



**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO**

**APLICACIÓN DE OXIDACIÓN FENTON EN LA REMOCIÓN DE MATERIA  
ORGANICA DE AGUAS SERVIDAS DE CAMAL, 2022**

**Línea de investigación:**

**Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Vilca Espinoza, Alexander Anthony

**Asesor:**

Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio

(ORCID: 0000-0003-1485-5854)

**Jurado:**

Gómez Escriba, Benigno Paulo

Reyna Mandujano, Samuel Carlos

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

**Lima - Perú**

**2023**

# “APLICACIÓN DE OXIDACIÓN FENTON EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGANICA DE AGUAS SERVIDAS DE CAMAL, 2022”

## INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1	<a href="https://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	4%
2	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Fuente de Internet	1%
3	<a href="https://docplayer.es">docplayer.es</a> Fuente de Internet	1%
4	<a href="https://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	1%
5	<a href="https://repositorio.unh.edu.pe">repositorio.unh.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1%
6	<a href="https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar">bibliotecadigital.exactas.uba.ar</a> Fuente de Internet	<1%
7	<a href="https://digibug.ugr.es">digibug.ugr.es</a> Fuente de Internet	<1%
8	<a href="https://repositoriodspace.unipamplona.edu.co">repositoriodspace.unipamplona.edu.co</a> Fuente de Internet	<1%
9	<a href="https://worldwidescience.org">worldwidescience.org</a> Fuente de Internet	



Universidad Nacional  
**Federico Villarreal**

**VRIN** | VICERRECTORADO  
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

APLICACIÓN DE OXIDACIÓN FENTON EN LA REMOCIÓN DE MATERIA

ORGANICA DE AGUAS SERVIDAS DE CAMAL, 2022

Línea de investigación: Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación.

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

**Autor:**

Vilca Espinoza, Alexander Anthony

**Asesor:**

Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio

(ORCID: 0000-0003-1485-5854)

**Jurado:**

Gómez Escriba, Benigno Paulo

Reyna Mandujano, Samuel Carlos

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

Lima – Perú

2023

**DEDICATORIA:**

La presente tesis está dedicada primeramente a Dios, quien ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto. Y con todo mi corazón a mi abuela Guadalupe y a mi madre Felicita. Sus bendiciones a diario a lo largo de mi vida me protegen y me llevan por el camino del bien. Por eso les doy mi trabajo en ofrenda por su paciencia, cariño y apoyo incondicional hacia mi persona.

**AGRADECIMIENTO:**

Primeramente, agradezco a la Universidad Nacional Federico Villarreal por haberme permitido ser parte de ella y abierto las puertas de su seno científico para poder estudiar mi carrera, así como también a los diferentes docentes que brindaron sus conocimientos y su apoyo para seguir adelante día a día.

Agradezco también a mi asesor de tesis al Dr. Ing. Fernando Antonio Sernaque Auccahuasi por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido toda la paciencia para guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

Y para finalizar, agradezco a mi familia ya que gracias al afecto y apoyo moral han aportado en un alto porcentaje a mis ganas de seguir adelante en mi carrera profesional.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA:</b> -----	2
<b>AGRADECIMIENTO:</b> -----	3
<b>ÍNDICE GENERAL</b> -----	4
<b>INDICE DE TABLAS</b> -----	6
<b>INDICE DE FIGURAS</b> -----	7
<b>RESUMEN</b> -----	8
<b>ABSTRACT</b> -----	9
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> -----	10
<b>1.1. Descripción y formulación del problema</b> .....	12
<b>1.1.1. Problema general</b> .....	13
<b>1.1.2. Problemas específicos</b> .....	13
<b>1.2. Antecedentes</b> .....	14
<b>1.2.1. Nacionales</b> .....	14
<b>1.2.2. Internacionales</b> .....	15
<b>1.3. Objetivos</b> .....	18
<b>1.3.1. Objetivo General</b> .....	18
<b>1.3.2. Evaluar el proceso oxidación fenton en la remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal, 2022.</b> .....	18
<b>1.3.2. Objetivos específicos</b> .....	18
<b>1.4. Justificación</b> .....	19
<b>1.4.1. Justificación Teórica</b> .....	19
<b>1.4.2. Justificación Metodológica</b> .....	19
<b>1.4.3. Justificación Social</b> .....	19
<b>1.5. Hipótesis</b> .....	19
<b>1.5.1. Hipótesis General:</b> .....	19
<b>1.5.2. Hipótesis específicas:</b> .....	20
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> -----	21
<b>2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación</b> -----	21
<b>2.1.1. Aguas servidas</b> -----	21

2.1.2. Materia orgánica disuelta (MOD) -----	22
2.1.3. Camal-----	22
2.2. Marco conceptual -----	25
2.2.1. Materia Orgánica Disuelta (MOD)-----	25
2.2.2. Potencial de hidrógenos (pH)-----	25
2.3. Marco Legal Ambiental-----	26
III. MÉTODO -----	28
3.1. Tipo de investigación .....	28
3.2. Ámbito temporal y espacial .....	28
3.3. Variables .....	28
3.4. Población y muestra .....	30
3.5. Técnica e Instrumentos para la recolección de datos .....	30
3.6. Procedimientos .....	30
3.8. Consideraciones Éticas .....	32
IV. RESULTADOS -----	33
4.1 Caracterización del Agua Residual de Camal: .....	33
4.2 Resultados en la remoción de DQO .....	33
4.2.1. Resultados de DQO A pH 5 .....	34
4.2.2. Resultado de DQO a pH 4.....	35
4.2.3. Resultado de DQO a pH 3.....	37
4.3 Resultados de las eficiencias en la remoción de DQO.....	39
4.3.1 Eficiencias de DQO a pH 5 .....	39
4.3.2 Eficiencias de DQO a pH 4 .....	40
4.3.3 Eficiencias de DQO a pH 3 .....	42
V. DISCUSION DE RESULTADOS-----	56
VI. CONCLUSIONES -----	58
VII. RECOMENDACIONES -----	59
VIII. REFERENCIAS-----	60
IX. ANEXOS -----	65

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Principales reacciones Fenton</i> _____	24
<i>Tabla 2. Operacionalización de variables</i> _____	29
<i>Tabla 3. Caracterización del Agua Residual de Camal</i> _____	33
<i>Tabla 4. Resultados de DQO (mg/l) con 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	34
<i>Tabla 5. Resultados de DQO (mg/l) con 400 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	34
<i>Tabla 6. Resultados de DQO (mg/l) con 600 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	35
<i>Tabla 7. Resultados de DQO (mg/l) con 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	35
<i>Tabla 8. Resultados de DQO (mg/l) con 400 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	36
<i>Tabla 9. Resultados de DQO con 600 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	36
<i>Tabla 10. Resultados de DQO (mg/l) con 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	37
<i>Tabla 11. Resultados de DQO (mg/l) con 400 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	37
<i>Tabla 12. Resultados de DQO (mg/l) con 600 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	38
<i>Tabla 13. Resultados de DQO (mg/l) con 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	39
<i>Tabla 14. Resultados de DQO (mg/l) con 400 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	39
<i>Tabla 15. Resultados de DQO (mg/l) con 600 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	40
<i>Tabla 16. Resultados de DQO (mg/l) con 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	40
<i>Tabla 17. Resultados de DQO (mg/l) con 400 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	41
<i>Tabla 18. Resultados de DQO (mg/l) con 600 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	41
<i>Tabla 19. Resultados de DQO (mg/l) con 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	42
<i>Tabla 20. Resultados de DQO (mg/l) con 400 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	42
<i>Tabla 21. Resultados de DQO (mg/l) con 600 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></i> _____	43
<i>Tabla 22. Agrupación de resultados de aplicación de oxidación FENTON en la remoción de materia orgánica de aguas servidas del camal</i> _____	43
<i>Tabla 23. Resultados de aplicación del tratamiento en concentraciones como en eficiencia de remoción</i> _____	49
<i>Tabla 24. Prueba de Comparación Tukey respecto a las concentraciones de remoción de DQO al aplicar el tratamiento</i> _____	52
<i>Tabla 25. Prueba de Comparación Tukey respecto a la eficiencia de remoción de DQO al aplicar el tratamiento</i> _____	53
<i>Tabla 26. Análisis de remoción mínimo obtenida en el tratamiento</i> _____	54
<i>Tabla 27. Contrastación de Hipótesis de Investigación</i> _____	54

**INDICE DE FIGURAS**

<i>Figura 1. Distribución de los resultados de aplicación de la oxidación FENTON en la remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal-----</i>	<i>47</i>
<i>Figura 2. Distribución de la eficiencia de remoción de aplicación de la oxidación FENTON en la remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal -----</i>	<i>48</i>
<i>Figura 3. Agrupación de resultados con menor concentración removida aplicando el tratamiento -----</i>	<i>49</i>
<i>Figura 4. Agrupación de resultados con mayor eficiencia de remoción aplicando el tratamiento -----</i>	<i>50</i>
<i>Figura 5. Resultados de aplicación de prueba de distribución de datos en la investigación -----</i>	<i>51</i>
<i>Figura 6. Comparación Tukey según remoción por tratamientos aplicados-----</i>	<i>52</i>
<i>Figura 7. Comparación Tukey según eficiencia de remoción por tratamientos aplicados--</i>	<i>53</i>

## RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se plantea como objetivo de estudio evaluar el proceso oxidación fenton en la remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal, 2022, para ello se realizó un estudio de tipo aplicada no experimental. Mediante el planteamiento se puede concluir que la mayor eficiencia de remoción se genera con un pH 3, siendo este el pH óptimo para la remoción de la materia orgánica, Además, después de analizar estadísticamente la muestra se afirmó que la dosis optima está ubicada entre las dosis 4 (400 mg/l de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + 500 mg/l de Fe<sup>+2</sup>). También, se obtuvo que la dosis óptima se da con un valor de 400 mg/l de Peróxido de Hidrógeno y 500 mg/l de Hierro divalente, así mismo, con los tratamientos T2 se generó los mayores porcentajes de remoción. Pudiendo recomendar realizar aplicaciones de la oxidación Fenton con la adición de la combinación de algún reactor como un filtro biológico para incrementar los niveles de eficiencia, utilizar diferentes tecnologías (fotoasistida, microondas, calentamiento, entre otros) o el emplear compuestos orgánicos que mejores la eliminación de los contaminantes orgánicos con la oxidación Fenton.

**Palabras clave:** oxidación, fenton, camal, remoción

## ABSTRACT

The objective of the present research work is to evaluate the fenton oxidation process in the removal of organic matter from sewage water in the farmyard, 2022, for which a non-experimental applied study was carried out. By means of the approach it can be concluded that the highest removal efficiency is generated with a pH 3, being this the optimum pH for the removal of organic matter. Furthermore, after statistically analysing the sample it was affirmed that the optimum dose is located between doses 4 (400 mg/l of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + 500 mg/l of Fe<sup>+2</sup>). Also, it was obtained that the optimum dose is given with a value of 400 mg/l of Hydrogen Peroxide and 500 mg/l of divalent Iron, likewise, with the T2 treatments the highest percentages of removal were generated. It is possible to recommend the application of Fenton oxidation with the addition of a reactor combination such as a biological filter to increase the efficiency levels, the use of different technologies (photoassisted, microwaves, heating, among others) or the use of organic compounds that improve the removal of organic pollutants with Fenton oxidation.

**Keywords:** oxidation, fenton, chamber, removal

## I. INTRODUCCIÓN

La presente tesis desarrolla un estudio de investigación sobre “Aplicación de oxidación fenton en la remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal, 2022” debido a que, las aguas servidas o también conocidas como aguas residuales se consideran un problema mundial, por sus efectos generados que causan daños en los recursos naturales y estos presentan una gran cantidad de materia orgánica e inorgánica como sales alcalinas, contenido de carbono y componentes volátiles que reaccionan con los fenómenos naturales y los contaminan. Por lo que, el tratamiento antes de ser vertidas en el medio ambiente es de suma importancia (Abdel Raouf et al., 2012).

Así mismo, se sabe que las industrias de producción, cosecha, distribución y comercialización de pollo, cerdo, pavo, salmón y alimentos procesados están en constante crecimiento en el mundo y, en particular, en los países en desarrollo. Donde, la producción de carne en países de Latinoamérica como Chile presentan un incremento anual en periodos de 1996-2014 (Tapia et al., 2006, como se citó en Vidal et al., 2016).

Las aguas residuales se forman por lluvia-escorrentía del estiércol acumulado y las aguas residuales de engorde de ganado pueden contener hormonas, antibióticos y generan grandes volúmenes de aguas residuales con una alta carga orgánica (García et al., 2013, como se citó en Fleite Santiago et al., 2020).

En las normas establecidas se indica que las aguas de los camales deben ser devueltas al estado natural del efluente, y se están imponiendo leyes cada vez más estrictas porque los recursos hídricos son cada vez más escasos y el escenario puede empeorar en los próximos años (Vidal et al., 2016).

Ante ello, otro de los problemas mundiales es la escasez de agua potable y la seguridad del agua; por lo que, los proyectos de reutilización de agua potable están aumentando con más de 25 sistemas a gran escala en funcionamiento en todo el mundo (Marron et al., 2019). Siendo así que, reutilizar el agua potable se ha convertido en una de las grandes importancias; donde el principal enfoque es garantizar la seguridad microbiana y química del agua potable.

Por ello, es necesario promover nuevas y eficaces alternativas para el tratamiento de las aguas residuales; destacando entre las diversas técnicas el método Fenton, que puede ser

utilizado antes o después de un tratamiento para reducir la materia orgánica presente en el agua servida.

Esta tesis se encuentra organizada de la siguiente manera:

- Partes iniciales: La parte inicial inicia con la Carátula, Dedicatoria, Agradecimiento, Índice e Introducción. Además, el contenido temático está dividido en los siguientes seis capítulos:
- Capítulo I: Introducción; en este capítulo se describe el problema, formulación del problema general y problemas específicos, la búsqueda de los antecedentes nacionales e internacionales, presentación del objetivo general y objetivos específicos, así como la justificación e importancia del presente estudio.
- Capítulo II: Marco teórico; aquí se detallan las bases teóricas sobre el tema de investigación.
- Capítulo III: Método. En este capítulo se enfoca toda la metodología de la investigación, como, por ejemplo: tipo de Investigación, ámbito temporal y espacial, variables, población y muestra, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, procedimientos, análisis de datos y consideraciones éticas.
- Capítulo IV: Aspectos administrativos; incluye el cronograma de actividades, presupuesto y fuentes de financiamiento.
- Capítulo V: Referencias; en este penúltimo capítulo se presenta las Referencias bibliográficas utilizadas en la presente investigación de acuerdo a la Norma APA.
- Capítulo VI. Anexos; aquí se anexa información que integra a la investigación.

### 1.1. Descripción y formulación del problema

En el estudio de Kumari et al., (2021), se menciona la importancia del recurso hídrico, en el que se menciona al agua como fuente básica y esencial de las personas en todo el mundo, además de ser un recurso esencial para el crecimiento seguro y sostenible de los seres humanos.

Pero; con el incremento de la población y las industrias, la escasez de agua potable va en aumento y estos factores se atribuyen a la contaminación del agua, el acceso limitado a agua segura e higiénica, el riesgo para el cuerpo de agua natural y la disponibilidad limitada de agua segura e higiénica. Describiéndose la escasez de agua como el estado en el que demanda de agua supera el suministro de agua disponible.

Un país o una región enfrenta “escasez de agua” cuando la disponibilidad de agua higiénica natural cae por debajo de los 1000 m<sup>3</sup> por persona por año (Dehghani et al., 2019, como se citó en Kumari et al., 2021). Es decir; la escasez de agua se considera que ocurre cuando disminuye o se encuentra por debajo de las necesidades de agua que presente el ser humano y los ecosistemas (White, 2014, citado por Bond et al., 2019).

En el mayor de los casos esto ocurre por un déficit de agua por acciones como una mala infraestructura para brindar acceso a lo que de otro modo podría considerarse amplios recursos hídricos disponibles y esta escasez física de agua puede ocurrir como resultado tanto de fenómenos naturales (p. ej., aridez, sequía) como acciones antropogénicas (p. ej., desertificación, almacenamiento de agua) (Bond et al., 2019).

Ante ello, el reutilizar aguas residuales se ha convertido en una solución alentadora para contrarrestar la problemática presentada, como escases de agua o recursos hídricos.

Siendo así que la reutilización de aguas residuales se ha convertido en una de las prácticas más usadas para hacer frente a la escasez de agua. Si bien el riego es el propósito de reutilización tradicional y más factible para las aguas residuales recuperadas, los avances tecnológicos en el campo del tratamiento han permitido que las instalaciones de tratamiento obtengan una calidad de agua recuperada apta para el

suministro urbano e incluso potable (Maliva y Missimer, 2012 citado por Garcia y Pargament, 2015).

Entre las aguas servidas, los desechos de los mataderos se encuentran contaminados principalmente con contaminantes orgánicos; donde, el rango de DQO de las aguas residuales típicas de los mataderos está entre 4400 y 18 000  $\text{mgL}^{-1}$  (Bhunja et al., 2022). Además, la materia orgánica disuelta (DOM) presente en las aguas servidas puede portarse como precursor de subproductos de la desinfección, transportador de contaminantes y afectar el desempeño de las plantas de tratamiento (Gan et al., 2022).

Los residuos orgánicos o también conocidos como residuos biodegradables, se producen principalmente a partir de organismos vivos, ya sean vegetales o animales, por ejemplo; desechos de alimentos, desechos humanos, aguas residuales, desechos de papel, estiércol, desechos verdes, plástico biodegradable y desechos de mataderos (Patel et al., 2021).

Pero, estas sustancias son biodegradables, por lo que, la gestión de estas aguas residuales debe manejarse adecuadamente; de lo contrario, es perjudicial para la salud humana, la contaminación del aire y del agua y contribuye al agotamiento de la capa de ozono (Ayilara et al., 2020, citado por Patel et al., 2021).

#### **1.1.1. Problema general**

- ¿Como es el proceso de oxidación fenton en la remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal?

#### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cómo se encuentran los niveles y concentraciones de los parámetros fisicoquímicos de las aguas servidas de camal?
- ¿Cuál es la dosis optima de Peróxido de hidrogeno y Hierro divalente para la remoción de la DQO en aguas servidas de camal?
- ¿Cuál es la eficiencia por oxidación fenton en la remoción de materia orgánica expresada como DQO en aguas servidas de camal?

## 1.2. Antecedentes

### 1.2.1. Nacionales

**Villaseñor-Basulto et al., (2022);** en su trabajo “Tratamiento de aguas residuales de tenería mediante procesos combinados de electrocoagulación y electro-Fenton”, las aguas residuales de la curtiduría se realizaron mediante electrocoagulación (EC) junto con un proceso de electro-Fenton (EF) y ánodos de diamante dopado con boro (BDD) para generar peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), y luego se optimizaron utilizando la metodología de superficie de respuesta (RSM). Donde, los efectos de tres variables independientes (p. ej., tiempo de reacción, densidad de corriente y concentración de  $Fe^{2+}$ ) sobre el rendimiento de los procesos electroquímicos se analizaron mediante un diseño experimental estadístico. Los resultados mostraron que la interacción entre la concentración inicial de  $Fe^{2+}$  ( $0.66 \text{ mM L}^{-1}$ , el valor más alto) y el tiempo de reacción fue significativo y logró una eliminación de TOC del 32 %, pero debido a que se usó con el valor de densidad de corriente más alto probado ( $70 \text{ mA cm}^{-2}$ ), el consumo de energía fue tan alto como  $74,5 \text{ kWh m}^{-3}$ . La optimización del proceso para la eliminación de TOC y el consumo de energía se logró mediante la reducción de los valores de densidad de corriente y tiempo de tratamiento ( $40 \text{ mA cm}^{-2}$  y 217 min) durante el tratamiento EF. Bajo estas condiciones, se logró un 25% de remoción de TOC. El sistema EC-EF integrado generó una eliminación de TOC del 64 % utilizando una mayor densidad de corriente ( $9,7 \text{ mA cm}^{-2}$ ) durante el proceso EC, y el consumo total de energía del tratamiento fue de  $22,3 \text{ kWh m}^{-3}$ . el lodo producido bajo las condiciones CE probadas no exhibió características peligrosas.

**Gamarra y Gómez, (2014);** en su artículo “Decoloración del anaranjado de metilo empleando el sistema fenton”, se llevó a cabo en Perú el tratamiento de aguas residuales domésticas urbanas mediante el proceso Fenton. En el cual la metodología consistió en calibrar la técnica de espectrofotometría para la evaluación del avance de la decoloración del anaranjado de metilo, Determinación del tiempo de decoloración óptimo y analizar la eficiencia de la oxidación-reducción mediante el proceso Fenton. Los resultados mostraron que el proceso de oxidación Fenton permite el 86% de la reutilización de dichas aguas; concluyendo que este proceso permite tratar efluentes con alto contenido orgánico, el cual puede ser aplicado para la mineralización de la materia orgánica, disminución del DQO y decoloración de soluciones que contienen

compuestos azoicos, como es el caso de las aguas de desecho del teñido en la industria textil.

### 1.2.2. Internacionales

**Segura et al., (2021)**; en su trabajo “Un estudio comparativo entre las tecnologías de oxidación catalítica por aire húmedo, Fenton y Photo-Fenton para el tratamiento in situ de aguas residuales hospitalarias”, se investigó la viabilidad de los sistemas de oxidación catalítica con aire húmedo, Fenton homogéneo intensificado y Photo-Fenton heterogéneo para el tratamiento de aguas residuales hospitalarias reales. Para lo cual, se recolectaron muestras de aguas residuales de un alcantarillado de un hospital, durante un programa de monitoreo semanal, y se caracterizaron por completo. En los resultados se mostró que, la oxidación catalítica con aire húmedo permitió la eliminación completa de varios grupos de fármacos, pero no permitió eliminar analgésicos/antiinflamatorios y antibióticos, cuya eliminación media rondaba el 85%. La oxidación intensificada de Fenton fue el proceso más eficiente para la eliminación de todos los fármacos con una reducción casi total de la carga farmacéutica inicial (99,8%). El sistema heterogéneo Photo-Fenton alcanzó una reducción del 94,5% de la carga farmacéutica inicial. También se evaluó el riesgo ambiental de las muestras tratadas por el método del cociente de peligrosidad (HQ). La oxidación de Fenton fue el sistema más eficaz con un  $\sum HQ$  final de 5,4. Los sistemas de oxidación catalítica con aire húmedo y Photo-Fenton lograron valores de  $\sum HQ$  totales de 895 y 88, respectivamente. Este hecho estuvo relacionado con la presencia de antibióticos refractarios en las muestras de oxidación catalítica en aire húmedo tratadas. Por el contrario, el sistema Photo-Fenton proporcionó la eliminación de la mayoría de los productos farmacéuticos contaminantes que suponen un alto riesgo ambiental como los antibióticos.

**Meng et al., (2021)**; en su artículo “Experimento de tratamiento de oxidación con agua subcrítica (Fenton) de aguas residuales con metil vainillina”, se estudió el proceso de degradación oxidativa de las aguas residuales de metil vainillina mediante la tecnología de oxidación subcrítica del agua (HCWO), también se estudió la cinética de degradación por oxidación de las aguas residuales de metil vainillina. Para lo cual, se formó un sistema de oxidación Fenton subcrítica (HCFO) mientras se añadía  $Fe^{2+}$  como catalizador. Donde los resultados, mostraron que las condiciones de

proceso adecuadas para la degradación de las aguas residuales de metilvainillina por HCWO fueron las siguientes: temperatura de 340 °C, presión de 24 MPa, múltiplo de oxidante de 1,5, tiempo de residencia de 217,3 s (tasa de flujo de 2,0 ml min<sup>-1</sup>). Para las aguas residuales de metil vainillina, el sistema HCFO no tiene ventajas obvias en comparación con el sistema HCWO. La energía de activación ( $E_a$ ) de la reacción de aguas residuales con metil vainillina oxidada con HCWO fue de 32,6 kJ mol<sup>-1</sup>, y el factor preexponencial  $A$  fue de 5,64 s<sup>-1</sup>.

**Bayrakdar et al., (2021);** en su estudio “Tratamiento eficiente de aguas residuales textiles mediante procesos secuenciales de oxidación y adsorción tipo Fenton para su reutilización en riego”, investiga el tratamiento de aguas residuales textiles a través de procesos secuenciales de oxidación y adsorción tipo Fenton para su reutilización en riego. Investigando para ello, las condiciones óptimas para alcanzar los estándares mínimos de riego en Turquía. Adsorbentes y catalizadores a base de cáscara de nuez y cáscara de arroz que contienen 10% en peso del sitio activo BiBO<sub>3</sub>(B: Fe, Ni) fueron preparados y utilizados. Se mostró que en las condiciones óptimas de la foto oxidación tipo Fenton; la mayor eliminación total de carbono orgánico, TOC, (20–30 %) se logró con los catalizadores a base de cáscara de nuez que contienen hierro. Al final del paso de adsorción, se observaron eliminaciones de aproximadamente un 86 % de TOC y un 58 % de demanda química de oxígeno (DQO). Como resultado, las aguas residuales tratadas mediante el proceso de oxidación y adsorción tipo foto-Fenton cumplieron con los estándares de calidad de riego en cuanto a TOC, color, turbidez y TSS. También se obtuvieron estándares de riego considerando la relación de adsorción de sodio (SAR).

**Vilardi et al., (2020);** en su trabajo “Oxidación Fenton de lodos primarios de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: modelado de procesos y ampliación del reactor”; presentó como objetivo proponer un modelo de transferencia de masa y un procedimiento de escalado del proceso Fenton de contaminantes orgánicos presentes en lodos producido en una planta de tratamiento de aguas residuales municipal. Para lo cual, el lodo fue recolectado al final de la estabilización anaeróbica, sedimentación y espesamiento del filtro prensa y se caracterizó primero midiendo el Carbono Orgánico Total en el lodo completo y en la fase líquida, la Demanda Química de Oxígeno en la fase líquida, la viscosidad, el pH, la concentración de Cu y Fe y el contenido de agua. El contenido de agua óptimo para el proceso Fenton posterior se

evaluó basándose en pruebas preliminares de bombeabilidad y en el rendimiento del proceso Fenton. El análisis del proceso Fenton se realizó evaluando, a las 24 h, la concentración óptima de Fe (II) y peróxido de hidrógeno con respecto al contenido orgánico total inicial del lodo entero y de la fase líquida del lodo, así como a la demanda química de oxígeno del lodo. En los resultados, los parámetros óptimos fueron  $\text{H}_2\text{O}_2$ /carbono orgánico total = 1,6 g/g, agregado de Fe (II)/ $\text{H}_2\text{O}_2$  = 0,1 g/g, contenido de agua = 75 %, a través del cual una demanda química de oxígeno y una eficiencia de eliminación de carbono orgánico total de 72 y se alcanzó el 52 %, respectivamente.

**Esteves et al., (2019)**, en su trabajo “Tratamiento de aguas residuales de alta concentración de almazara mediante oxidación tipo Fenton combinada y coagulación/floculación”; se describe la eficiencia de procesos Fenton/Fenton-like en la oxidación de materia orgánica procedente de aguas residuales de almazara (OMW). Para lo cual, se realizaron pruebas en reactores discontinuos a escala de laboratorio y se evaluó la influencia de diferentes parámetros operativos, a saber: tipo de sal de hierro, efecto de los reajustes de pH durante la reacción, método de adición de los reactivos y relación másica Fe/ $\text{H}_2\text{O}_2$ . Para el sistema tipo Fenton ( $\text{Fe}^{3+}$ / $\text{H}_2\text{O}_2$ ) se encontró que  $\text{H}_2\text{O}_2$ El consumo y, en consecuencia, la tasa de degradación del carbono orgánico total (TOC) se ven significativamente afectados por el método de adición de reactivos, especialmente en las primeras etapas de la reacción, aunque el alcance general de la eliminación de TOC no lo es. Los resultados mostraron que la adición gradual de  $\text{H}_2\text{O}_2$  junto con los reajustes de pH durante el proceso llevaron a una mejor reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) y del contenido fenólico total (TPh). Operando a  $\text{pH}_0 = 3,0$ ,  $T_0 = 25\text{ }^\circ\text{C}$ ,  $[\text{Fe}^{3+}] = 1,0\text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  y  $\text{Fe}/\text{H}_2\text{O}_2 = 0,04$ , el 34,9 % de TOC, el 55,7 % de DQO y el 81,4 % de TPh se eliminaron después de 180 min. Las mismas condiciones se aplicaron con la ayuda de radiación artificial (proceso photo-Fenton-like) con ligera mejora en la degradación de la materia orgánica (remociones del 41,8% de TOC, 63,2% de DQO y 83,8% de TPh). También se comprobó la capacidad del catalizador (sal de cloruro férrico) para actuar como coagulante/floculante tras el proceso oxidativo, alcanzándose una reducción global del 76,7% para DQO y del 96,4% para TPh tras 1 h de sedimentación y sin más ajustes de pH.

**Kanafin et al., (2022)**; en su estudio “Tratamiento de aguas residuales de un matadero avícola mediante procesos de oxidación avanzada”; se emplearon diferentes especies químicas como peróxido de hidrógeno, persulfato de potasio, dióxido de titanio y sales de hierro para el tratamiento de aguas residuales reales de un matadero de aves (aves de corral-SWW) bajo luz UV-C (254 nm). Los experimentos duraron 150 min y se llevaron a cabo en un fotorreactor discontinuo con el objetivo de investigar las condiciones de operación más eficientes en términos de remoción de carbono orgánico total (COT). Los resultados mostraron que la fotólisis UV o la fotocatalisis de  $\text{TiO}_2$  dopado con Fe fueron prácticamente ineficientes, mientras que la aplicación de  $\text{TiO}_2$  no dopado dio como resultado una eliminación de TOC del 44 % después de 60 min de irradiación UV. El uso de 98 mM  $\text{H}_2\text{O}_2$  bajo luz ultravioleta condujo a una eliminación de TOC del 74 % después de 150 min. La adición de iones de Fe (II) a este sistema junto con el ajuste inicial del pH a 3 aumentó la eliminación de TOC al 82,5 % después de 150 min. Finalmente, la combinación de UV con 15 mM de  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$  dio como resultado una eliminación de TOC del 85 %. Esta fue la primera vez que se aplicó con éxito la oxidación con persulfato para el tratamiento de SWW. Para evaluar la eficiencia energética de los distintos procesos de tratamiento fotoquímico probados, se realizó una estimación de la energía eléctrica por pedido ( $E_{EO}$ , kWh/m<sup>3</sup> /pedido).

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo General

Evaluar el proceso oxidación fenton en la remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal, 2022.

#### 1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas servidas de camal.
- Determinar la dosis optima de Peróxido de hidrogeno y Hierro divalente para la remoción de la DQO en aguas servidas de camal.
- Determinar la eficiencia por oxidación fenton en la remoción de materia orgánica expresada como DQO en aguas servidas de camal.

## **1.4. Justificación**

### **1.4.1. Justificación Teórica**

Con la presente tesis se busca evaluar la aplicación de oxidación fenton en la remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal, así como caracterizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas servidas, determinar la concentración final de materia orgánica expresada como DQO por oxidación fenton en el agua servida y determinar la eficiencia por oxidación fenton en la remoción de materia orgánica expresada como DQO.

### **1.4.2. Justificación Metodológica**

La justificación metodológica se basa en la prueba de jarras como ensayo a escala de laboratorio, indispensable al momento de implementar procesos fisicoquímicos para la clarificación de agua, siendo una herramienta valiosa y confiable en la selección de productos químicos, cantidades y dosificaciones requeridas en este tipo de aplicaciones. También se indica que esta serie de ensayos se llevan a cabo para determinar reactivos químicos potencialmente utilizables para tratar un agua, dosis a aplicar y condiciones requeridas para conseguir un resultado óptimo. Entre las condiciones cabe reseñar el pH óptimo de tratamiento, la temperatura del agua y el orden de adición de reactivos.

### **1.4.3. Justificación Social**

Este estudio presenta una justificación social en razón de que la aplicación de oxidación fenton para la remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal corresponde a una alternativa de solución para cerrar una brecha social como lo es la contaminación de aguas, puesto que estos cumplen una función importante en la sociedad.

## **1.5. Hipótesis**

### **1.5.1. Hipótesis General:**

- La remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal se da por el proceso de oxidación fenton.

**1.5.2. Hipótesis específicas:**

- Los parámetros fisicoquímicos se encuentran en concentraciones y niveles elevados en aguas servidas de camal.
- El Peróxido de hidrogeno y Hierro divalente remueven la DQO en dosis óptimas que varían entre los 500 mg/l y 400 mg/l respectivamente en aguas servidas de camal.
- La eficiencia en la remoción de materia orgánica por oxidación fenton expresada como DQO es mayor al 90% en aguas servidas de camal.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

#### 2.1.1. Aguas servidas

Las aguas servidas o aguas residuales domésticas pueden ser de dos tipos; clasificadas mediante aguas grises y aguas negras como se detalla en el gráfico 1 y son las aguas generadas por el hombre y que presentan desechos orgánicos.

Poseen grandes cantidades de materia orgánica e inorgánica y se consideran a nivel mundial perjudiciales en los recursos naturales debido a sus efectos; además, entre los contaminantes se encuentran las sales alcalinas, contenido de carbono y componentes volátiles que reaccionan con los fenómenos naturales y los contaminan (Pooja et al., 2022).

Las aguas residuales domésticas o servidas son aguas residuales que se eliminan de la vida diaria de los hogares, hoteles, restaurantes, escuelas y centros comerciales; tiene una amplia gama de fuentes y una cantidad enorme que, con el rápido desarrollo de la economía y el aumento del nivel de vida de los residentes, cada vez hay más descargas de aguas residuales que deben tratarse (Jiao, 2021).

Este tipo de aguas residuales se caracteriza por una gran cantidad de materia orgánica (como proteína, almidón, grasa y urea), microorganismos patógenos y materia en suspensión (Sabino De et al., 2017).

Como se mencionó las aguas servidas se generan por el ser humano, por lo general en actividades de su día a día como las fuentes domésticas, es decir, el agua generada por la ducha, la cocina, la bañera.

También, durante las lluvias, la escorrentía mezclada con el estiércol superficial produce aguas residuales altamente contaminadas, que normalmente se almacenan en estanques de acumulación. Estas aguas residuales contienen gran cantidad de materia orgánica lábil, nutrientes (K, N y P principalmente) y sales, constituyentes menores como metales (Cu, Zn y Fe) y compuestos orgánicos (antibióticos, hormonas y otros ionóforos), así como como patógenos (Giardia, Escherichia coli) (García et al., 2013, como se citó en Fleite Santiago et al., 2020).

### 2.1.2. Materia orgánica disuelta (MOD)

La materia orgánica efluente disuelta (DOM) presente en las aguas residuales urbanas, consiste en una mezcla heterogénea de compuestos orgánicos refractarios con estructuras diversas y origen variable, que incluye materia orgánica natural disuelta, productos microbianos solubles, compuestos disruptores endocrinos, productos farmacéuticos y personales; residuos de productos de cuidado, subproductos de desinfección, metabolitos/productos de transformación y otros, que pueden llegar al medio acuático a través de aplicaciones de vertido y reutilización (Michael-Kordatou et al., 2015).

La materia orgánica en las aguas dulces existe como moléculas disueltas, coloides y partículas; sin embargo, es apropiado considerar estas distinciones como dinámicas, porque la materia orgánica puede interconvertirse fácilmente entre estas formas por disolución y precipitación, sorción y desorción, agregación y desagregación, etc.

Donde, este grupo complejo de MO se puede cuantificar como carbono orgánico disuelto (DOC), demanda química de oxígeno (COD) o absorbancia a 254 nm (UV254) (Van Gijn et al., 2021).

El DOM se considera una mezcla compleja de sustancias de bajo peso molecular y biomoléculas de mayor peso molecular, por ejemplo, proteínas, polisacáridos y macromoléculas exocelulares (Thomas et al., 2017). La materia orgánica disuelta (DOM), se define operativamente como la fracción de materia orgánica en una muestra de agua que pasa a través de un filtro de 0,45  $\mu\text{m}$  (Perdue y Ritchie., 2014).

### 2.1.3. Camal

Las industrias de producción, cosecha, distribución y comercialización de pollo, cerdo, pavo, salmón y alimentos procesados están en constante crecimiento en el mundo y, en particular, en los países en desarrollo. Estos lugares son llamadas mataderos o camales (Bhunja et al., 2022).

Cuando los subproductos del matadero se procesan, se convierten en sebo; en el sebo, alrededor del 50% de los ácidos grasos son ácidos grasos saturados. El sebo es rico en ácido palmítico y ácido esteárico, por lo que es sólido a temperatura ambiente y tiene una alta viscosidad y punto de fusión (Suresh et al., 2019).

Los lodos de matadero (SHS) contienen grandes cantidades de proteína, y su composición varía según el proceso industrial y el perfil de producción (Oh y Yoon, 2017 citado en Grosser y Celary, 2019).

Las actividades de procesamiento de carne utilizan mucha agua por razones higiénicas y, por lo tanto, producen una gran cantidad de aguas residuales, donde, la existencia de grandes cantidades de sólidos en suspensión en estas aguas residuales genera malos olores, un importante problema ambiental asociado a este tipo de residuos (Bolognesi et al., 2020).

Los mataderos producen aguas residuales de alta concentración, constituidas principalmente por carbono orgánico biodegradable, grasas y proteínas, caracterizadas por la presencia de altas concentraciones de sangre animal, residuos de desollamiento y aguas de lavado provenientes de la limpieza de canales y ambientes animales. También, presentan altos contenidos de materia orgánica, sólidos en suspensión, y una alta concentración de nutrientes (Sunder y Satyanarayan, 2013 citado en Bolognesi et al., 2020).

#### **2.1.4. Oxidación fenton**

En los últimos años se está utilizando el tratamiento biológico anaeróbico en plantas de mayor tamaño debido a sus ventajas de menor coste operativo y a la producción de metano; sin embargo, este tratamiento no es capaz de degradar la materia orgánica residual biorresistente de las aguas residuales (Oller et al., 2011). Por este motivo, se han investigado nuevas alternativas para el tratamiento de las aguas residuales; entre ellas, destacan los siguientes procesos de oxidación avanzada (POA): combinado con la reacción de Fenton, incluyendo la foto-Fenton ( $\text{Fe}^{2+} / \text{H}_2\text{O}_2 / \text{UV}$ ) (Silva et al., 2015).

Existen diferentes procesos de degradación como los procesos EC con Fenton, electro-Fenton, foto-Fenton, fotocatalisis, tratamiento sonoquímico, ozonización, oxidación electroquímica indirecta, oxidación anódica y proceso de oxidación avanzada basado en radicales sulfatos se encuentran muy efectivos para el tratamiento de agua y aguas residuales (Nidheesh et al., 2021). Donde, el Fenton es una tecnología de oxidación importante entre los procesos de oxidación avanzada y se caracteriza por la reacción entre el peróxido de hidrógeno como oxidante y los iones de hierro como catalizador para producir especies altamente activas, especialmente radicales OH no selectivos

con un potencial de oxidación de 2,8 V (Pouran, Rahim, Raman, Abdul y Daud, 2014 citado por Moura y Picao, 2022).

Los diferentes procesos electroquímicos mencionados están dentro de los procesos de oxidación avanzada (AOP) aplicadas al tratamiento de aguas servidas; pero entre estos se puede resaltar al proceso Fenton, ya que, se vienen promoviendo diversos estudios para mejorar la eficiencia de oxidación de la reacción de Fenton en términos de promover la generación de  $\cdot\text{OH}$ , acelerar el ciclo redox del hierro y extender el rango de pH aplicable (Lin et al., 2022). Mostrándose en la tabla 1 las reacciones del proceso Fenton.

**Tabla 1**

*Principales reacciones Fenton*

	<b>Reacción</b>	<b>Tarifa constante (METRO<sup>-1</sup> s<sup>-1</sup>)</b>
Iniciación	$\text{Fe}^{2+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{HO} + \text{OH}^-$	55
	$\text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{HOO} + \text{H}^+$	$2,00 \times 10^{-3}$
Propagación	$\text{H}_2\text{O}_2 + \text{HO} \rightarrow \text{HOO} + \text{H}_2\text{O}$	$3,30 \times 10^7$
	$\text{HR} + \text{HO} \rightarrow \text{R} + \text{H}_2\text{O}$	
	$\text{R} + \text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{RH} + \text{Fe}^{3+}$	
	$\text{R} + \text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{R}^+ + \text{Fe}^{2+}$	
Terminación	$\text{R} + \text{R} \rightarrow \text{R}-\text{R}$	
	$\text{Fe}^{3+} + \text{HOO} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 + \text{H}^+$	$7,82 \times 10^5$
	$\text{Fe}^{2+} + \text{HO} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{OH}^-$	$3,20 \times 10^8$
	$\text{Fe}^{2+} + \text{HOO} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}_2$	$1,34 \times 10^6$
	$\text{HOO} + \text{HOO} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2$	$2,33 \times 10^6$
	$\text{HO} + \text{HO} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$	$7.15 \times 10^9$
	$\text{HO} + \text{HO} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$	$5,20 \times 10^9$

*Nota:* Modificado de Moura y Picao, (2022)

Estas tecnologías presentan una excelente alternativa para el tratamiento de aguas residuales y la eliminación de contaminantes persistentes de las mismas (Khan et al., 2021). Estos métodos se basan en el uso de agentes oxidantes y electricidad para degradar los contaminantes orgánicos, lo que resulta en una mineralización completa para producir CO<sub>2</sub>, agua e iones inorgánicos, o al menos para lograr productos de transformación mayormente inocuos y/o biodegradables (Urtiaga 2014 citado en Vidal et al., 2016).

Estos métodos se basan en el uso de agentes oxidantes y electricidad para degradar los contaminantes orgánicos, lo que resulta en una mineralización completa para producir CO<sub>2</sub>, agua e iones inorgánicos, o al menos para lograr productos de transformación

mayormente inocuos y/o biodegradables (González-Vargas et al., 2014). Presentando diversas ventajas.

El radical hidroxilo (-OH), que es el radical libre oxidante más fuerte debido a su alto potencial estándar ( $E^\circ = 2,87$  frente a SHE), es el principal agente oxidante en este proceso. Además, no es selectivo hacia los contaminantes orgánicos, reaccionando principalmente por deshidrogenación o abstracción de un átomo de hidrógeno para formar agua; o por hidroxilación o adición electrófila a un enlace insaturado.

## **2.2. Marco conceptual**

Se lleva a cabo la remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal por el proceso oxidación fenton; tomando en cuenta los parámetros fisicoquímicos de las aguas servidas de camal, los cuales son detallados a continuación en los siguientes puntos:

### **2.2.1. Materia Orgánica Disuelta (MOD)**

La materia orgánica disuelta (DOM) es la forma dominante de materia orgánica en la columna de agua de las aguas continentales, y es químicamente muy heterogénea y compleja (Huang et al., 2010).

### **2.2.2. Potencial de hidrógenos (pH)**

El potencial de hidrógeno es un parámetro importante en la mayoría de reacciones químicas, ya que, indica el equilibrio químico. Así mismo, en las reacciones cinéticas el pH va a influir cambiando la velocidad y actuando como catalizador (Feher, 2012).

El pH se define como  $\text{pH} = -\log a_{\text{H}^+}$  donde  $a_{\text{H}^+}$  es la actividad del ion  $\text{H}^+$ ; donde el pH es considera como el parámetro que se mide con mayor frecuencia en química (Satyam, 2021).

### **2.2.3. Turbiedad**

La turbidez es la medida de la intensidad de la luz transmitida a través de una muestra líquida y la turbidez de los lodos está directamente relacionada con la cantidad de partículas en suspensión y con su tamaño medio (Newcombe y Dixon, 2006).

Es una técnica simple y de bajo costo que puede detectar la presencia de partículas en suspensión y se usa a menudo para medir la cinética de nucleación y el ancho de la zona metaestable (Simon, Simone y Oucherif, 2018).

El nivel de turbidez también puede dar una indicación del tamaño medio y la concentración de sólidos de las partículas suspendidas en el agua, aunque no con tanta precisión como otras técnicas. Así mismo de acuerdo con Mountain y Keating, (2021), la turbidez en el agua resulta de la presencia de partículas coloidales que dispersan la luz, como resultado, los objetos en el agua se vuelven borrosos.

### **2.3. Marco Legal Ambiental**

- Ley N°30588.- Ley de Reforma Constitucional que reconoce el derecho al agua como derecho constitucional que incorpora el artículo 7°-A en la Constitución Política del Perú. y es la ley donde el estado reconoce el derecho de toda persona a acceder de forma progresiva y universal al agua potable. El Estado garantiza este derecho priorizando el consumo humano sobre otros usos.
- DECRETO SUPREMO - N° 015-2017-VIVIENDA. - Decreto que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Decreto Supremo N° 007-2010-AG.- Decreto que genera la protección de la calidad de los recursos hídricos y declaran de interés nacional la protección de la calidad del agua en las fuentes naturales y sus bienes asociados, con el objeto de prevenir el peligro de daño grave o irreversible que amenace a dichas fuentes y la salud de las actuales y futuras generaciones.
- Resolución Jefatural N° 0201-2009-ANA. - Establecen disposiciones para la implementación de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338, en cuanto se refiere al establecimiento del valor y cobranza de las retribuciones económicas por el uso de agua para el 2009. Que según el artículo 91° de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N°29338, señala que la retribución económica por el uso del agua es el pago que en forma obligatoria deben abonar al estado todos los usuarios de agua como contraprestación por el uso del recurso, y es establecida por la Autoridad Nacional del Agua en función de criterios sociales, ambientales y

económicos. Además, se menciona que la retribución económica que pagaran las organizaciones comunales responsables de la prestación de los servicios será de S/ 50.00 nuevos soles y para la cobranza del agua con fines mineros.

- Con la finalidad de controlar excesos en los niveles de concentración de sustancias físicas, químicas y biológicas presentes en efluentes o emisiones, para evitar daños a la salud y al ambiente, el Ministerio del Ambiente publicó el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, por el cual se aprueban los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. - Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias. Es el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.
- La Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva.

### III. METODO

#### 3.1. Tipo de investigación

Este estudio presenta un tipo de investigación aplicada, siendo que se aplicará la oxidación fenton en aguas servidas de camal que permitirá la remoción de materia orgánica presente.

Así mismo, se presenta un diseño metodológico experimental-transversal.

Es experimental, debido a que la variable independiente será manipulada intencionalmente; se buscará evaluar el proceso oxidación fenton en la remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal en un determinado momento, es decir, en un tiempo determinado.

#### 3.2. Ámbito temporal y espacial

Temporal: Se señala como primera parte del estudio el trabajo en gabinete, luego en campo para la realización del muestreo del agua servida de camal, para posteriormente llevarlas al laboratorio de la Universidad Nacional Federico Villarreal y como parte final la redacción de informe. La investigación se realizó entre los meses de enero a agosto del 2022.

Espacial: En el ámbito espacial la investigación fue aplicada y procesada en el camal y el laboratorio de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

#### 3.3. Variables

Las variables generadas son las siguientes:

Variable independiente: Oxidación fenton

Variable dependiente: Remoción de materia orgánica de aguas servidas del camal

Dichas variables se presentan en la tabla 2, donde se detallan con sus respectivas dimensiones, indicadores y escalas.

**Tabla 2***Operacionalización de variables*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable independiente	Es el tratamiento fisicoquímico de contaminantes orgánicos e inorgánicos en aguas residuales donde el reactivo fenton aparece como resultado de la producción de radicales hidroxilos. (Moura y Picao, 2022).	Se realiza el tratamiento de oxidación fenton mediante dos tratamientos T1 y T2; donde el tratamiento T1 emplea una dosis de Peróxido de Hidrógeno de 200 mg/l, un pH de 5 y con el tratamiento T2 emplea una dosis de Peróxido de Hidrógeno de 400 mg/l con un pH de 3.	T1	Dosis Peróxido de Hidrógeno (mg/l)	mg/L
Oxidación fenton		T2	Dosis Fe <sup>+2</sup> (mg/l)	mg/L	
Variable dependiente	La remoción de la MO puede darse a través de tratamientos biológicos, físico o fisicoquímicos; siendo el tratamiento físico-químico, el cual elimina la mayor cantidad de carga orgánica de las aguas servidas del camal, también se da la eliminación de SST, NT, entre otros (Thomas et al., 2017).	Para la aplicación del tratamiento de remoción de materia orgánica de aguas servidas del camal se realiza la verificación estadística descriptiva respectiva, donde, se aplica la remoción de materia orgánica con la utilización de oxidación FENTON (peróxido de hidrogeno más Hierro divalente Fe <sup>+2</sup> para poder evaluar la dosis optima y la eficiencia de remoción.	Características fisicoquímicas	pH	-
Remoción de materia orgánica			Eficiencia	2 parámetros indicadores	mg/L

### **3.4. Población y muestra**

- Población: La población de este estudio son las muestras de agua servidas de camal.
- Muestra: La muestra a tratar presenta un volumen de 18 L.

La muestra de 18 L, presentan pH, turbidez y temperatura, DQO; parámetros indicadores, asociados a la presencia de materia orgánica.

### **3.5. Técnica e Instrumentos para la recolección de datos**

#### **3.5.1 Técnica**

- Prueba de jarras (jar test).
- Manual de laboratorio.
- Protocolo de monitoreo.
- Métodos estandarizados para análisis de aguas servidas.

#### **3.5.2 Instrumentos**

- Ficha de recolección de datos.
- Hoja de observación.
- Cadena de custodia.

### **3.6. Procedimientos**

El agua servida de camal estudiado consistió en dos etapas de elaboración metodológico y trabajo experimental, como se muestra a continuación:

Etapas n°1:

Revisión y análisis de la guía de estudio

Estudio y elección del o de los documentos guía

Planteamiento de la realización del trabajo experimental

Etapas n°2:

Primer paso: Se recolectó la muestra servida de camal midiendo la temperatura, pH y Conductividad eléctrica *in situ* y las muestras se tomaron al azar en horario de faena de camal durante un tiempo de 1h. posterior a ello se introdujo la muestra del agua servida de camal recolectada en 5 galones y trasladados para analizarlo y desarrollar la prueba experimental en el laboratorio de la Universidad Nacional Federico Villarreal.

Segundo paso: Se realizó la caracterización del agua servida de camal, para el parámetro de DQO, DBO, SST y Aceites y Grasas.

- a) Para la determinación de la DQO se tomó una muestra de 20 ml y se añadió 1,5 ml de Dicromato de potasio y 3,5 ml de solución ácida de Sulfato de plata. Terminado el proceso se lleva al digestor por un tiempo de 2 horas a 150 °C. Terminado el tiempo de digestión se enfrió y se procedió a leer su concentración en el colorímetro.
- b) La determinación de DBO se realizó por el método de la dilución mediante la adición de nutrientes como Tampón de fosfatos, Cloruro de calcio, Sulfato de magnesio, dejándose en la incubadora por 5 días y cuantificando su valor final con respecto a su factor de dilución.
- c) La determinación de SST se realizó por medio de un sistema de filtración mediante filtros de fibra de vidrio de 1,2 µm.
- d) La determinación de Aceites y Grasas se realizó por extracción con hexano a una temperatura de 75 °C y aplicación del método gravimétrico.

Tercer paso: Se acondiciono el floculador para las pruebas experimentales considerando 200 RPM, 30 minutos de contacto, volumen de 500 ml de muestra y 30 minutos de sedimentación.

Cuarto paso: Se utilizó peróxido de hidrogeno más Hierro divalente  $Fe^{+2}$  para poder evaluar la dosis óptima en la remoción de la materia orgánica del agua servida de camal.

Quinto paso: Se realizó tres tratamientos a pH 5, 4 y 3 cada uno con sus respectivas corridas experimentales.

- a) En la cual el primer tratamiento se realizó con pH 5, utilizó Peróxido de Hidrógeno con dosis de 200, 400 y 600 mg/l más hierro divalente  $Fe^{+2}$  (200, 300, 400 y 500mg/l) para todas las corridas con tres repeticiones.
- b) Para el segundo tratamiento se realizó con pH 4, utilizó Peróxido de Hidrógeno con dosis de 200, 400 y 600 mg/l más hierro divalente  $Fe^{+2}$  (200, 300, 400 y 500mg/l) para todas las corridas con tres repeticiones.
- c) Para el tercer tratamiento se realizó con pH 3, utilizó Peróxido de Hidrógeno con dosis de 200, 400 y 600 mg/l más hierro divalente  $Fe^{+2}$  (200, 300, 400 y 500mg/l) para todas las corridas con tres repeticiones.

Sexto paso: Terminadas las corridas de ensayo se procedió a tomar un volumen de muestra de aproximadamente 200 ml a fin de determinar las concentraciones de DQO para cada una de las muestras (36) la determinación de DQO para cada una de las muestras. La determinación de DQO se realizó según el paso 2.a.

Séptimo paso: Seguidamente se procedió a determinar las eficiencias respectivas con relación a los resultados obtenidos en cada tratamiento, para lo cual se consideró realizarlos en función a los promedios obtenidos.

### **3.7. Análisis de datos**

Además, para realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos y su validez se llevó a cabo mediante un diseño completamente Aleatorizado (DCA) y es el cual evaluara la significancia de las dosis aplicadas, así como el tratamiento aplicado.

### **3.8. Consideraciones Éticas**

El presente trabajo de investigación presenta como consideraciones éticas:

El respeto a la autoría, utilizando la normativa APA Versión 7 como norma de citación de los autores de quienes fueron usados sus estudios; así mismo se brinda la información completa de los resultados del estudio para brindar su total transparencia y veracidad a lo obtenido.

## IV. RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la caracterización de las aguas residuales de camal, antes de iniciar el proceso de remoción de la materia orgánica como DQO y DBO mediante oxidación Fenton, así también se mostrarán los resultados de las concentraciones finales y las eficiencias alcanzadas para cada uno de los tratamientos realizados.

### 4.1 Caracterización del Agua Residual de Camal:

A continuación, mostramos los resultados de la caracterización de los parámetros fisicoquímicos del agua residual de camal:

**Tabla 3**

*Caracterización del Agua Residual de Camal*

MUESTRA	T (°C)	pH	CE (uS/cm)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	SST (mg/l)	AyG (mg/l)
M-1	20.1	7.8	1551	4736	2058	958	38.6

T: Temperatura; pH: Potencial de Hidrógenos; CE: Conductividad Eléctrica; DQO: Demanda Química de Oxígeno; DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno; SST: Sólidos Suspendidos Totales; AyG: Aceites y Grasa.

### 4.2 Resultados en la remoción de DQO

A fin de obtener las mejores eficiencias en la remoción de la materia orgánica expresada como DQO se trabajaron a escalas de pH: 5, 4 y 3. Las concentraciones de peróxido de hidrógeno para los tratamientos fueron de 200, 400 y 600 mg/l y las concentraciones de Fe<sup>+2</sup> fueron de 200, 300, 400 y 500 mg/l.

#### 4.2.1. Resultados de DQO A pH 5

Los resultados obtenidos en la remoción de la DQO a pH 5, fueron los siguientes:

- **PRIMER TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 5
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 200 mg/l

**Tabla 4**

*Resultados de DQO (mg/l) con 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

MUESTRA	TRATAMIENTO 1			
DQO Inicial (mg/l):	<b>4736</b>			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Final (mg/l):	4589	4559	4333	4118
1° Repetición	4595	4470	4341	4123
2° Repetición	4581	4467	4348	4131
<b>PROMEDIO (mg/l):</b>	<b>4588</b>	<b>4465</b>	<b>4341</b>	<b>4124</b>

- **SEGUNDO TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 5
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 400 mg/l

**Tabla 5**

*Resultados de DQO (mg/l) con 400 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

MUESTRA	TRATAMIENTO 2			
DQO Inicial (mg/l):	<b>4736</b>			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Final (mg/l):	3559	3539	3485	3414
1° Repetición	3571	3550	3475	3424
2° Repetición	3580	3543	3491	3434
<b>PROMEDIO (mg/l):</b>	<b>3570</b>	<b>3544</b>	<b>3484</b>	<b>3424</b>

- **TERCER TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 5
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 600 mg/l

**Tabla 6**

*Resultados de DQO (mg/l) con 600 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

<b>MUESTRA</b>	<b>TRATAMIENTO 3</b>			
DQO Inicial (mg/l):	<b>4736</b>			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Final (mg/l):	2435	2417	2365	2334
1° Repetición	2443	2411	2353	2325
2° Repetición	2429	2402	2341	2311
<b>PROMEDIO (mg/l):</b>	<b>2436</b>	<b>2410</b>	<b>2353</b>	<b>2323</b>

#### 4.2.2. Resultado de DQO a pH 4

Los resultados obtenidos en la remoción de la DQO a pH 4, fueron los siguientes:

- **PRIMER TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 4
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 200 mg/l

**Tabla 7**

*Resultados de DQO (mg/l) con 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

<b>MUESTRA</b>	<b>TRATAMIENTO 1</b>			
DQO Inicial (mg/l):	<b>4736</b>			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Final (mg/l):	2188	2145	2052	1864
1° Repetición	2175	2134	2042	1853
2° Repetición	2166	2129	2036	1875
<b>PROMEDIO (mg/l)</b>	<b>2176</b>	<b>2136</b>	<b>2043</b>	<b>1864</b>

- **SEGUNDO TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 4
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 400 mg/l

**Tabla 8**

*Resultados de DQO (mg/l) con 400 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

<b>MUESTRA</b>	<b>TRATAMIENTO 2</b>			
DQO Inicial (mg/l):	<b>4736</b>			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Final (mg/l):	1589	1519	1446	1334
1° Repetición	1571	1525	1437	1323
2° Repetición	1563	1513	1428	1314
<b>PROMEDIO (mg/l)</b>	<b>1574</b>	<b>1519</b>	<b>1437</b>	<b>1324</b>

- **TERCER TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 4
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 600 mg/l

**Tabla 9**

*Resultados de DQO con 600 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

<b>MUESTRA</b>	<b>TRATAMIENTO 3</b>			
DQO Inicial (mg/l):	<b>4736</b>			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Final (mg/l):	1481	1435	1212	1146
1° Repetición	1491	1421	1228	1131
2° Repetición	1473	1443	1233	1126
<b>PROMEDIO (mg/l)</b>	<b>1482</b>	<b>1433</b>	<b>1224</b>	<b>1134</b>

### 4.2.3. Resultado de DQO a pH 3

Los resultados obtenidos en la remoción de la DQO a pH 3, fueron los siguientes:

- **PRIMER TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 3
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 200 mg/l

**Tabla 10**

*Resultados de DQO (mg/l) con 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

MUESTRA	TRATAMIENTO 1			
DQO Inicial (mg/l):	<b>4736</b>			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Final (mg/l):	659	628	511	482
1° Repetición	675	635	521	473
2° Repetición	661	621	530	463
<b>PROMEDIO (mg/l):</b>	<b>665</b>	<b>628</b>	<b>521</b>	<b>473</b>

- **SEGUNDO TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 3
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 400 mg/l

**Tabla 11**

*Resultados de DQO (mg/l) con 400 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

MUESTRA	TRATAMIENTO 2			
DQO Inicial (mg/l):	<b>4736</b>			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Final (mg/l):	189	169	135	115
1° Repetición	191	165	130	120
2° Repetición	190	161	138	128
<b>PROMEDIO (mg/l):</b>	<b>190</b>	<b>167</b>	<b>134</b>	<b>121</b>

- **TERCER TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 3
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 600 mg/l

**Tabla 12**

*Resultados de DQO (mg/l) con 600 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

<b>MUESTRA</b>	<b>TRATAMIENTO 3</b>			
DQO Inicial (mg/l):	<b>4736</b>			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Final (mg/l):	293	259	221	184
1° Repetición	281	240	219	193
2° Repetición	270	231	212	174
<b>PROMEDIO (mg/l):</b>	<b>281</b>	<b>243</b>	<b>217</b>	<b>184</b>

### 4.3 Resultados de las eficiencias en la remoción de DQO

A fin de obtener las mejores eficiencias en la remoción de la materia orgánica expresada como DQO se trabajaron a escalas de pH: 5, 4 y 3.

#### 4.3.1 Eficiencias de DQO a pH 5

Los resultados obtenidos en la eficiencia en la remoción de la DQO a pH 3, fueron los siguientes:

- **PRIMER TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 5
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 200 mg/l

**Tabla 13**

*Resultados de DQO (mg/l) con 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

MUESTRA	TRATAMIENTO 1			
DQO Inicial (mg/l):	<b>4736</b>			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Promedio (mg/l):	4588	4465	4341	4124
<b>EFICIENCIA (%)</b> :	<b>3.76</b>	<b>5.72</b>	<b>8.34</b>	<b>12.92</b>

- **SEGUNDO TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 5
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 400 mg/l

**Tabla 14**

*Resultados de DQO (mg/l) con 400 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

MUESTRA	TRATAMIENTO 2			
DQO Inicial (mg/l):	<b>4736</b>			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Promedio (mg/l):	3570	3544	3484	3424
<b>EFICIENCIA (%)</b> :	<b>24.62</b>	<b>25.17</b>	<b>26.44</b>	<b>27.70</b>

- **TERCER TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 5
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 600 mg/l

**Tabla 15**

*Resultados de DQO (mg/l) con 600 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

MUESTRA	TRATAMIENTO 3			
DQO Inicial (mg/l):	4736			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Promedio (mg/l):	2436	2410	2353	2323
<b>EFICIENCIA (%)</b> :	<b>48.56</b>	<b>49.11</b>	<b>50.32</b>	<b>50.95</b>

#### 4.3.2 Eficiencias de DQO a pH 4

Los resultados obtenidos en la eficiencia en la remoción de la DQO a pH 4, fueron los siguientes:

- **PRIMER TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 4
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 200 mg/l

**Tabla 16**

*Resultados de DQO (mg/l) con 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

MUESTRA	TRATAMIENTO 1			
DQO Inicial (mg/l):	<b>4736</b>			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Promedio (mg/l):	2176	2136	2043	1864
<b>EFICIENCIA (%)</b> :	<b>50.05</b>	<b>54.90</b>	<b>56.86</b>	<b>60.64</b>

- **SEGUNDO TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 4
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 400 mg/l

**Tabla 17**

*Resultados de DQO (mg/l) con 400 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

MUESTRA	TRATAMIENTO 2			
DQO Inicial (mg/l):	4736			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Promedio (mg/l):	2176	2136	2043	1864
<b>EFICIENCIA (%)</b> :	<b>50.05</b>	<b>54.90</b>	<b>56.86</b>	<b>60.64</b>

- **TERCER TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 4
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 600 mg/l

**Tabla 18**

*Resultados de DQO (mg/l) con 600 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

MUESTRA	TRATAMIENTO 3			
DQO Inicial (mg/l):	4736			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Promedio (mg/l):	1482	1433	1224	1134
<b>EFICIENCIA (%)</b> :	<b>68.71</b>	<b>68.74</b>	<b>74.16</b>	<b>76.06</b>

### 4.3.3 Eficiencias de DQO a pH 3

Los resultados obtenidos en la eficiencia en la remoción de la DQO a pH 3, fueron los siguientes:

- **PRIMER TRATAMIENTO**
- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 3
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 200 mg/l

**Tabla 19**

*Resultados de DQO (mg/l) con 200 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

MUESTRA	TRATAMIENTO 1			
DQO Inicial (mg/l):	<b>4736</b>			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Promedio (mg/l):	665	628	521	473
<b>EFICIENCIA (%)</b> :	<b>85.96</b>	<b>86.74</b>	<b>89.00</b>	<b>90.01</b>

- **SEGUNDO TRATAMIENTO**
- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 3
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 400 mg/l

**Tabla 20**

*Resultados de DQO (mg/l) con 400 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

MUESTRA	TRATAMIENTO 2			
DQO Inicial (mg/l):	<b>4736</b>			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Promedio (mg/l):	190	167	134	121
<b>EFICIENCIA (%)</b> :	<b>95.99</b>	<b>96.57</b>	<b>97.17</b>	<b>97.45</b>

- **TERCER TRATAMIENTO**

- Volumen: 500 ml
- pH de ensayo: 3
- Concentración de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: 600 mg/l

**Tabla 21**

*Resultados de DQO (mg/l) con 600 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

<b>MUESTRA</b>	<b>TRATAMIENTO 3</b>			
DQO Inicial (mg/l):	<b>4736</b>			
[ ] Fe+2 (mg/l):	200	300	400	500
DQO Promedio (mg/l):	281	243	217	184
<b>EFICIENCIA (%)</b> :	<b>94.01</b>	<b>94.87</b>	<b>95.42</b>	<b>96.15</b>

#### 4.4. Análisis Estadístico

Para poder verificar la aplicación del tratamiento de remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal, se realiza la verificación estadística descriptiva respectiva.

##### 4.4.1. Análisis Estadístico Descriptivo Comparativo

Se aplica la remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal con la utilización de oxidación FENTON (peróxido de hidrogeno más Hierro divalente Fe+2 para poder evaluar la dosis optima y la eficiencia de remoción del mismo ordenando los datos en la siguiente tabla:

**Tabla 22**

*Agrupación de resultados de aplicación de oxidación FENTON en la remoción de materia orgánica de aguas servidas del camal*

pH	Dosis Peróxido de Hidrógeno (mg/l)	Tratamiento	Repeticiones	Dosis Fe+2 (mg/l)	Remoción (mg/l)	Porcentaje de Remoción (%)
5	200	T1	R1	D1	4589	3.10
5	200	T1	R1	D2	4459	5.85
5	200	T1	R1	D3	4333	8.51
5	200	T1	R1	D4	4118	13.05

---

5	200	T1	R2	D1	4595	2.98
5	200	T1	R2	D2	4470	5.62
5	200	T1	R2	D3	4341	8.34
5	200	T1	R2	D4	4123	12.94
5	200	T1	R3	D1	4581	3.27
5	200	T1	R3	D2	4467	5.68
5	200	T1	R3	D3	4348	8.19
5	200	T1	R3	D4	4131	12.77
5	400	T2	R1	D1	3559	24.85
5	400	T2	R1	D2	3539	25.27
5	400	T2	R1	D3	3485	26.41
5	400	T2	R1	D4	3414	27.91
5	400	T2	R2	D1	3571	24.60
5	400	T2	R2	D2	3550	25.04
5	400	T2	R2	D3	3475	26.63
5	400	T2	R2	D4	3423	27.72
5	400	T2	R3	D1	3580	24.41
5	400	T2	R3	D2	3543	25.19
5	400	T2	R3	D3	3491	26.29
5	400	T2	R3	D4	3434	27.49
5	600	T3	R1	D1	2435	48.59
5	600	T3	R1	D2	2417	48.97
5	600	T3	R1	D3	2365	50.06
5	600	T3	R1	D4	2334	50.72
5	600	T3	R2	D1	2443	48.42
5	600	T3	R2	D2	2411	49.09
5	600	T3	R2	D3	2352	50.34
5	600	T3	R2	D4	2325	50.91
5	600	T3	R3	D1	2429	48.71
5	600	T3	R3	D2	2402	49.28
5	600	T3	R3	D3	2341	50.57
5	600	T3	R3	D4	2311	51.20
4	200	T1	R1	D1	2188	53.80
4	200	T1	R1	D2	2145	54.71
4	200	T1	R1	D3	2052	56.67
4	200	T1	R1	D4	1864	60.64
4	200	T1	R2	D1	2175	54.08
4	200	T1	R2	D2	2134	54.94
4	200	T1	R2	D3	2042	56.88
4	200	T1	R2	D4	1853	60.87
4	200	T1	R3	D1	2166	54.27
4	200	T1	R3	D2	2129	55.05
4	200	T1	R3	D3	2036	57.01
4	200	T1	R3	D4	1875	60.41
4	400	T2	R1	D1	1589	66.45
4	400	T2	R1	D2	1519	67.93

---

---

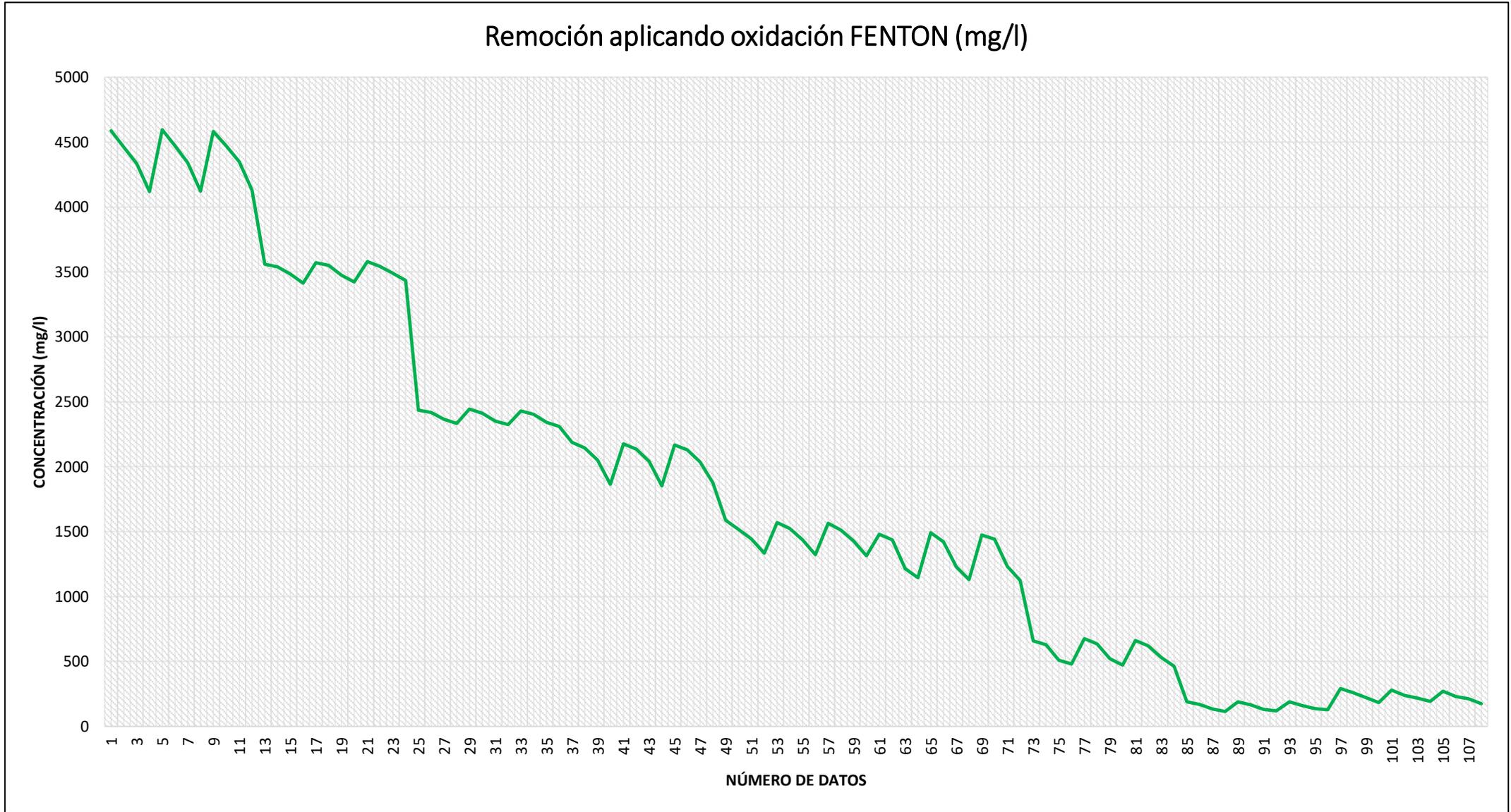
4	400	T2	R1	D3	1446	69.47
4	400	T2	R1	D4	1334	71.83
4	400	T2	R2	D1	1571	66.83
4	400	T2	R2	D2	1525	67.80
4	400	T2	R2	D3	1437	69.66
4	400	T2	R2	D4	1323	72.07
4	400	T2	R3	D1	1563	67.00
4	400	T2	R3	D2	1513	68.05
4	400	T2	R3	D3	1428	69.85
4	400	T2	R3	D4	1314	72.26
4	600	T3	R1	D1	1481	68.73
4	600	T3	R1	D2	1435	69.70
4	600	T3	R1	D3	1215	74.35
4	600	T3	R1	D4	1146	75.80
4	600	T3	R2	D1	1491	68.52
4	600	T3	R2	D2	1421	70.00
4	600	T3	R2	D3	1228	74.07
4	600	T3	R2	D4	1131	76.12
4	600	T3	R3	D1	1473	68.90
4	600	T3	R3	D2	1443	69.53
4	600	T3	R3	D3	1233	73.97
4	600	T3	R3	D4	1126	76.22
3	200	T1	R1	D1	659	86.09
3	200	T1	R1	D2	628	86.74
3	200	T1	R1	D3	511	89.21
3	200	T1	R1	D4	482	89.82
3	200	T1	R2	D1	675	85.75
3	200	T1	R2	D2	635	86.59
3	200	T1	R2	D3	521	89.00
3	200	T1	R2	D4	473	90.01
3	200	T1	R3	D1	661	86.04
3	200	T1	R3	D2	621	86.89
3	200	T1	R3	D3	530	88.81
3	200	T1	R3	D4	463	90.22
3	400	T2	R1	D1	189	96.01
3	400	T2	R1	D2	169	96.43
3	400	T2	R1	D3	135	97.15
3	400	T2	R1	D4	115	97.57
3	400	T2	R2	D1	191	95.97
3	400	T2	R2	D2	165	96.52
3	400	T2	R2	D3	130	97.26
3	400	T2	R2	D4	120	97.47
3	400	T2	R3	D1	190	95.99
3	400	T2	R3	D2	161	96.60
3	400	T2	R3	D3	138	97.09
3	400	T2	R3	D4	128	97.30

---

3	600	T3	R1	D1	293	93.81
3	600	T3	R1	D2	259	94.53
3	600	T3	R1	D3	221	95.33
3	600	T3	R1	D4	184	96.11
3	600	T3	R2	D1	281	94.07
3	600	T3	R2	D2	240	94.93
3	600	T3	R2	D3	219	95.38
3	600	T3	R2	D4	193	95.92
3	600	T3	R3	D1	270	94.30
3	600	T3	R3	D2	231	95.12
3	600	T3	R3	D3	212	95.52
3	600	T3	R3	D4	174	96.33

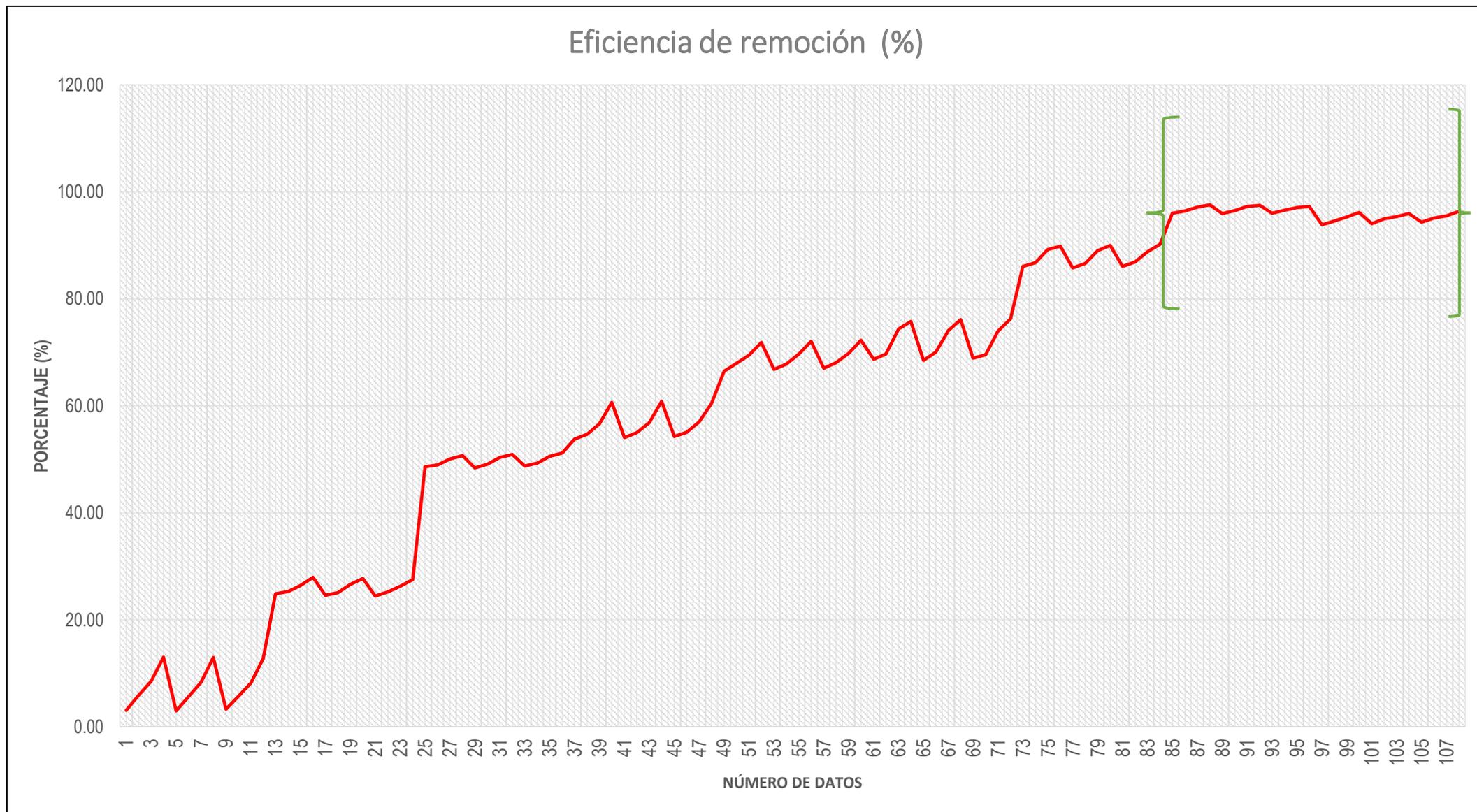
*Nota. Datos generales aplicados de los 3 sistemas de tratamiento.*

Distribución de los resultados de aplicación de la oxidación FENTON en la remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal



**Figura 2**

*Distribución de la eficiencia de remoción de aplicación de la oxidación FENTON en la remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal*



Teniendo en cuenta los resultados finales tanto de concentraciones de remoción como eficiencia en la aplicación de la oxidación FENTON en la remoción de materia orgánica de aguas servidas de camal; podemos agrupar los de menor concentración y mayor eficiencia de remoción teniendo:

**Tabla 23**

*Resultados de aplicación del tratamiento en concentraciones como en eficiencia de remoción*

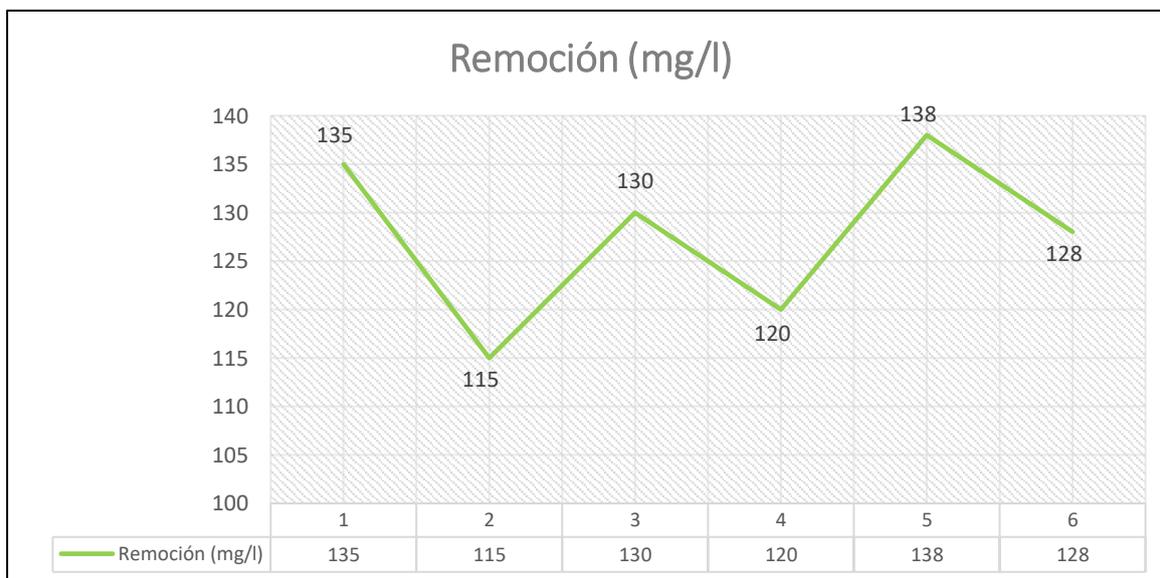
pH	Dosis Peróxido de Hidrógeno	Tratamiento	Repeticiones	Dosis Fe+2	Remoción (mg/l)	Porcentaje de Remoción (%)
3	400	T2	R1	D3	135	97.15
3	400	T2	R1	D4	115	97.57
3	400	T2	R2	D3	130	97.26
3	400	T2	R2	D4	120	97.47
3	400	T2	R3	D3	138	97.09
3	400	T2	R3	D4	128	97.30

*Nota.* Datos del sistema más eficiente.

De lo que se tiene:

**Figura 3**

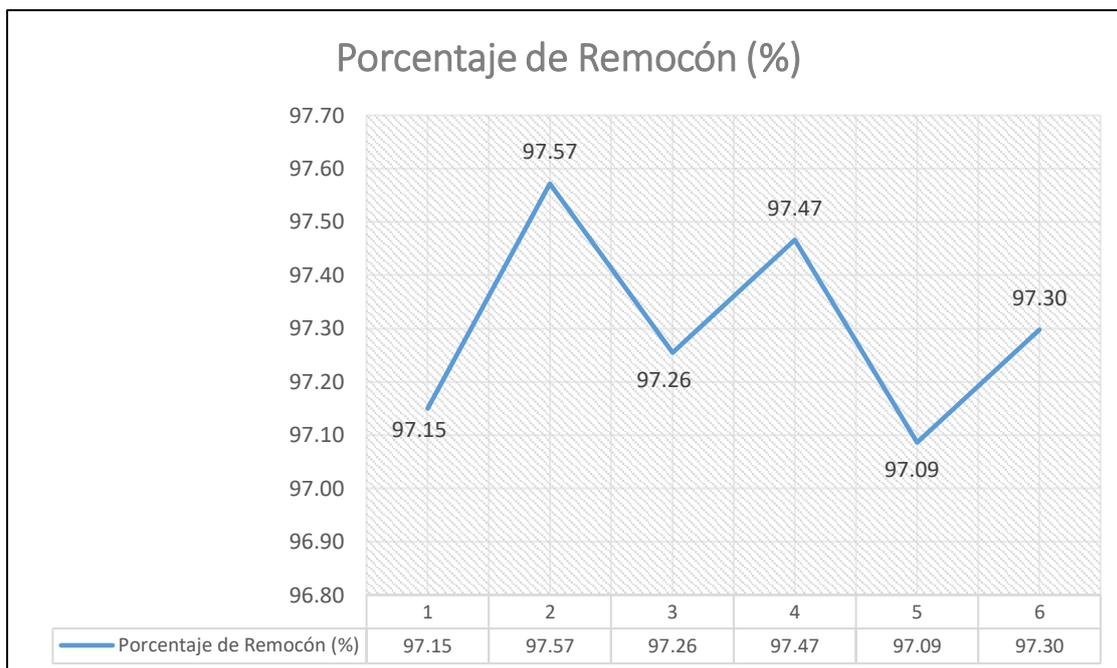
*Agrupación de resultados con menor concentración removida aplicando el tratamiento*



*Nota.* Datos agrupados de los resultados de remoción de DQO aplicando la oxidación FENTON en aguas servidas de camal

**Figura 4**

*Agrupación de resultados con mayor eficiencia de remoción aplicando el tratamiento*



*Nota.* Datos agrupados de los resultados de eficiencia de remoción de DQO aplicando la oxidación FENTON en aguas servidas de camal

De lo que se desprende el resultado de para remoción de DQO aplicando el tratamiento:  $127.66 \pm 8.78$  (mg/l) y para la eficiencia de remoción de DQO aplicando el tratamiento se tiene:  $97.30 \pm 0.18$  (%), lo que expresa los resultados agrupados estadísticamente tanto de remoción en concentración de DQO como la eficiencia de remoción del mismo.

#### **4.4.2. Análisis Estadístico Inferencial**

Después de analizar estadísticamente la muestra se quiere afirmar que la dosis optima está ubicada entre las dosis 4 (400 mg/l de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + 500 mg/l de Fe<sup>+2</sup>) para ellos se aplica Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) el cual evaluara la significancia de las dosis aplicadas, así como el tratamiento aplicado.

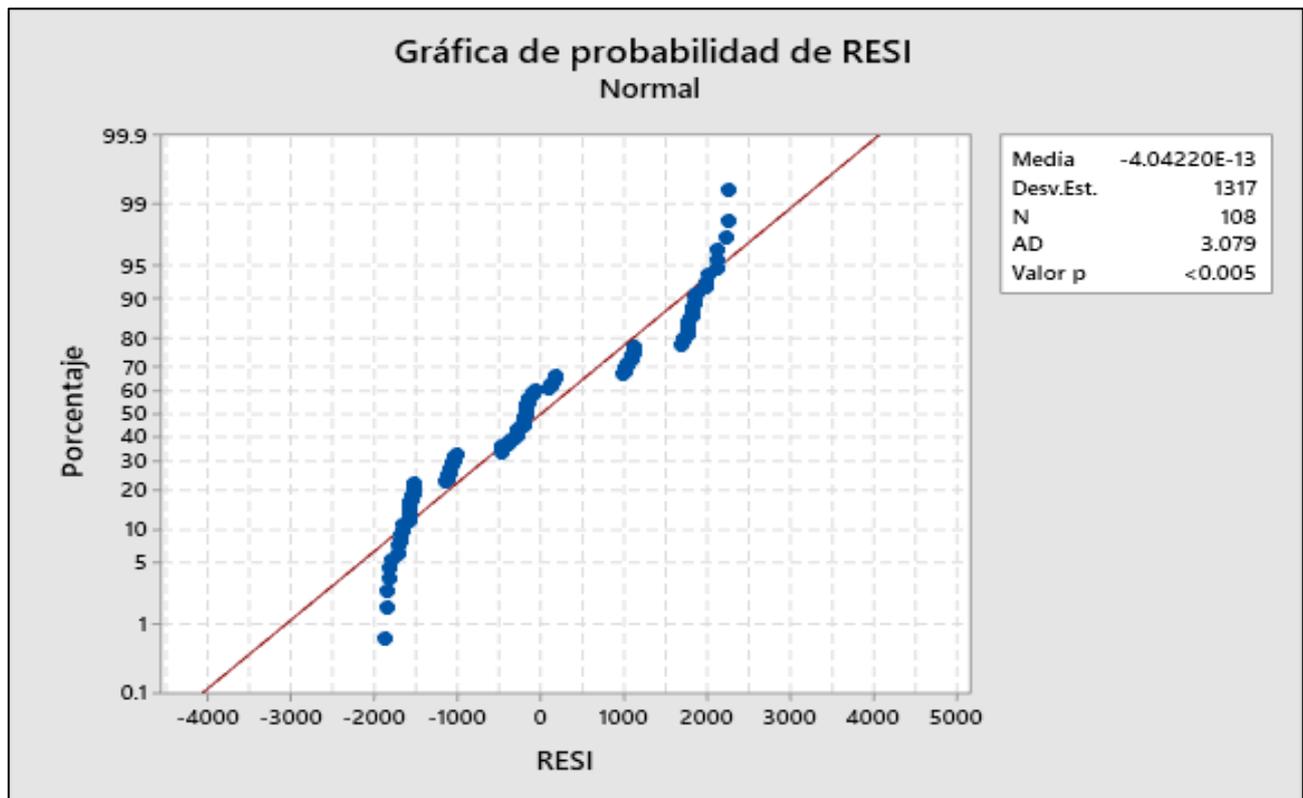
- ✓ Distribución de los errores: Para ello se evalúa la conformación y agrupación de la muestra por residuos para cual se aplica la prueba Anderson-Darling (AD) la cual mide qué tan bien siguen los datos una distribución en particular, para ello se plantean las siguientes hipótesis:

H<sub>0</sub> : Los residuos presentan una distribución normal

Ha : Los residuos no presentan una distribución normal

**Figura 5**

*Resultados de aplicación de prueba de distribución de datos en la investigación*



*Nota.* Elaborado en MINITAB Versión 19

De lo que podemos inferir que con una significancia del 5% con resultado AD= 3.079 y un p-valor < 0.005 que es menor a 0.05 de lo que se concluye que los datos no presentan una distribución normal

- ✓ Homogeneidad de Varianzas: Para ello se aplicó la prueba de Levene para lo cual se aplican las hipótesis:

H0 : Las Varianzas son iguales

Ha : Al menos una varianza es diferente

Obteniendo un indicador de Leven de 4.83 y un p-valor = 0.01, por lo cual aceptamos la hipótesis alterna y negamos la nula de lo que se concluye que con una significancia de 5%, al menos una varianza en los datos es diferente.

- ✓ Verificación estadística de los tratamientos aplicados: Se plante para ello las siguientes hipótesis:

H0 :  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3$  (No hay diferencia significativa entre los tratamientos)

Ha : Al menos una varianza es diferente (Existen diferencias significativas entre los tratamientos)

De análisis realizado se tiene un indicador  $F = 5.44$  y un  $p\text{-valor} = 0.006$  que es menor a  $0.05$  por lo que se rechaza la hipótesis nula y acepta la hipótesis alterna por lo que con una significancia del  $5\%$  se puede afirmar que existen diferencias significativas entre los tratamientos.

- ✓ Efectividad de los tratamientos aplicados: Para ellos se aplica la comparación de tukey teniendo en cuenta los siguientes supuestos:

$$H_0 : \mu_i = \mu_j$$

$$H_a : \mu_i \neq \mu_j$$

**Tabla 24**

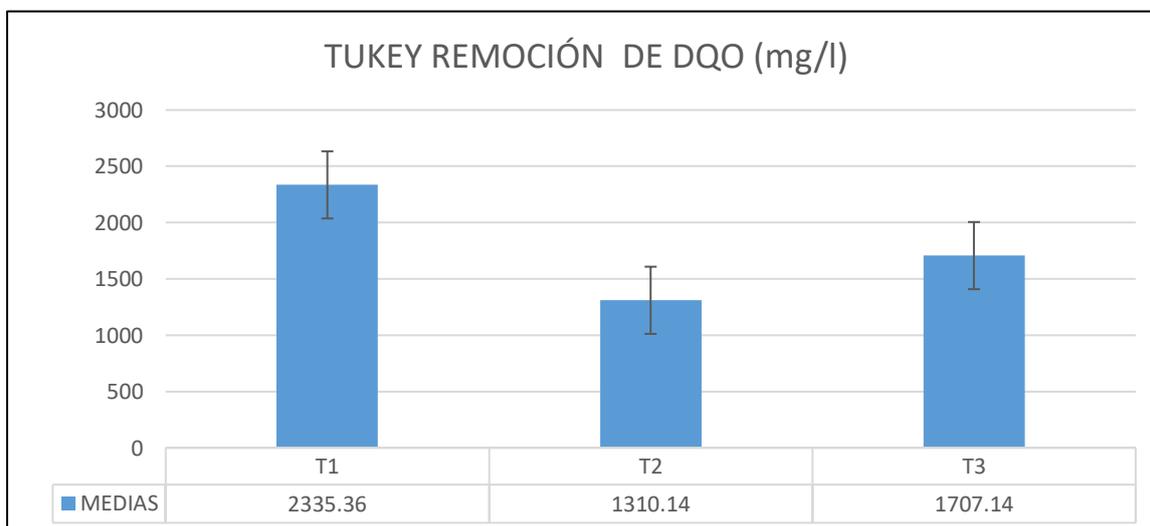
*Prueba de Comparación Tukey respecto a las concentraciones de remoción de DQO al aplicar el tratamiento*

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
T1	36	2335.36	A	
T2	36	1310.14	A	B
T3	36	1707.14	B	

*Nota.* Elaborado en MINITAB Versión 19, las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 6**

*Comparación Tukey según remoción por tratamientos aplicados*



**Tabla 25**

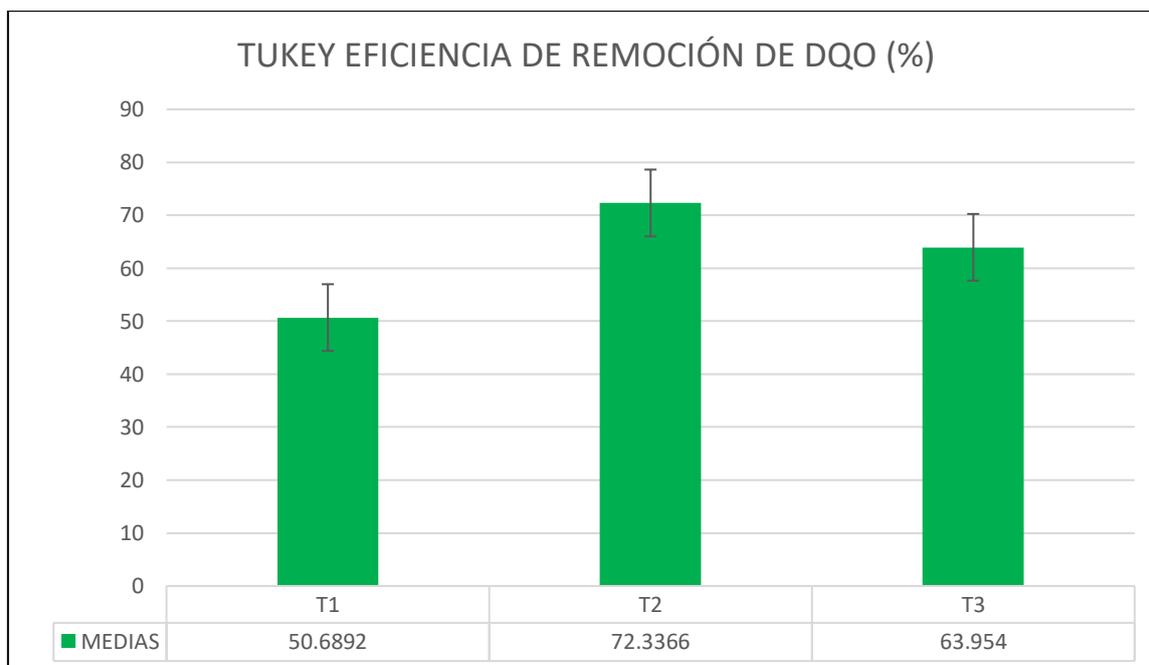
*Prueba de Comparación Tukey respecto a la eficiencia de remoción de DQO al aplicar el tratamiento*

Tratamiento	N	Media	Agrupación	
T2	36	72.3366	A	
T3	36	63.9540	A	B
T1	36	50.6892	B	

*Nota.* Elaborado en MINITAB Versión 19, las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

**Figura 7**

*Comparación Tukey según eficiencia de remoción por tratamientos aplicados*



*Nota.* Elaborado en MINITAB Versión 19, las medias son medias agrupadas de los tratamientos no son medias promedio.

Con una significancia de 5% se puede postular que T2 (tratamiento 2) es el más efectivo al presentar una media más baja en remoción de materia orgánica y una media más alta en promedio respecto a la eficiencia de remoción.

Se tiene el siguiente dato base teniendo en cuenta lo estipulado:

**Tabla 26***Análisis de remoción mínimo obtenida en el tratamiento*

pH	3
Dosis H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	400 mg/l
Dosis Fe <sup>+2</sup>	500 mg/l
Concentración DQO (mg/l)	115 mg/l
Eficiencia de Remoción (%)	97.57%
Tratamiento	2

De esto se puede inferir que el tratamiento más eficiente es el tratamiento 2, el pH óptimo del proceso de remoción de materia orgánica es 3, la dosis óptima aplicada es por un lado 400 mg/l de Peróxido de Hidrogeno y 500 mg/l de Hierro divalente presentando una eficiencia de remoción de 97.57% y una concentración de remoción de 115 mg/l como parámetro de DQO.

#### 4.5. Contratación de Hipótesis de la investigación

Para poder contrastar las hipótesis tanto general como específica se contrasta de la siguiente manera:

**Tabla 27***Contratación de Hipótesis de Investigación*

HIPOTESIS GENERAL	ARGUMENTACION	CONTRASTACION
La aplicación del proceso de oxidación FENTON es efectiva al momento de remover materia orgánica de aguas servidas del camal de Yerbateros,2022	Según los resultados y el análisis estadístico respectivo el proceso de oxidación FENTON es efectivo al momento de remover materia orgánica de aguas servidas del camal de Yerbateros debido a que estadísticamente con un F= 5.44 y un p-valor = 0.006, manifiesta una efectiva estadística significativa	Verdadera

---

 HIPOTESIS

 ESPECIFICAS
 

---

Los parámetros

 fisicoquímicos  
 caracterizados son los  
 adecuados para determinar  
 la composición de materia  
 orgánica de las aguas  
 servidas del canal del  
 Yerbateros, 2022

 Se sostiene que para evaluar la  
 materia orgánica el parámetro  
 base es la DQO ya que este  
 parámetro permite asociar la  
 disponibilidad química de  
 oxígeno en la muestra de agua

Verdadera

 La concentración Final de  
 materia orgánica  
 aplicando el tratamiento  
 de oxidación FENTON es  
 menor a 150 mg/l

 Según los resultados obtenidos  
 se tiene una concentración final  
 promedio al aplicar el  
 tratamiento de oxidación  
 FENTON de 127.66 mg/l con  
 una desviación estándar de 8.77

Verdadera

 La eficiencia de remoción  
 de materia orgánica  
 aplicando el tratamiento  
 por oxidación FENTON  
 es mayor a 90%

 Según los resultados obtenidos  
 se tiene la eficiencia de remoción  
 promedio al aplicar el  
 tratamiento de oxidación  
 FENTON es de 97.30% con una  
 desviación estándar de 0.18

 Verdadera
 

---

## V. DISCUSION DE RESULTADOS

De acuerdo a Su Ting et al., (2021, p.1); donde estudió la remoción de la materia orgánica de los efluentes secundarios de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante la aplicación de oxidación Fenton (OF); obteniendo que la OF generó una eficiencia de remoción alta mayor al 50% de efluentes secundarios en las condiciones óptimas de Fe 2,0 mM , pH 3,0 y 3,0 h de tiempo de reacción; pudiendo respaldar el presente estudio; afirmando que a un pH 3 ocurre una mayor eficiencia de remoción de la materia orgánica. De acuerdo con los resultados de la aplicación de oxidación FENTON en la remoción de materia orgánica de aguas servidas del camal se tuvo que la mayor eficiencia de remoción se da con un pH 3 a 200 y 600 mg/l; obteniendo porcentajes de remoción desde el 90% al 97% y una eficiencia de remoción de 120 a 463mg/l.

Así también, Shi Lu et al., (2022, p.1), apoya lo mencionado afirmando que el pH óptimo para que ocurra una mayor extracción utilizando la oxidación Fenton en el tratamiento de aguas residuales es en promedio de 3,5 por debajo del cual no solo se podría extraer más del 90 % del contaminante.

De acuerdo con Lu et al., 2005 y Pignatello et al., 2006 citado en Peng S. et al., (2016, p.3), afirman que la degradación oxidativa de contaminantes orgánicos por reacciones de Fenton suele dar resultados óptimos a un pH de aproximadamente 3, además, las reacciones del sistema férrico se inhiben a un nivel de pH inferior a 3.

Así también fue confirmado en el presente estudio mediante la tabla 4, donde se demostró que mediante una dosis de Fe+2 D4 (500mg/l) se presentaba el mayor porcentaje de remoción; como se prueba; presentando una eficiencia de remoción de 97.57%.

Por otro lado, Ebrahiem E. et al., (2017), menciona que los diferentes parámetros que afectan el proceso de oxidación química de los colorantes en sus soluciones acuosas se estudiaron mediante la reacción de Fenton; siendo entre estos parámetros el pH, la dosis de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), la dosis de sulfato ferroso ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ), la concentración inicial de colorante y el tiempo. Lo que es concordante con lo mencionado en el presente estudio detallando los parámetros fisicoquímicos caracterizados en las aguas servidas de camal.

Además, Ebrahiem E. et al., (2017); explica que las condiciones óptimas resultaron ser: pH 3, la dosis de 1 ml/l  $H_2O_2$  y 0,75 g/l para Fe (II) y  $zFe$  (III) y tiempo de reacción 40 min. Finalmente, se midió la demanda química de oxígeno (DQO), antes y después del

proceso de oxidación para asegurar la destrucción total de los colorantes orgánicos durante su eliminación de las aguas residuales; concluyendo que el proceso de oxidación de Fenton logró con éxito una muy buena eficiencia de eliminación superior al 95 %.

## VI. CONCLUSIONES

- De acuerdo a la caracterización se obtuvo que los resultados estuvieron en el orden de 20,1 °C para la temperatura, 7,8 para pH, 1551 uS/cm para conductividad eléctrica, 4736 mg/l para DQO, 2058 mg/l para DBO, 958 mg/l para sólidos suspendidos totales y 38.6 mg/l para Aceites y grasas.
- Además, después de analizar la muestra se afirmó que la dosis óptima está ubicada entre las dosis 4 (400 mg/l de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> + 500 mg/l de Fe<sup>+2</sup>).
- También, se obtuvo que la dosis óptima se da con un valor de 400 mg/l de Peróxido de Hidrógeno y 500 mg/l de Hierro divalente; obteniendo con ello una eficiencia de remoción del 97.57% y una concentración de remoción de 115 mg/l como parámetro de DQO.
- Mediante los resultados obtenidos se puede concluir que la mayor eficiencia de remoción se genera con un pH 3, siendo este el pH óptimo para la remoción de la materia orgánica.

## VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de la presente investigación en efluentes domésticos producto de operaciones derivadas de alimentos.
- Se recomienda realizar aplicaciones de la oxidación Fenton con la adición de la combinación de algún reactor como un filtro biológico para incrementar los niveles de eficiencia, ya que, la combinación de del tratamiento puede ser una propuesta prometedora.
- Se recomienda utilizar diferentes tecnologías (fotoasistida, microondas, calentamiento, entre otros), para ayudar al incremento de la eficiencia de remoción de la oxidación, comparando cuál de ellas presenta la mejor oxidación de Fenton para eliminar contaminantes orgánicos de soluciones acuosas.
- Se recomienda variar los parámetros de operatividad como temperatura, numero de revoluciones, dosis y otros a fin de observar una posible mayor remoción de materia orgánica.

## VIII. REFERENCIAS

- Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A., & Ibraheem, I. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi journal of biological sciences*, 19(3), 257-275.
- Bayrakdar, M., Atalay, S., & Ersöz, G. (2021). Efficient treatment for textile wastewater through sequential photo Fenton-like oxidation and adsorption processes for reuse in irrigation. *Ceramics International*, 47(7), 9679-9690.
- Bhunia, S., Bhowmik, A., & Mukherjee, J. (2022). Waste management of rural slaughterhouses in developing countries. In *Advanced Organic Waste Management* (pp. 425-449). Elsevier.
- Bolognesi, S., Cecconet, D., & Capodaglio, A. G. (2020). Agro-industrial wastewater treatment in microbial fuel cells. In *Integrated Microbial Fuel Cells for Wastewater Treatment* (pp. 93-133). Butterworth-Heinemann.
- Bond, N. R., Burrows, R. M., Kennard, M. J., & Bunn, S. E. (2019). Water scarcity as a driver of multiple stressor effects. In *Multiple stressors in river ecosystems* (pp. 111-129). Elsevier.
- Bhunia, S., Bhowmik, A., & Mukherjee, J. (2022). Waste management of rural slaughterhouses in developing countries. In *Advanced Organic Waste Management* (pp. 425-449). Elsevier.
- Esteves, B. M., Rodrigues, C. S., Maldonado-Hódar, F. J., & Madeira, L. M. (2019). Treatment of high-strength olive mill wastewater by combined Fenton-like oxidation and coagulation/flocculation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(4), 103252.
- Fleite, S. N., García, A. R., De los Santos, C., Missoni, L. L., Torres, R., Lagorio, M. G., & Cassanello, M. (2020). Simulation and optimization of a lamella settler for cattle feedlot wastewater treatment and nutrients recovery. Experimental validation in the field. *Heliyon*, 6(12), e05840.

- GAN, Shuchai, et al. Non-targeted characterization of dissolved organic matter from a wastewater treatment plant by FT-ICR-MS: A case study of hospital sewage. *Journal of Water Process Engineering*, 2022, vol. 48, p. 102834.
- Garcia, X., & Pargament, D. (2015). Reusing wastewater to cope with water scarcity: Economic, social and environmental considerations for decision-making. *Resources, Conservation and Recycling*, 101, 154-166.
- Gamarra Güere, C., & Gómez, L. R. T. DECOLORACIÓN DEL ANARAJADO DE METILO EMPLEANDO EL SISTEMA FENTON.
- González-Vargas, C., Salazar, R., & Sirés, I. (2014). Electrochemical treatment of Acid Red 1 by electro-Fenton and photoelectro-Fenton processes. *Journal of Electrochemical Science and Engineering*, 4(4), 235-245.
- Grosser, A., & Celary, P. (2019). Biogas (methane production) and energy recovery from different sludges. In *Industrial and Municipal Sludge* (pp. 705-740). Butterworth-Heinemann.
- Jiao, Y. (2021). Waste to biohydrogen: potential and feasibility. *Waste to Renewable Biohydrogen*, 33-53.
- Kanafin, Y. N., Makhatova, A., Meiramkulova, K., & Pouloupoulos, S. G. (2022). Treatment of a poultry slaughterhouse wastewater using advanced oxidation processes. *Journal of Water Process Engineering*, 47, 102694.
- Khan, N. A., Khan, A. H., Tiwari, P., Zubair, M., & Naushad, M. (2021). New insights into the integrated application of Fenton-based oxidation processes for the treatment of pharmaceutical wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 44, 102440.
- Kumari, U., Swamy, K., Gupta, A., Karri, R. R., & Meikap, B. C. (2021). Global water challenge and future perspective. In *Green Technologies for the Defluoridation of Water* (pp. 197-212). Elsevier.
- Lin, R., Li, Y., Yong, T., Cao, W., Wu, J., & Shen, Y. (2022). Synergistic effects of oxidation, coagulation and adsorption in the integrated fenton-based process for

- wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, 306, 114460.
- Marron, E. L., Mitch, W. A., von Gunten, U., & Sedlak, D. L. (2019). A tale of two treatments: the multiple barrier approach to removing chemical contaminants during potable water reuse. *Accounts of chemical research*, 52(3), 615-622.
- Meng, S. A., Bu, J. R., & Lin, C. M. (2021). Experiment of subcritical water (Fenton) oxidation treatment of methyl vanillin wastewater. *Journal of the Indian Chemical Society*, 98(9), 100115.
- Michael-Kordatou, I., Michael, C., Duan, X., He, X., Dionysiou, D. D., Mills, M. A., & Fatta-Kassinos, D. (2015). Dissolved effluent organic matter: characteristics and potential implications in wastewater treatment and reuse applications. *Water Research*, 77, 213-248.
- Moura, L., & Picão, R. C. (2022). Removal of antimicrobial resistance determinants from wastewater: a risk perspective on conventional and emerging technologies. *Emerging Contaminants in the Environment*, 603-642.
- Nidheesh, P. V., Scaria, J., Babu, D. S., & Kumar, M. S. (2021). An overview on combined electrocoagulation-degradation processes for the effective treatment of water and wastewater. *Chemosphere*, 263, 127907.
- Oller, I., Malato, S., & Sánchez-Pérez, J. (2011). Combination of advanced oxidation processes and biological treatments for wastewater decontamination—a review. *Science of the total environment*, 409(20), 4141-4166.
- Patel, P., Modi, A., Minipara, D., & Kumar, A. (2021). Microbial biosurfactants in management of organic waste. In *Sustainable Environmental Clean-Up* (pp. 211-230). Elsevier.
- Suresh, K. S., Suresh, P. V., & Kudre, T. G. (2019). Prospective ecofuel feedstocks for sustainable production. In *Advances in Eco-Fuels for a Sustainable Environment* (pp. 89-117). Woodhead Publishing.

- E.M. Perdue J. D. Ritchie. (2014). Dissolved Organic Matter in Freshwaters. Treatise on Geochemistry (Second Edition). Volume 7, Pages 237-272.
- Pooja, K., Priyanka, V., Rao, B. C. S., & Raghavender, V. (2022). Cost-effective treatment of sewage wastewater using microalgae *Chlorella vulgaris* and its application as bio-fertilizer. *Energy Nexus*, 7, 100122.
- Sabino De Gisi, Patrizia Casella Michele Notarnicola. (2017). Grey Water. Encyclopedia of Sustainable Technologies. Pages 77-89.
- Segura, Y., Del Álamo, A. C., Munoz, M., Álvarez-Torrellas, S., García, J., Casas, J. A., ... & Martínez, F. (2021). A comparative study among catalytic wet air oxidation, Fenton, and Photo-Fenton technologies for the on-site treatment of hospital wastewater. *Journal of Environmental Management*, 290, 112624.
- Silva, T. F., Ferreira, R., Soares, P. A., Manenti, D. R., Fonseca, A., Saraiva, I., ... & Vilar, V. J. (2015). Insights into solar photo-Fenton reaction parameters in the oxidation of a sanitary landfill leachate at lab-scale. *Journal of environmental management*, 164, 32-40.
- Thomas, O., Causse, J., & Thomas, M. F. (2017). Aggregate organic constituents. In *UV-Visible spectrophotometry of water and wastewater* (pp. 139-162). Elsevier.
- Van Gijn, K., Chen, Y. L., van Oudheusden, B., Gong, S., de Wilt, H. A., Rijnaarts, H. H. M., & Langenhoff, A. A. M. (2021). Optimizing biological effluent organic matter removal for subsequent micropollutant removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 106247.
- Vidal, J., Villegas, L., Peralta-Hernandez, J. M., & Salazar Gonzalez, R. (2016). Removal of Acid Black 194 dye from water by electrocoagulation with aluminum anode. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 51(4), 289-296.
- Vidal, J., Huiliñir, C., & Salazar, R. (2016). Removal of organic matter contained in slaughterhouse wastewater using a combination of anaerobic digestion and solar photoelectro-Fenton processes. *Electrochimica Acta*, 210, 163-170.

Vilardi, G., Bavasso, I., Scarsella, M., Verdone, N., & Di Palma, L. (2020). Fenton oxidation of primary municipal wastewater treatment plant sludge: Process modelling and reactor scale-up. *Process Safety and Environmental Protection*, *140*, 46-59.

Villaseñor-Basulto, D. L., Picos-Benítez, A., Pacheco-Alvarez, M., Pérez, T., Bandala, E. R., & Peralta-Hernández, J. M. (2022). Tannery wastewater treatment using combined electrocoagulation and electro-Fenton processes. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *10*(2), 107290.

## IX. ANEXOS

### FOTOGRAFÍAS DE LABORATORIO

#### Anexo A Toma de muestra y caracterización.



**Anexo B Dosificación.**

**Anexo C** Análisis de la muestra tratada.