3.8.5.Eficiencias al 25% con H2O2. Terminada la dosificación de 10, 20, 30, 40 y 50 ml, con la concentración al 25% de peróxido de hidrógeno (H2O2), se procedió a determinar las eficiencias para cada caso en particular, tomando en cuenta la concentración inicial y final de la DBO.

Tabla 24*Porcentaje de eficiencias para DBO con tratamiento al 25% de oxidante*

[] OXIDANTE	H2O2 al [25%]				
Dosificación	10ml	20ml	30ml	40ml	50ml
Potencial de H ⁺	2.86	2.35	2.46	2.38	2.25
Concentración inicial- [DBO]	1182.45	1182.46	1182.47	1182.48	1182.49
Concentración Residual- [DBO]	238.15	218.26	203.41	191.34	195.54
E (%)	79.9	81.5	82.8	83.8	83.5

Nota. Elaboración propia

De la tabla 24, tenemos que los resultados obtenidos para las 5 dosis empleadas en el tratamiento las eficiencias varían de acuerdo las dosis empleadas de Peróxido de Hidrógeno, donde se observa a su vez que el mayor porcentaje de eficiencia se alcanzó con la dosificación de 40 ml, llegando hasta 83.8%.

4.4. Análisis Estadístico

El desarrollo estadístico se realizará en función a los resultados obtenidos en la investigación, en tal sentido, considerando los parámetros de estudio de la DQO y DBO, se agruparán con relación a los 5 tratamientos utilizados en la investigación:

Tabla 25

Agrupación de Resultados según Tratamiento aplicado para remoción de DQO y DBO

N° de Tratamientos	de Dosificación	[] inicial	[] inicial	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	(%)	(%)
		DQO (mg/l)	DBO (mg/l)			Eficiencia DQO	Eficiencia DBO
T1	D1	2878.39	1182.45	2115.25	987.37	26.5	16.5
T1	D2	2878.4	1182.46	2056.34	894.46	28.6	24.4
T1	D3	2878.41	1182.47	2020.67	824.85	29.8	30.2
T1	D4	2878.42	1182.48	2006.22	792.68	30.3	33.0
T1	D5	2878.43	1182.49	1936.25	772.95	32.7	34.6
T2	D1	2878.39	1182.45	2015.25	862.27	30.0	27.1
T2	D2	2878.4	1182.46	2005.31	839.27	30.3	29.0
T2	D3	2878.41	1182.47	1993.31	791.61	30.7	33.1
T2	D4	2878.42	1182.48	1914.16	719.42	33.5	39.2
T2	D5	2878.43	1182.49	1825.49	685.66	36.6	42.0
T3	D1	2878.39	1182.45	1551.24	752.11	46.1	36.4
T3	D2	2878.4	1182.46	1487.44	481.29	48.3	59.3
T3	D3	2878.41	1182.47	1374.27	451.22	52.3	61.8
T3	D4	2878.42	1182.48	1255.71	420.24	56.4	64.5
T3	D5	2878.43	1182.49	1112.35	385.35	61.4	67.4
T4	D1	2878.39	1182.45	1228.13	427.15	57.3	63.9
T4	D2	2878.4	1182.46	1122.58	418.58	61.0	64.6
T4	D3	2878.41	1182.47	985.49	365.68	65.8	69.1
T4	D4	2878.42	1182.48	870.75	241.18	69.7	79.6
T4	D5	2878.43	1182.49	692.85	191.92	75.9	83.8
T5	D1	2878.39	1182.45	678.19	238.15	76.4	79.9
T5	D2	2878.4	1182.46	569.32	218.26	80.2	81.5
T5	D3	2878.41	1182.47	457.46	203.41	84.1	82.8
T5	D4	2878.42	1182.48	336.15	191.34	88.3	83.8
T5	D5	2878.43	1182.49	210.14	195.54	92.7	83.5

Nota. Elaboración propia

Para determinar el DCA en la tabla 25 que corresponde a la aplicación del tratamiento y su afectación en la disminución de la DBO y DQO, procede a aplicar la prueba de normalidad Anderson Darling (AD) en lo cual se tiene:

4.4.1. Prueba de Normalidad

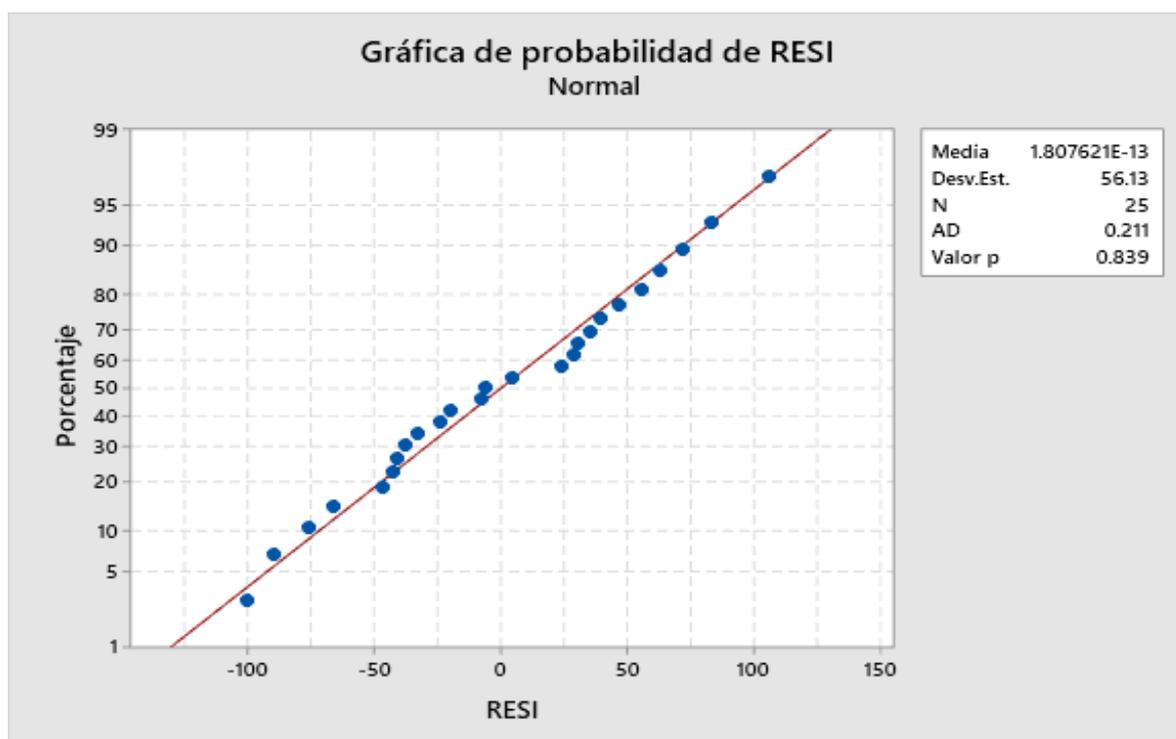
Para la disminución de la DQO, la prueba de Normalidad para los errores (AD) y se aplican los siguientes argumentos:

H₀: Los residuos se distribuyen normalmente

H_a: Los residuos no se distribuyen normalmente

Figura 15

Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de DQO aplicando los tratamientos



Nota. Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo calculado se obtiene que el valor $p > 0.05$ como también el indicador (AD= 0.211) por consiguiente se acepta hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos presentan una distribución normal.

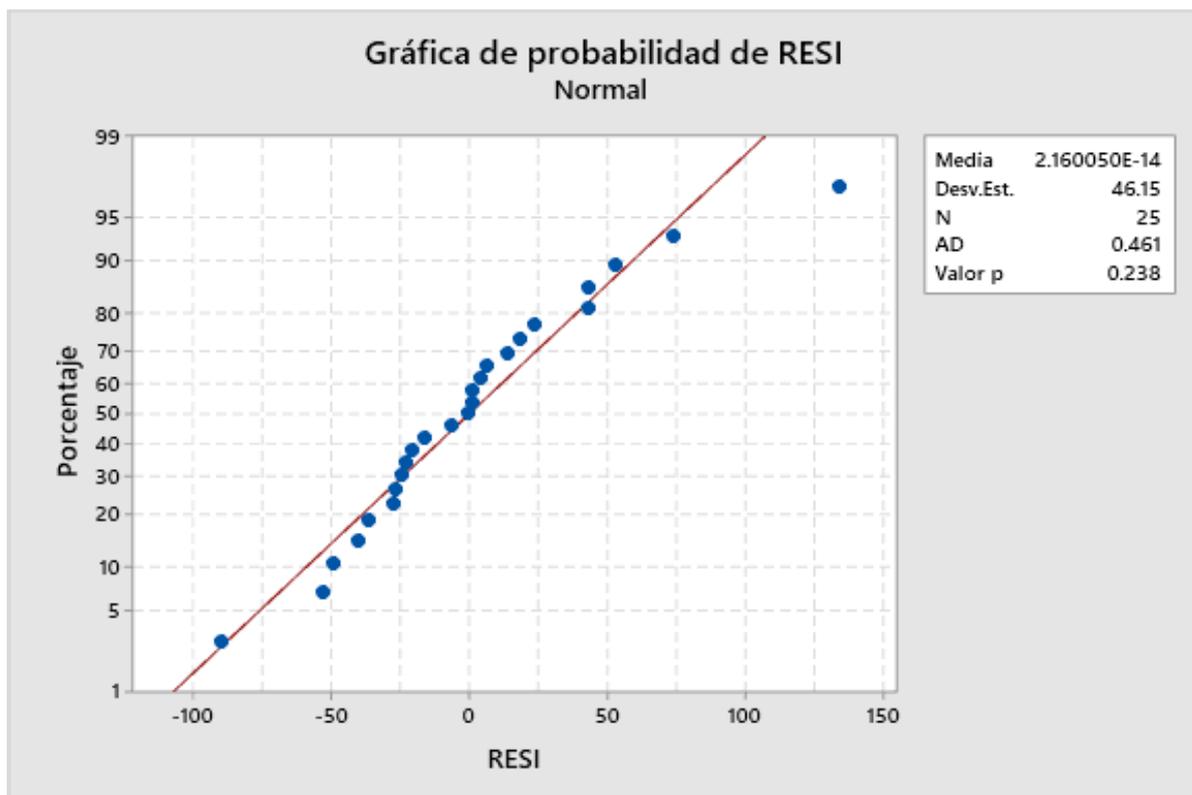
Para la disminución de la DBO, la prueba de Normalidad para los errores (AD) Se aplican los siguientes argumentos:

H0: Los residuos se distribuyen normalmente

Ha: Los residuos no se distribuyen normalmente

Figura 16

Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de DBO aplicando los tratamientos



Nota. Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo calculado se obtiene que el valor $p > 0.05$, como también el indicador ($AD = 0.461$) por consiguiente se acepta la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores presentan una distribución normal.

4.4.2. Homogeneidad de Varianzas

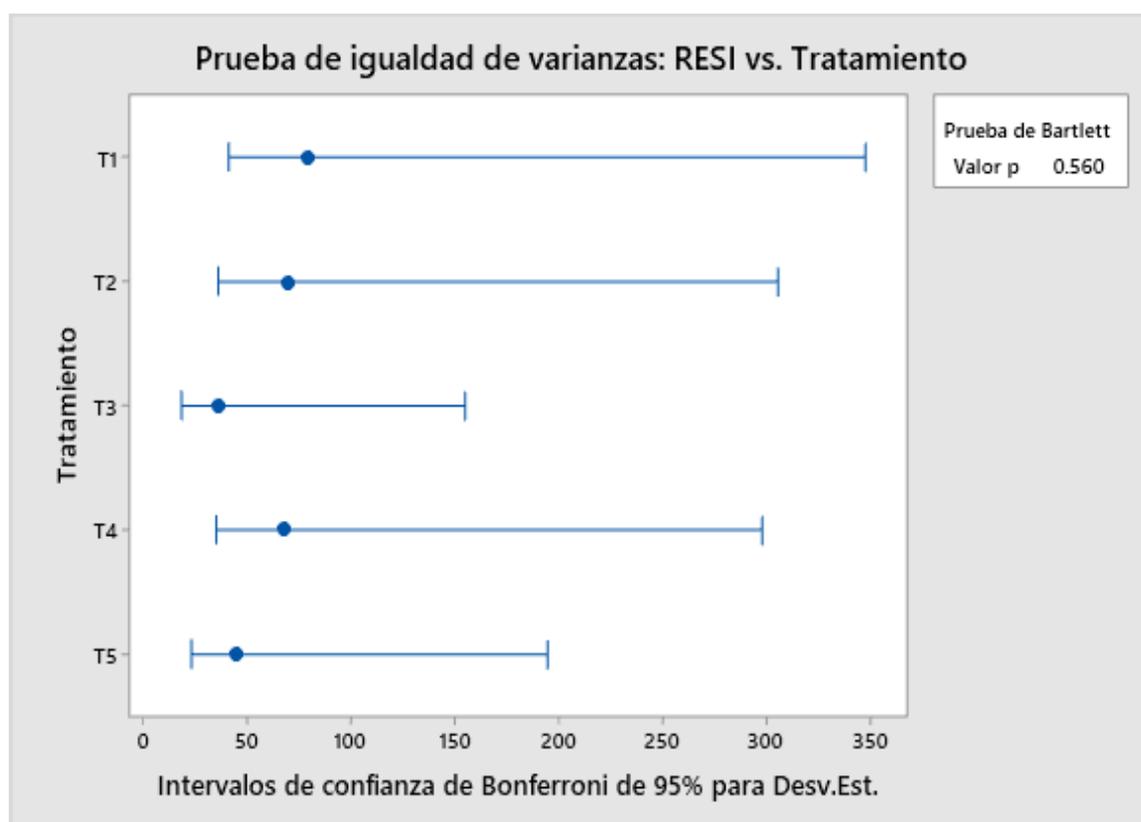
Para ambos casos se plantea:

H₀: Las varianzas son iguales (homogeneidad de varianzas) .

H_a: Al menos una varianza es diferente. Para la disminución de la DQO aplicando la prueba de Bartlett se tiene:

Figura 17

Prueba de Igualdad de Varianzas según análisis de Bartlett para la DQO



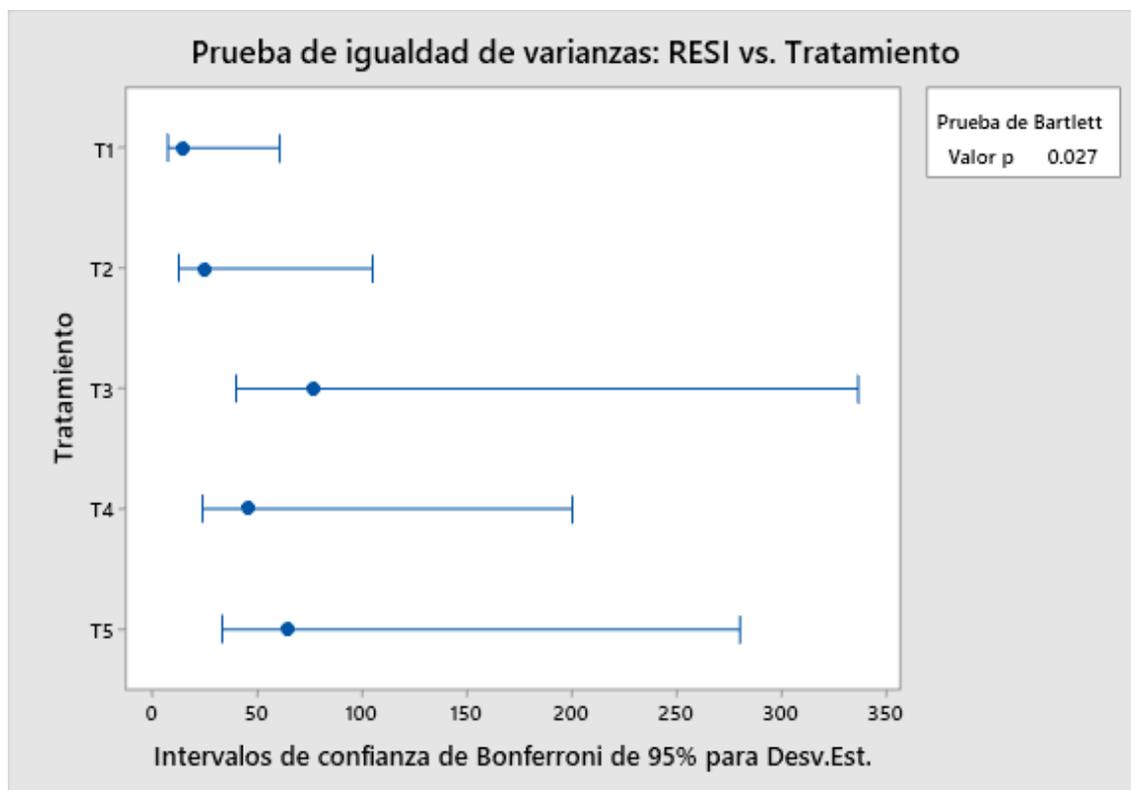
Nota. Elaborado en MINITAB versión 2019

Calculando el índice de Bartlett = 2.99 y p valor = 0.560 > 0.05, se acepta la hipótesis nula por consiguiente con un 5% de significancia se acepta el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Para la disminución de la DBO aplicando la prueba de Bartlett se tiene:

Figura 18

Prueba de Igualdad de Varianzas según análisis de Bartlett para la DBO



Nota. Elaborado en MINITAB versión 2019

Calculando el índice de Bartlett = 10.93 y p valor = 0.027 < 0.05, se rechaza la hipótesis nula por consiguiente al menos una varianza es diferente.

Esto implica que los datos presentan variantes de orden de homogeneidad presentando homogeneidad de varianzas en la DQO que en la DBO debido a la manera de agrupar los datos en el laboratorio y porque la prueba DBO presenta mayor cantidad de días para la verificación de resultados que la prueba DQO en el laboratorio.

4.4.3. Prueba hipótesis DCA

Al menos un tratamiento es más efectivo FENTON en la remoción de la DQO en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2022.

H0: Los tratamientos no presentan diferencias significativas en las medianas entre sí.

Ha: Los tratamientos presentan diferencias significativas en las medianas entre sí.

Teniendo en cuenta que los datos presentan una distribución normal se aplica la prueba de Fisher, el cual el coeficiente $F= 467.06$ y un $p\text{-valor} = 0.000$ y sabiendo que $p\text{-valor} < 0.05$ se decide aceptarla hipótesis alterna y rechazar la hipótesis nula es decir los tratamientos presentan diferencias significativas entre sí.

Al menos un tratamiento es más efectivo FENTON en la remoción de la DBO en efluentes decurtiembre de la empresa IPEPESA, 2022.

H0: Los tratamientos no presentan diferencias significativas en las medianas entre sí.

Ha: Los tratamientos presentan diferencias significativas en las medianas entre sí.

Teniendo en cuenta que los datos presentan una distribución normal se aplica la prueba Fisher, el cual el coeficiente $F= 122.02$ y un $p\text{-valor} = 0.000$ y sabiendo que $p\text{-valor} < 0.05$ se decide aceptarla hipótesis alterna y rechazar la hipótesis nula es decir los tratamientos presentan diferencias significativas entre sí.

4.4.4. Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey)

Prueba Tukey:

H0 : $\mu_i = \mu_j$

Ha: $\mu_i \neq \mu_j$

Por lo que se tiene: Para la remoción de DQO

Tabla 26

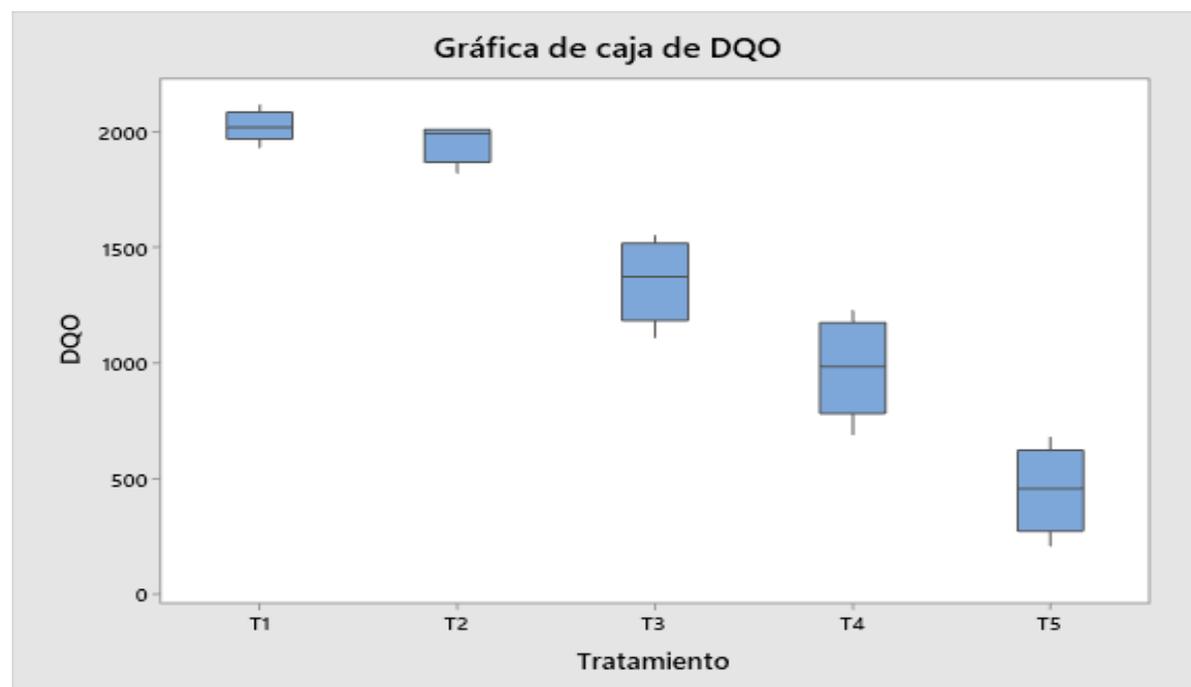
Prueba Tukey de Aplicación de tratamientos para la disminución de la DQO en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2022

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T1	5	2026.95	A
T2	5	1950.70	A
T3	5	1356.20	B
T4	5	979.96	C
T5	5	450.25	D

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, elaborado en MINITAB versión 19.

Figura 19

Presentación de Resultados de la prueba tukey respecto a la remoción de la DQO



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo que se desprende que el T5 es el tratamiento más eficiente en la remoción de DQO el cual consiste en aplicar en tratamiento FENTON que consiste en tratar el agua con H₂O₂ al 25% de concentración, con una dilución específica remueve eficientemente con una media agrupada de 450.25, presentando el valor más bajo en las agrupaciones verificando su eficiencia.

Para la remoción de DBO:

Tabla 27

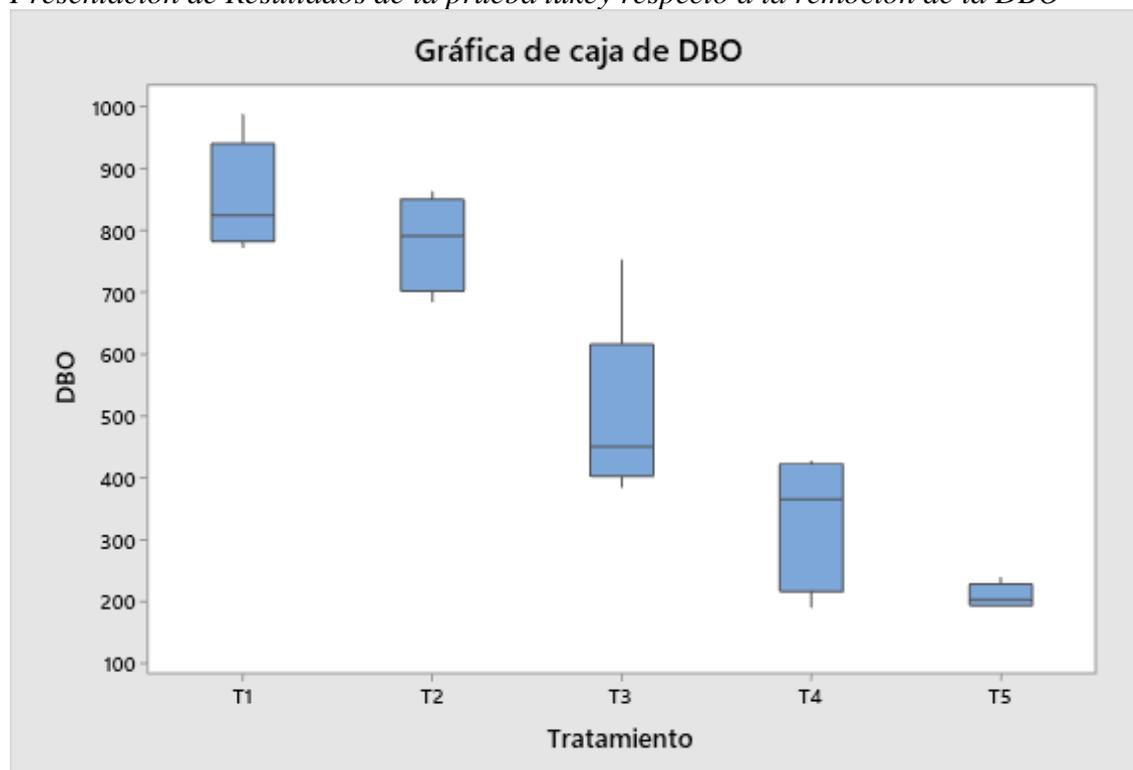
Prueba Tukey de Aplicación de tratamientos para la disminución de la DBO en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2022

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
T1	5	854.462	A
T2	5	779.646	A
T3	5	498.042	B
T4	5	328.902	C
T5	5	209.340	D

Nota. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes, elaborado en MINITAB versión 19

Figura 20

Presentación de Resultados de la prueba tukey respecto a la remoción de la DBO



Nota. Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo que se desprende que el T5 es el tratamiento más eficiente en la remoción de DBO el cual consiste en aplicar en tratamiento FENTON que consiste en tratar el agua con H₂O₂ al 25% de concentración, con una dilución específica remueve eficientemente con una media agrupada de 209.340, presentando el valor más bajo en las agrupaciones verificando su eficiencia.

Lo que permite hacer un comparativo en la eficiencia de remoción de los tratamientos con FENTON en diferentes concentraciones y dosis diluidas en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2022:

Tabla 28

Comparación de aplicación de mejor tratamiento aplicado para la remoción de DBO y DQO en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2022

	DBO	DQO
Tratamiento	Tratamiento con peróxido de hidrógeno al 25%	Tratamiento con Peróxido de hidrógeno al 25%
Dosis	con Dosis de 50 ml	con Dosis de 50 ml
pH	2.25	2.25
Concentración (mg/l)	191.34	210.14
Eficiencia de remoción (%)	83.8	92.7

Nota. Elaboración propia

Tabla 29

Contrastación de Hipótesis de Investigación

HIPÓTESIS GENERAL	ARGUMENTACIÓN	CONTRASTACIÓN
La evaluación por procesos de oxidación Fenton permitirá conocer el grado de remoción de la DQO y DBO en efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA, 2022.	Se observa según el análisis realizado determinó que la oxidación Fenton permite remover en eficiencias mayores al 80% la DBO y DQO esto permite remover considerablemente estos parámetros para mitigar el grado de contaminación del agua.	Verdadera

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

Según los datos obtenidos en y aplicando el tratamiento adecuado los parámetros se encuentran fuera de LMP vigentes y aplicables por lo que se recomienda optimizar la calidad para utilizaciones específicas no para el consumo humano esto según la normativa vigente

Los niveles de los parámetros fisicoquímicos se encuentran fuera de los Límites Máximos Permisibles en los efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA.

Verdadera

Según los resultados obtenido el reactivo Fenton permite tener eficiencias mayores a 80% en una dosis optima de reactivo Fenton (peróxido de hidrógeno al 25% y diluido en 50ml)

La dosis óptima del reactivo Fenton permitirá remover la DQO y DBO en los efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA.

Verdadera

Según lo obtenido en la investigación el reactivo Fenton a concentración de 25% y diluido en 50 ml permite tener eficiencias de remoción mayores al 80% tanto en la DQO como en la DBO

El reactivo Fenton tiene una elevada eficiencia en la remoción de la DQO y DBO en los efluentes de curtiembre de la empresa IPEPESA.

Verdadera

Nota. Elaboración propia

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Favoria et al. (2021) en su estudio: “*Removing BOD, COD, and Decolorization of Batik Cual Wastewater using Fenton Mechanism*”, evaluaron la variación de parámetros en las aguas residuales textiles del Batik Cual mediante el proceso Fenton; dicho reactivo de Fenton consistió en 1ml de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) con $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, el cual fue mezclado con 100 ml de agua residual. El proceso de oxidación por el método de Fenton se llevó a cabo durante 24 horas y se continuó con la medición de DBO, DQO, el número de compuestos orgánicos de difícil descomposición y la concentración de color del agua residual. Los resultados demostraron que la eficiencia del mecanismo de Fenton para eliminar el color de las aguas residuales alcanzó un 97,8%, la eficiencia de la eliminación de DQO fue del 76,3%, la eficiencia de la eliminación de DBO fue el 75,2%, y la eficiencia de degradación de descomposición de la materia orgánica fue del 76,8%. Asimismo, otro hallazgo fue que, cuando se aplicaban cantidades más altas de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, la efectividad del proceso Fenton incrementa. El objetivo de nuestra investigación se basó principalmente en la remoción de la DQO y la DBO en muestras de efluentes de Curtiembre de la empresa IPEPESA, para lo cual se trabajaron con concentraciones de peróxido de Hidrógeno al 5, 10, 15, 20 y 25%, siendo la dosis de 50 ml para todos los casos la más eficiente, mediante el cual se obtuvieron resultados de eficiencia para la DQO del 32.7, 36.6, 61.4, 75.9 y 92.7% respectivamente; y para la DBO en el orden del 34.6, 42, 67.4, 83.8 y 83.5% respectivamente.

Medina et al. (2020) en su artículo denominado: “*Tratamiento de aguas residuales de camales mediante tecnologías avanzadas de oxidación: proceso fenton*”, tuvieron como objetivo mejorar la aplicación del proceso Fenton para degradar las aguas residuales del camal municipal de Chota-Perú. Para ello, los parámetros considerados fueron: DBO5, DQO, alcalinidad, dureza, pH, conductividad, sólidos totales, turbidez, temperatura, potencial óxido-reducción (ORP) y oxígeno disuelto (OD). Es así como, las muestras fueron tomadas al azar en

un horario de faena camal para luego ser homogeneizadas y obtener un volumen de 25 litros. Luego de ser depositadas en el laboratorio, se aplicó el proceso de Fenton, en el cual se evaluaron las interacciones de tres variables independientes del proceso: FeSO_4 , H_2O_2 y pH de acuerdo con el diseño de experimentos Box–Behnken. Con relación a los resultados obtenidos se demuestra que: la caracterización inicial brindó valores de DQO y DBO por encima de lo establecido por la normativa de aguas residuales, el tiempo de reacción más adecuado para el proceso de Fenton fue de 18 minutos (se logra una remoción significativa del DQO) y una dosificación de 2110,55 mg/L de FeSO_4 , 1092,67 mg/L de H_2O_2 y un pH de 3,22 logra una remoción máxima de DQO en 79,9% y una mejoría en la biodegradabilidad de 0,4 a 0,5. Por lo cual, se concluye que el proceso Fenton logra ser una alternativa eficaz para el tratamiento de aguas residuales. A diferencia de nuestra investigación, donde la muestra a tratar se trabajó con dosis de 5, 10, 15, 20 y 25 ml, concentraciones de 5, 10, 15, 20 y 25% de peróxido de hidrógeno, 25 ml de sulfato ferroso, tiempos de 30 minutos y a 250 RPM, se obtuvieron concentraciones residuales de 1936.25, 1825.49; 1112.35; 692.85 y 210.14 mg/l para la DQO y 772.95, 685.66, 385.35, 191.92 y 195.54 mg/l para la DBO respectivamente, alcanzando eficiencias del 32.7, 36.6, 61.4, 75.9 y 92.7% para la DQO y 34.6, 42, 67.4, 83.8 y 83.5% para la DBO respectivamente.

Yaranga, J (2021), en su tesis *“Eficiencia de la oxidación Fenton y Foto Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del botadero “El Porvenir”*, logró determinar la eficacia de los procesos de oxidación mencionados en la remoción DQO de un botadero en el distrito de El Tambo, Huancayo. Es así como parte de la investigación se realizó el estudio de las características de dos muestras de lixiviados; 500 mL para análisis de parámetros fisicoquímicos y de 250 ml para el análisis de DQO, considerando que se utilizó ácido sulfúrico (H_2SO_4) como preservante para la segunda. Con relación al análisis preliminar de la muestra; es decir, sin haber llevado a cabo aún el tratamiento de los lixiviados, se obtuvieron

concentraciones de 55818,00 ppm de DQO y 9058,00 ppm de DBO, la remoción de carga orgánica fue evaluada en términos del parámetro de DQO. Para los procesos de tratamiento, tanto de Fenton como de foto-Fenton se reguló el PH a 3 y 4. Es así como, con relación a los resultados obtenidos, se determinó que para un pH de 3 se logró remover 87,71% de DQO en el proceso de foto-Fenton y un 48,77% de DQO en el proceso de Fenton, mientras que para un pH de 4 se logró remover 90,68 % de DQO y un 53,66 % de DQO para el proceso foto-Fenton y Fenton respectivamente. Se concluye que, si bien ambos procesos son eficientes, el proceso de foto-Fenton alcanza mayores remociones por la radiación ultravioleta, lo cual acelera la mineralización de los compuestos orgánicos. De acuerdo a las condiciones operativas de nuestra investigación y las variables de estudio se inició los tratamientos con un pH inicial de 8.7 y agitación de 250 RPM para todos los casos, en tal sentido se pudo apreciar que de acuerdo a las concentraciones y dosis añadidas de peróxido de hidrógeno el pH se iba reduciendo, llegando a alcanzar de acuerdo a la última concentración de 25% y dosis de 50 ml un pH de 2.25, con lo cual se pudo obtener una eficiencia en la remoción de la DQO del 92.7%. Sin embargo, de acuerdo con estos últimos resultados, se puede indicar que el pH alcanzado se encuentra por debajo del Límite Máximo Permisible, ya que los tratamientos fueron realizados en medio ácido.

VI. CONCLUSIONES

Con relación al primer objetivo planteado los resultados obtenidos en la caracterización del efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, los niveles de pH y Temperatura se encuentran dentro de los LMP con valores de 8.7 y 24.9 respectivamente, mientras que las concentraciones de SST, AyG, DBO y DQO registraron valores de 764mg/l, 224.3 mg/l, 1182.45 mg/l y 2878.39 mg/l respectivamente excediendo los LMP- D.S N° 003-2002-PRODUCE.

Con relación al segundo objetivo específico los resultados obtenidos en la remoción de la DQO y DBO por Oxidación Fenton del efluente de curtiembre de la empresa IPEPESA, se obtuvo al 25% de peróxido de hidrógeno con dosis de 50 ml, llegando a niveles residuales de 210.14 mg/l y 191.92 mg/l para la DQO y DBO respectivamente, encontrándose estos valores dentro de los LMP- D.S N° 003-2002- PRODUCE.

Se concluye que de acuerdo a las 5 dosis (10, 20, 30, 40 y 50 ml) de Peróxido de Hidrógeno empleadas en el tratamiento del efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA, la dosis de 50 ml a una concentración del 25% alcanzó las mayores concentraciones residuales de 210.14 mg/l para la DQO; y con la dosis de 50 ml a una concentración del 20% se alcanzó para la DBO una concentración residual 191.92 mg/l, quienes presentaron concentraciones iniciales de 2878.39 y 118.45 mg/l respectivamente, cumpliendo de esta manera con los Límites Máximos Permisibles.

Finalmente, se concluye que las eficiencias máximas alcanzadas en la remoción de materia orgánica por oxidación Fenton con peróxido de hidrógeno al 20% de concentración y 50 ml de dosis, fue del 83.8% para la DBO, mientras que con la concentración al 25% y una dosis de 50 ml, la eficiencia de la DQO alcanzó el 92.7%.

VII. RECOMENDACIONES

Con la finalidad de reducir la concentración de materia orgánica de los Efluentes de Curtiembre de la empresa IPEPESA, se recomienda el uso de peróxido de hidrógeno con sulfato ferroso (catalizador) previo al tratamiento biológico a fin de mejorar las eficiencias en la remoción de contaminantes orgánicos.

Según la caracterización del efluente de curtiembre de la Empresa IPEPESA en la presente investigación se trabajó con concentraciones medias de DQO y DBO, por lo que se recomienda realizar otras investigaciones con efluentes de curtiembre que presenten concentraciones superiores al del presente estudio, a fin de conocer la eficiencia del método aplicado.

A fin de poder evaluar posibles cambios en la aplicación de peróxido de Hidrógeno en la eliminación de materia orgánica recalcitrante, se recomienda variar las condiciones operacionales del tratamiento desarrollado, como la dosis y concentración del reactivo Fenton, el tiempo de agitación, la temperatura a operar, el número de revoluciones y el volumen de trabajo a utilizar.

VIII. REFERENCIAS

- Agreda, A., & Dominguez, T. (2018). Influencia de la concentración de peróxido de hidrogeno y sulfato ferroso en la Remoción de la DBO de efluentes de Curtiembre pretratados mediante Coagulación – Floculación. Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <https://1library.co/document/ky6rp2oy-influencia-concentracion-hidrogeno-bioquimica-curtiembre-pretratados-coagulacion-floculacion.html>
- Aguilar, G. (2016). Remoción de materia orgánica proveniente del proceso de pelambre utilizando micro- nano burbujas en la curtiembre san pedro, ate vitarte, lima, 2016. Universidad César Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/71372/Aguilar_VGD
- Araníbar, M. (2016). Aplicación del reactivo fenton para la remoción de dco del lixiviado de un depósito de seguridad a escala laboratorio. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental]. Universidad Agraria La Molina. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v4i2.104
- Arroyo. (2019). Remoción de DQO en un efluente de la industria de alimentos mediante un proceso Foto-Fenton. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. [Tesis para optar al título de magíster en Ingeniería Civil]. Repositorio de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Obtenido de <https://escuelaingdspace.metabiblioteca.com.co/bitstream/handle/001/960/Arroyo>
- Arroyo, J. (2019). Una escuela en salida. Encuentros educativos en las periferias. Revista Razón y Fé, 280, 345-361. <https://revistas.comillas.edu/index.php/razonyfe/article/view/11922/11111>
- Carbonel, J., & Tamayo, J. (2018). Influencia de la iluminancia y tiempo de remoción de materia orgánica, expresada en DBO5, de efluentes de remojo en curtiembres, utilizando Chorea Pyrenoidosa en un fotobiorreactor a escala laboratorio. Universidad Nacional

- de Trujillo. [Tesis para optar el título Profesional de Ingeniero Ambiental]. Obtenido de https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/11439/CarbonellMunoz_J
- Castillo, M., & López, J. (2018). Tratamiento del agua residual industrial de la curtiembre Rolemt, para el cumplimiento de los valores máximos admisibles. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. Obtenido de <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/825>
- Condor, M. (2018). Evaluación de los efluentes de la empresa Industria Peletera Peruana S.A.[Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental]. Repositorio de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/519500682/EVALUACION-DE-LOS-EFLUENTES-DE-LA-EMPRESA-INDUSTRIA-CURTIEMBRE-1>
- Favoria, R., Novita, D., Sfriani, F., Sunanda, W., & Tiandho, Y. (2021). Removing BOD, COD, and Decolorization of Batik Cual Wastewater using Fenton Mechanism. Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-BiRuNi, 10(1), 138-148. doi: <https://pdfs.semanticscholar.org/2e42/f611f11ae5ec4148fbb226e6827d61fd4a41.pdf>
- Fitriyanto, N., Sari, A., Prasetyo, & Kurniawati, N. (25-26 de Noviembre de 2020). Usage of Fenton Reagent in Local Tannery Wastewater Bioremediation Biosystem. [Indonesia]. (W. S. Pandang, Entrevistador) International Conference on Sustainable Agriculture. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/757/1/012033>
- García, F., & Rodríguez, B. (2015). Evaluación del tratamiento de a.r.d del municipio de une, mediante coagulación con hidróxido de aluminio y oxidación química con peróxido y reactivo Fenton. Universidad de La Salle. [Trabajo de Grado]. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1618&context=ing_sanitaria
- Gil, E., Dobrosz, I., & Gómez, M. (2017). Coagulation-flocculation sequential with Fenton or

- Photo-Fenton processes as an alternative for the industrial textile wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, 191(15), 189-197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.015>
- Gil, M., Soto, A., Usma, J., & Gutiérrez, O. (2012). merging contaminants in waters: effects and possible treatments. *Services on Demand*, 7(2). doi: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552012000200005
- GilPavas, E., Dobrosz, I., & Gómez, M. (2017). Coagulation-flocculation sequential with Fenton or Photo-Fenton processes as an alternative for the industrial textile wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, 191, 189-197. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.01.015>
- Grijalva, A., Jiménez, M., & Ponce, H. (2020). Contaminación del agua y aire por agentes químicos. 4(4). doi: [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(4\).octubre.2020.79-93](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(4).octubre.2020.79-93)
- Inquilla, J., Calsina, W., & Velazco, B. (2017). La calidad educativa y administrativa vista desde dentro: caso Universidad Nacional del Altiplano – Puno –Perú 2017. *Comuniación*, 8(1). http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2219-71682017000100001
- Jaimes, D., & García, J. (2020). Importancia del concreto en el campo de la construcción. *Formación estratégica*, 2(1), 11-14. <https://www.formacionestrategica.com/index.php/foes/article/view/18>
- Lapeyre, M., & Pequeño, J. (2019). Efecto de la oxidación fenton sobre la materia orgánica de los lixiviados de la infraestructura y disposición final de residuos sólidos de cajamarca, 2019. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo. [Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos]. Obtenido de

<http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1227>

- López, R., Lupión, T., & Blanco, Á. (2017). Procesos de oxidación. Revista del Grupo de Investigación HUM-974, 1(1). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.136524>
- Marreros, P., & Meléndez, M. (2022). Análisis de la viabilidad y eficiencia del proceso de oxidación avanzada Fenton aplicado como tratamiento de aguas industriales [Tesis de licenciatura]. Universidad Privada del Norte. Marreros Lanchipa. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/29771>
- Medina, C., Montero, E., & Cruz, L. (2017). Optimización del proceso Fenton en el tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios. Revista de la Sociedad Química Perú, 82(4), 454-466. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=371950010007>
- Medina, C., Uriarte, W., Cardenas, E., & Orrego. (2020). Tratamiento de aguas residuales de camales mediante tecnologías avanzadas de oxidación: proceso fenton. Revista INGENIERÍA, 27(2), 165-174. <https://www.redalyc.org/journal/707/70764230005/>
- Méndez, R., Vidal, G., Márquez, F., & E, K. (2007). Producción Limpia en la Industria de Curtiembre. Santiago de Compostela, Galicia, España: Servicio de Publicación e Intercambio Científico. Obtenido de <https://www.usc.gal/omp/index.php/spic/catalog/book/431>
- Ministerio de la Producción. (2018). Evaluación para la sustitución de procesos y/o productos químicos para la producción limpia en la industria de curtiembres. Centro de Innovación Tecnológica del Cuero, Calzado e Industrias Conexas (01). https://www.itp.gob.pe/archivos/vtic/CCAL_001-2018.pdf
- Ortiz, N., Ayala, J., León, A., & Macheca, L. (2018). Extraction and recovery of sulphides from tanneries wastewater. Ingeniería y Desarrollo, 36(2), 285-297. <https://doi.org/10.14482/inde.36.2.10033>
- Ribeiro, J. P., Marques, C. C., Portugal, I., & Nunes, M. I. (2020). Fenton processes for AOX

removal from a kraft pulp bleaching industrial wastewater: Optimisation of operating conditions and cost assessment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(4).
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104032>

Rodriguez, M. (2020). Procesos de oxidación avanzada en el tratamiento de agua. Obtenido de http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/109361/Procesos_Oxidacion.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR04YAgDt78RLc3Nh6ps5_NnP3O2tfzJK4cIxqCHvtHNa-KeEV4bwInPS-A

Rosales, R. (2017). Reducción del contenido de colorantes en efluentes de la industria textil usando el proceso fenton [Tesis de licenciatura]. Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/16614>

Silva, j., & Salinas, D. (2022). La contaminación proveniente de la industria curtiembre, una aproximación a la realidad ecuatoriana. *Revista Científica UISRAEL*.
<http://doi:10.35290/rcui.v9n1.2022.427>

Sivagami, K., Sakthivel, P., & Indumathi, M. (2018). “Advanced oxidation processes for the treatment of tannery wastewater”. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(3), 3656 - 3663. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.06.004>

SUNASS. (Junio de 2022). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras. Obtenido de https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR_VdigitalConcomentario.pdf

Testolin, R., Mater, L., Sanches, E., Dal Conti, A., Corrêa, A., Groth, M. L., . . . Radetski, C. (2020). Comparison of the mineralization and biodegradation efficiency of the Fenton reaction and Ozone in the treatment of crude petroleum- contaminated water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(5), 1-8.
<http://doi:10.1016/j.jece.2020.104265>

- UNESCO. (2019). Garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos: implementación de políticas públicas en América Latina y el Caribe. UNESCO Office Montevideo and Regional Bureau for Science in Latin America and the Caribbean (pág. 240). Conférence ibéro-américainedes responsables de l'eau. Obtenido de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000370289>
- Vargas, L., Durán, J., Delgado, J., & Mendoza, R. (2015). Biokinetics parameters governing of BOD equation in a crab-processing industry wastewater. Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia, 38(2). https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702015000200003
- Velásquez, J. (2017). Contamination of soil and water by hydrocarbons in Colombia. Analysis of phytoremediation as a biotechnology strategy for recovery. Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD. <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1846/2065>
- Yaranga, J. (2021). Eficiencia de la oxidación Fenton y Foto Fenton en la remoción de DQO en lixiviados del botadero “El Porvenir”, distrito de El Tambo, Huancayo, Junín [Tesis de licenciatura]. Universidad César Vallejo. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12692/63563>