

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL**



**“REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD DEL EFLUENTE DEL  
CAMAL MUNICIPAL EMPLEANDO PROCESO  
OXIDATIVO AVANZADO FENTON EN EL DISTRITO DE  
CUTERVO - CAJAMARCA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO  
FORESTAL Y AMBIENTAL**

**Autor : Bach. Oslí Tahiry Arteaga Cancino**

**Asesor : Mg. Ing. Jorge Antonio Delgado Soto**

**JAÉN – PERÚ, SETIEMBRE, 2020**



## ACTA DE SUSTENTACIÓN

El Jurado Evaluador acordó la realización de la sustentación para el día 07 de octubre del año 2020, a las 17:00 horas, motivado a inconvenientes tecnológicos por parte del autor del Informe Final de Tesis. Se reunieron los integrantes del Jurado de manera virtual, mediante el enlace <https://meet.google.com/tmw-pwkt-coe>:

Presidente : Mg. MARÍA MARLENI TORRES CRUZ  
Secretario : MSc. HANDRY MARTÍN RODAS PURIZAGA  
Vocal : MSc. CARMEN IRENE SANTOYO BURGOS, para evaluar la **Sustentación del Informe Final de:**

- ( ) Trabajo de Investigación  
( X ) Tesis  
( ) Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado:

*Remoción de la turbiedad del efluente del camal municipal empleando proceso oxidativo avanzado FENTON en el distrito de Cutervo - Cajamarca*, presentado por el Bachiller Oslí Tahiry Arteaga Cancino de la Carrera Profesional de Ingeniería forestal y ambiental de la Universidad Nacional de Jaén.

Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

- ( X ) Aprobar ( ) Desaprobar ( X ) Unanimidad ( ) Mayoría

Con la siguiente mención:

- |                |            |        |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente   | 18, 19, 20 | ( )    |
| b) Muy bueno   | 16, 17     | ( )    |
| c) Bueno       | 14, 15     | ( 15 ) |
| d) Regular     | 13         | ( )    |
| e) Desaprobado | 12 ó menos | ( )    |

Siendo las 18:00 horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.

Presidente

Secretario

Vocal

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE.....	III
RESUMEN.....	VIII
ABSTRAC.....	IX
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
<b>II. OBJETIVOS.....</b>	<b>12</b>
2.1. Objetivo general.....	12
2.2. Objetivos específicos .....	12
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>13</b>
3.1. Diseño experimental y modelo estadístico .....	13
3.2. Equipos, Materiales y Reactivos.....	13
3.2.1. Equipos y materiales de campo .....	13
3.2.2. Equipos de protección personal.....	13
3.2.3. Equipos, materiales y reactivos empleados en el laboratorio .....	13
3.3. Identificación del área de estudio .....	14
3.3.1. Ubicación geográfica.....	14
3.4. Descripción del área de estudio .....	16
3.5. Descripción del lugar de obtención del afluente estudiado .....	16
3.6. Variables .....	17
3.7. Fuentes de Información .....	17
3.7.1. Primarias.....	17
3.7.2. Secundarias.....	17
3.8. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos .....	17
3.8.1. Método .....	17
3.8.2. Procedimiento.....	17
3.8.2.1. Ubicación de la muestra .....	17
3.8.2.2. Recolección y transporte de muestras .....	18

3.8.2.3 Caracterización de la muestra .....	19
3.8.2.4 Tratamiento del efluente .....	22
3.8.2.5 Preparación de la muestra.....	22
3.8.2.6 Dosificación.....	23
IV RESULTADOS .....	28
4.1. Caracterización del efluente.....	28
4.2. Cálculo de remoción de turbiedad .....	28
4.3. Análisis de Varianza (ANOVA).....	30
V. DISCUSIONES .....	32
VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	34
6.1. Conclusiones.....	34
6.2. Recomendaciones .....	34
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	35
Bibliografía .....	35
Agradecimiento.....	37
Dedicatoria.....	38
VIII ANEXOS .....	39

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diseño experimental.....	13
Tabla 2 Coordenadas del Camal Municipal del distrito de Cutervo .....	16
Tabla 3 Parámetros a medir con sus respectivas metodologías .....	21
Tabla 4 Volumen de dosificación del peróxido de hidrogeno al 30%.....	25
Tabla 5 Caracterización del Efluente del Camal Municipal .....	28
Tabla 6 Valores de las mediciones de la turbiedad del efluente del camal municipal del distrito de Cutervo, para cada dosificación y repetición correspondientes.....	28
Tabla 7 Porcentaje de la remoción de turbiedad del afluyente del camal municipal del distrito de Cutervo... ..	29
Tabla 8 Análisis de varianza.....	30
Tabla 9 Tabla de Prueba de Comparación de Medias TUKEY .....	31

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Identificación y toma de coordenadas del efluente del camal municipal.....	18
Figura 2: Recolección de muestras del efluente.....	18
Figura 3: Acondicionamiento para el traslado de las muestras .....	19
Figura 4 Homogenización y preparación de las 9 muestras .....	22
Figura 5 Acondicionamiento de las muestras a un pH de 2.8... ..	23
Figura 6 Medición del pH de acondicionamiento.....	23
Figura 7 Pesado y agregado de sulfato ferroso granular a las nueve muestras.....	24
Figura 8 Adición a la muestra de peróxido de hidrógeno al 30% .....	25
Figura 9 Agitación de la mezcla a 150 rpm por 45 minutos .....	26
Figura 10 Reposo de la mezcla por 30 minutos posterior a la agitación.....	26
Figura 11 Extracción de la muestra para su análisis .....	27
Figura 12 Medición de turbiedad posterior al proseo Fenton... ..	27
Figura 13 Porcentaje promedio de remoción de turbiedad entre los tratamientos .....	29

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Metodología utilizada para ensayos de aguas residuales en este proyecto...39	
Anexo 2 Resultados de análisis de turbiedad del afluente..... 40	
Anexo 3 Panel fotográfico..... 41	

## RESUMEN

Los procesos oxidativos avanzados han cobrado trascendencia, pues actualmente los tipos y niveles de contaminación de aguas residuales, son resistentes a tratamientos biológico. El efluente del camal municipal del distrito de Cutervo, es vertido directamente al canal “San Luis de Purapurán”, generando contaminación, debido a que posee elevada carga orgánica. La investigación se refirió a la remoción de la turbiedad del efluente, empleando tres dosificaciones del reactivo de Fenton, considerando la relación  $H_2O_2/Fe^{+2}$ : 0.2, 0.6 y 1.0. Se caracterizaron los siguientes parámetros: color 3700.00 UCV Pt-Co, conductividad eléctrica 405  $\mu S/cm$ , demanda química de oxígeno (DQO) 4,252.8  $mgO_2/L$ , pH 6.8, turbiedad 20.0 NTU, sólidos totales en suspensión 1,040.0  $mg STS/L$ . Los resultados de los porcentajes de remoción de la turbiedad, fueron 98.7% para 0.2, 94.93% para 0.6 y 91.91% para 1.0. Del análisis de varianza, el valor F calculado resultó 20.61, mientras que el valor crítico (F tabulado) fue 0.002, por lo tanto, se aceptó la hipótesis alterna, concluyendo que el empleo del Proceso de Oxidativo Avanzado Fenton, resultó ser efectivo para la remoción de la turbiedad del efluente. La prueba de comparación de medias de Tukey, indicó que el mejor tratamiento fue el de la relación  $H_2O_2/Fe^{+2}$  0.2

**Palabras clave:** *efluente, camal, proceso oxidativo avanzado, reactivo de Fenton, turbiedad.*

## ABSTRACT

Advanced oxidative processes have gained importance, as currently the types and levels of wastewater pollution are resistant to biological and chemical treatments. The effluent from the municipal slaughterhouse of the Cutervo district is discharged directly into the “San Luis de Purapuran” canal, generating pollution, due to its high organic load. The research referred to the removal of the effluent turbidity, using three dosages of the Fenton reagent, considering the  $\text{H}_2\text{O}_2 / \text{Fe}^{+2}$  ratio: 0.2, 0.6 and 1.0. The following parameters were characterized: color 3700.00 UCV Pt-Co, electrical conductivity 405  $\mu\text{S} / \text{cm}$ , chemical oxygen demand (COD) 4.252.8  $\text{mgO}_2 / \text{L}$ , pH 6.8, turbidity 20.0 NTU, total suspended solids 1,040.0  $\text{mg STS} / \text{L}$ . The results of the turbidity removal percentages were 98.7% for 0.2, 94.93% for 0.6 and 91.91% for 1.0. From the analysis of variance, the calculated F value was 20.61, while the critical value (F tabulated) was 0.002, the alternative hypothesis was accepted, concluding that the use of the Fenton Advanced Oxidative Process, turned out to be effective for the removal of turbidity of the effluent. Tukey's mean comparison test indicated that the best treatment was the  $\text{H}_2\text{O}_2 / \text{Fe}^{+2}$  ratio 0.2

**Keywords:** *effluent, canal, advanced oxidative process, Fenton reagent, turbidity*

## I. INTRODUCCIÓN

El camal municipal del distrito de Cutervo ubicado en el sector San Luis de Purapuran genera varios residuos sólidos como excremento, pelos, etc. y residuos líquido como el efluente que posee sangre, excrementos, detergentes; constituyendo al efluente con elevada carga orgánica.

El efluente es vertido directamente al canal San Luis de Purapuran, esto afecta a la vida acuática, además el mencionado canal colinda con áreas de cultivo de papa y maíz.

Los problemas que genera el efluente en el cuerpo natural, son: la alteración de la capacidad de autodepuración y riesgo en la salud pública, debido a que el agua de este canal es empleada por pobladores para el riego de sus cultivos, generando contaminación en los productos de cosecha. Por tal motivo el manejo del efluente líquido proveniente del camal municipal, es fundamental en la sostenibilidad del medio ambiente.

Dentro de las nuevas metodologías se propone la utilización de los Procesos de Oxidación Avanzada y más específicamente el proceso Fenton, en el que se utilizan como reactivos al peróxido de hidrogeno y como catalizador sales de  $Fe^{+2}$  para la formación de radicales hidroxilos, ya que estos radicales son muy reactivos (García et al, 2012)

Los Procesos de Oxidación Avanzada (POA), muy poco aplicados y difundidos en países de economías emergentes, pueden convertirse en una alternativa viable. La mayoría de los POA (procesos oxidativos avanzados) puede aplicarse a la remediación y descontaminación de aguas residuales agresivas, generalmente en pequeña o mediana escala (Sanchis, Polo, Tobajas, Rodríguez, & Moh, 2013).

El proceso Fenton puede ser de dos tipos; el primer tipo denominado homogéneo en donde todas las especies químicas se encuentran en fase acuosa; y el segundo tipo denominado heterogéneo que emplea un catalizador sólido en donde el ion hierro ( $Fe^{3+}$ ) se encuentra soportado o inmovilizado sobre un material. La reacción homogénea tiene una desventaja y

es que requiere de un paso adicional para la separación de los iones Fe presentes en el efluente; aunque los iones hierro no representan un contaminante preocupante, si puede considerarse un problema pues, debido a los cambios de pH de las aguas residuales, puede formar lodos por su precipitación como hidróxido (Herrera, 2014).

Los POAS, se basan en procesos fisicoquímicos capaces de producir cambios en la estructura química de los contaminantes involucrando la generación y uso de especies oxidantes fuertes, principalmente el radical hidroxilo ( $\text{OH}\cdot$ ) el cual posee una alta actividad y baja selectividad (Muruganandham, et al, 2014).

El proceso Fenton es un Proceso de Oxidación Avanzado de orden catalítico que emplea peróxido de hidrogeno (agua oxigenada) y sales de hierro para la generación de radicales hidroxilos. En la que la muestra debe ser acondicionada a pH ácido, entre 2 y 3, esto va a permitir un proceso de óxido reducción del peróxido de hidrógeno. Por eso es conveniente saber, cuales son las dosis óptimas, que permitirán la remoción de algunos parámetros como son: color, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno, turbidez, en general aguas con elevada concentración de materia orgánica (Chaparro, Botta, & Pires, 2010).

Así mismo, usando este método es posible alcanzar la mineralización completa (transformación hasta  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ) del contaminante. En cambio, las tecnologías convencionales, no alcanzan a oxidar completamente la materia orgánica generando la formación de compuestos que incluso pueden llegar a tener mayor toxicidad que el contaminante inicial, además, con los métodos tradicionales se requieren mayores tiempos de proceso y se generan mayor cantidad de lodos. Este tipo de aguas contienen una gran cantidad de contaminantes orgánicos y bacterias producto de actividades de sacrificio y producción de carnes, con potencial peligro para la comunidad, por lo que el estudio de un método para su tratamiento es altamente pertinente (Andrades, 2008).

En el proyecto de investigación se empleó los datos obtenidos por Becerra Díaz & Cadena Ibáñez quien utilizo las relaciones de  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}$ : 0.2; 0,6; 1; para un tiempo óptimo de 75 minutos de operación.

## **II. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo general**

Determinar el grado de dosificación más apto para la remoción la turbiedad del efluente líquido del camal municipal del distrito de Cutervo empleando Proceso Oxidativo Avanzado-Fenton.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar el efluente con los parámetros: Demanda Química de Oxígeno, pH, Turbiedad, Sólidos Totales en Suspensión.
- Evaluar las diferentes concentraciones mediante los tratamientos.
- Determinar la dosificación adecuada para remover la turbiedad del efluente.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Diseño experimental y modelo estadístico

a) Diseño experimental:

Tabla 1

Diseño experimental

Tratamientos	Dosificación Fenton $H_2O_2/Fe^{+2}$	Repeticiones
T <sub>1</sub>	0.2	3
T <sub>2</sub>	0.6	3
T <sub>3</sub>	1	3

T<sub>1</sub>: tratamiento 1 T<sub>2</sub>: tratamiento 2 T<sub>3</sub>: tratamiento 3

b) Modelo estadístico.

Los datos fueron procesados bajo un diseño completamente al azar (DCA) y un análisis de varianza de un solo factor, posteriormente se realizó una comparación de medias (PCM) de Tukey con la finalidad de encontrar cual es el mejor tratamiento, todas estas actividades se realizaron en hojas de cálculo Excel.

#### 3.2. Equipos, Materiales y Reactivos

**3.2.1. Equipos y materiales de campo:** GPS de marca Garmin modelo GPSmap64s, cámara marca Samsung modelo S30Plus, Galoneras de plástico con 5 litros de capacidad.

**3.2.2. Equipos de protección personal:** Guantes de hule, mandil, mascarilla, botas de jebe, mascarilla.

**3.2.3. Equipos, materiales y reactivos empleados en el laboratorio:** Multiparámetro marca HANNA, modelo HI 2550, fotocolorímetro marca HASH modelo DR 900, Turbidímetro marca HANNA modelo 98703, balanza marca RADWAG modelo

WTB200, vasos precipitados de 1 litro de capacidad, tubos de vidrio de 15 mililitros, bureta de vidrio de 50 mililitros, probetas graduadas de 50 mililitros de capacidad. Reactivos: ácido acético glacial 99.9%, sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) y peróxido de hidrógeno grado Merck al 30% ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

### **3.3. Identificación del área de estudio**

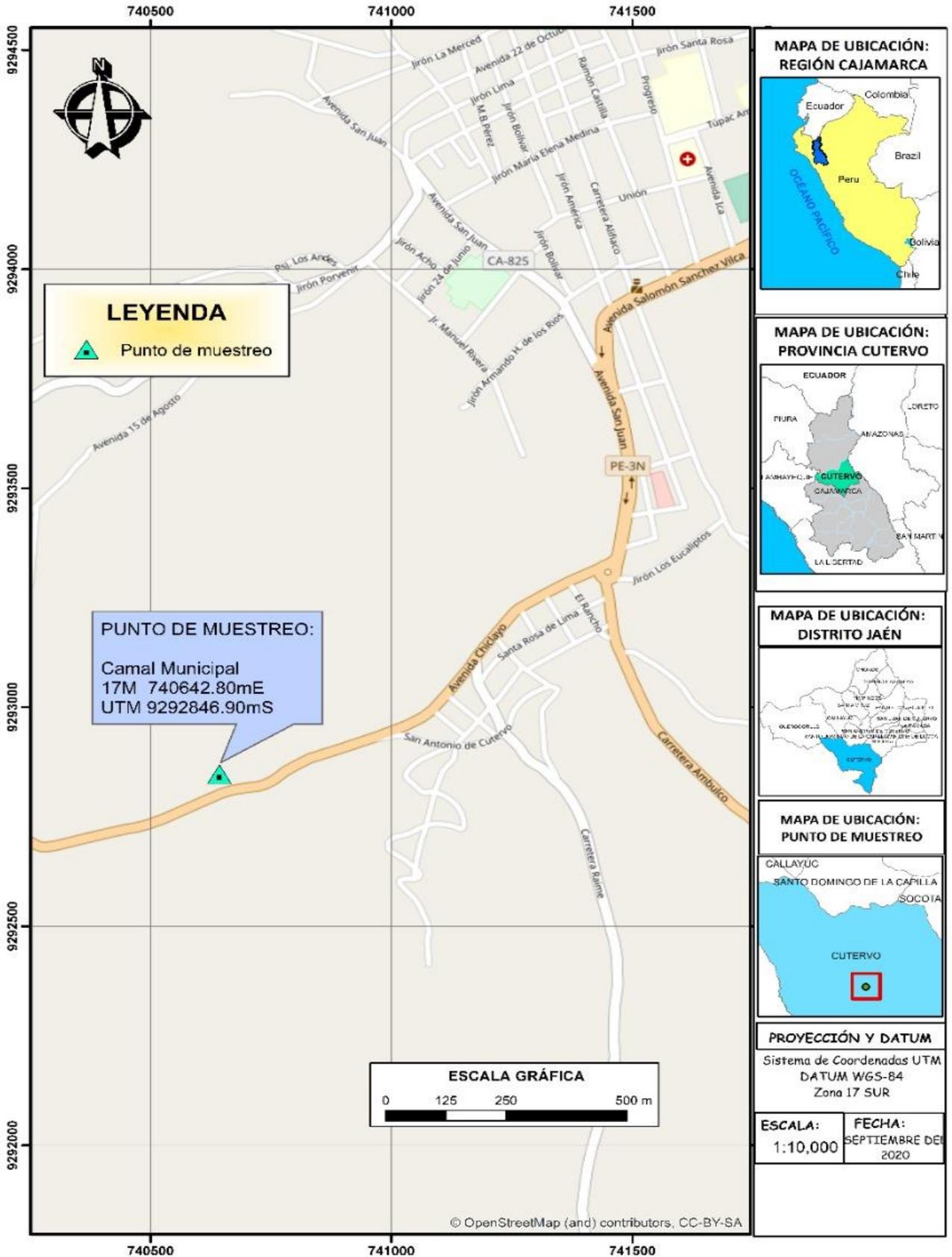
#### **3.3.1. Ubicación geográfica**

La fase preliminar de la investigación se realizó en el Distrito capital de la Provincia de Cutervo, Región Cajamarca, en la parte central del Departamento Cajamarca.

El distrito de Cutervo se encuentra a una altitud promedio de 2593 m.s.n.m. (CLIMATE- DATA.ORG, s.f.)

Limita por el: Norte: Con la provincia de Jaén, Sur: Con la provincia de Chota, Este: Con la Provincia de Utcubamba (Amazonas), Oeste: Con la provincia de Chiclayo (Lambayeque). Y la fase de pruebas experimentales, se realizó en el laboratorio privado OIKOSLAB, ubicado en el distrito de Jaén, provincia de Jaén, región Cajamarca.

Mapa 1: Ubicación del distrito de Cutervo



### 3.4. Descripción del área de estudio

En el Distrito de Cutervo, el clima es generalmente cálido y templado, con una temperatura en promedio de 14.0 °C, y con 985 mm de precipitaciones (CLIMATE-DATA.ORG, s.f.) Su ubicación está clasificada como Cfb por Köppen y Geiger.

### 3.5. Descripción del lugar de obtención del afluente estudiado

La georreferenciación del Camal es la siguiente:

Tabla 2

Coordenadas de Ubicación del Camal Municipal del Distrito de Cutervo

Altitud (m.s.n.m.)	Coordenadas
2593	17 M 740642.80mE UTM 9292846.90mS

El camal municipal del distrito de Cutervo genera efluente líquido con elevada carga orgánica; debido a los residuos contaminantes del recurso hídrico que son producto de la actividad de sacrificio de animales para el consumo en el mercado local, los efluentes afectan la calidad de agua de la zona, desarrollando focos infecciosos en el sector denominado “San Luis de Purapuran” debido a la falta de tratamiento de este efluente.

Las características del Camal Municipal son las siguientes:

El área total del camal es de 4,701.01m<sup>2</sup>, siendo el área construida 519.75 m<sup>2</sup>, con un perímetro de 91.20 m. En promedio el sacrificio diario es de 12 vacunos y 6 porcinos, también se sacrifican animales de origen bobino. El agua residual producida alcanza un promedio aproximado de 6,600 litros/día, el cual fluye directamente al canal San Luis de Purapuran cuyo caudal bordea los 0.0183m<sup>3</sup>/s en épocas con baja precipitación.

### **3.6. Variables**

- Variable dependiente: Remoción de turbidez
- Variable independiente: Dosificación de  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}$ .

### **3.7. Fuentes de Información**

#### **3.7.1. Primarias**

Recolección de datos de campo, para la investigación: ubicación de las coordenadas, del punto de emanación del efluente del camal municipal, empleando GPS de marca Garmin modelo GPSmap64s y recolección de muestras del efluente en recipientes de plástico, con capacidad de 5 litros cada uno.

#### **3.7.2. Secundarias**

Para la elaboración de esta investigación se tomaron en cuenta metodologías, formulas y materiales de muestreo que se han aplicado en estudios científicos, mediante la lectura y búsqueda de información en páginas web utilizando: artículos científicos, libros, tesis, investigaciones y caracterizaciones de efluentes de mataderos o camales.

### **3.8. Métodos, técnicas, procedimientos e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.8.1. Método**

Se empleó el método químico: Proceso de Oxidación Avanzado – Fenton, con el cual se removió la turbiedad del efluente del camal municipal del distrito de Cutervo.

#### **3.8.2. Procedimiento**

##### **3.8.2.1. Ubicación de la muestra**

Localización del camal municipal mediante la toma de sus coordenadas con ayuda del GPS de marca Garmin modelo GPSmap64s, se identificó el punto de emanación del efluente en el interior de sus instalaciones para la obtención de las muestras del mismo para su posterior caracterización y remoción de turbiedad.



Figura 1: Ubicación de coordenadas del punto de emanación de efluente del camal municipal.

### **3822 Recolección y transporte de muestras**

Una vez ubicado el punto de muestreo del efluente, se recolectó la muestra, con un total de 10 litros y se acondicionó en cooler para ser trasladada al laboratorio Oikoslab, en la provincia de Jaén, donde se realizaron los ensayos respectivos.



Figura 2: Recolección de muestras del efluente



Figura 3: Acondicionamiento para el traslado de las muestras hacia el laboratorio

### **3.8.2.3. Caracterización de la muestra**

Se caracterizó la muestra en los siguientes parámetros:

- **Color:** se colocó en el equipo Hach DR-900, una celda con una muestra de 10 ml de agua destilada, se calibró en cero el equipo, luego se diluyó la muestra en agua, en una relación 10/100ml para que el equipo pueda detectarlo, al resultado se lo multiplicó por 10.
- **Conductividad Eléctrica:** para realizar la medición se utilizó el multiparámetro Hanna HI 98129, primero se lavó el electrodo de conductividad eléctrica con agua destilada para remover el remanente de la solución de almacenamiento propia del dispositivo, luego se secó con papel tisú, se homogenizó la muestra y se realizó la medición.
- **Demanda Química de Oxígeno:** se realizó el proceso de digestión de las muestras a 150°C, en el termoreactor HI 839800. En un tubo de ensayo con tapa de baquelita se colocó 3ml de solución digestora (4.903 g de dicromato de potasio, 33.3g de sulfato de mercurio y 167 ml de ácido sulfúrico), luego se añadió 3 ml de solución catalizadora (5.5g de sulfato de plata disuelto en 1 litro

de ácido sulfúrico, dejando reposar durante 48 horas) y 3ml de la muestra diluida. El tiempo de digestión fue de 2 horas. Luego se midió en el equipo Hach DR-900, empleando como blanco una muestra preparada con agua destilada y finalmente se procedió a la lectura.

- pH: este parámetro indica la concentración de iones hidronio  $[H_3O^+]$  para realizar la medición se utilizó el multiparámetro Hanna HI 98129, prosiguiendo de la siguiente manera: se lavó el electrodo de pH con agua destilada para remover el remanente de la solución de almacenamiento (solución de KCl) propia del dispositivo y secarlo con papel tisú, se homogenizó la muestra y se realizó la medición.
- Turbiedad: se calibró el equipo Hanna 98703 utilizando soluciones de formazina de 0.1 NTU, 15 NTU, 100 NTU y 750 NTU, posteriormente se diluyó la muestra 10/100ml, se extrajo 10 ml y se colocó en una celda de vidrio, verificando que esté seca por el exterior y sin huella alguna dactilar (esto se consiguió limpiando el exterior con una toalla sin pelusas) luego se procedió a la medición.
- Sólidos Totales en Suspensión: se colocó en el equipo Hach DR-900 una muestra 10ml de agua destilada (blanco) en una celda de vidrio, con el objetivo de calibrar en cero, luego se diluyó la muestra 10/100 ml de agua destilada y se procedió a realizar la medición.

La medición de los parámetros tanto en caracterización y remoción de la turbiedad, se realizó con las siguientes metodologías

Tabla 3

Parámetros medidos y sus metodologías

Unidades de Parámetro de Medición		Instrumento	Metodología
<b>Potencial de Iones Hidrógeno</b>	Sin Unidades	Hanna HI 98129	Medición directa con el equipo multiparámetro marca HANNA HI- 2550, previamente calibrado en tres puntos con los Buffers HI 70004P (pH 4.01), HI 70007P (pH 7.01) y HI 70010 (pH 10.01). Norma: SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 22 <sup>nd</sup> Ed. (Incluye muestreo). Título: pH Value. Electrometric Method. (INACAL, 2017)
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	mgO <sup>2</sup> /L	Hach DR-900	Chemical Oxygen Demand (COD). Reflujo cerrado, Colorimetric Method: Digestión a 160 °C por 2 horas. Valoración utilizando Sulfato Ferroso Amoniacal (Sal de Mohr). Finalmente se determina la DQO con relación. SMEWW-APHA-AWWA- WEF Part 5220 D, 22nd Ed. (INACAL, 2017)
<b>Turbidez</b>	NTU	Hanna 98703	Medición con equipo Turbidímetro marca HANNA HI-98703, normado por la EPA, cumple y sobrepasa los requisitos de la USEPA 180.1 Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 22nd ed turbidity. Titulo: Nephelometric Method. (INACAL, 2017)

Fuente: Adaptación de (INACAL, 2017)

### 3824. Tratamiento del efluente

Para la remoción de la turbiedad, se aplicó el Proceso de Oxidación Avanzada – Fenton; consistente en la oxidación de iones ferrosos, utilizando peróxido de hidrógeno, este diseño experimental se basó en las pruebas desarrolladas por Becerra y Cadena el 2016, en donde se prepararon tres tratamientos a diferentes concentraciones de relación  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}$  (0.2, 0.6 y 1.0) y un blanco, que era obtenido de la caracterización inicial de la muestra del efluente la muestra fue acondicionada a un pH de 2.8 (Becerra & Cadena, 2016, p. 41-47).

### 3825. Preparación de la muestra

De los 10 litros obtenidos como muestra, se procedió a trabajar con nueve muestras de 1 litro respectivamente.



Figura 4: Homogenización y preparación de las 9 muestras

Las muestras del efluente líquido del camal municipal fueron procesadas a presión atmosférica, temperatura ambiente y acondicionada a un pH de 2.8 (empleando ácido acético glacial al 99.9%).

El acondicionamiento de la muestra a un pH de 2.8 agregando aproximadamente 10 ml de ácido acético glacial al 99.9%

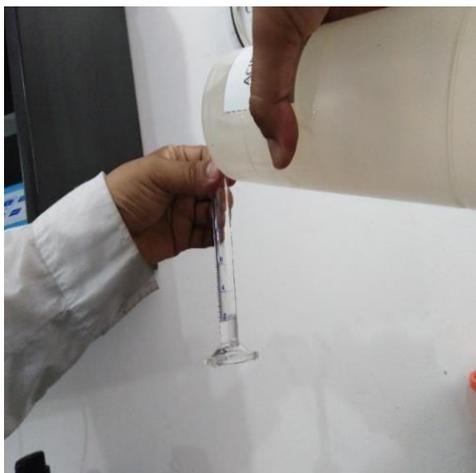


Figura 5: Acondicionamiento de las muestras a pH a 2.8



Figura 6: medición del pH de acondicionado

### **3826. Dosificación**

De acuerdo a Becerra y Cadena (2016) se empleó las relaciones  $0.2 \text{ H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}$ ,  $0.6 \text{ H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}$  y  $1 \text{ H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{+2}$  para un tiempo óptimo de 75 minutos de operación (45 minutos de agitación y 30 minutos de reposo).

Determinación del peso del catalizador.

Como el peso de  $\text{Fe}^{+2}$  que se experimentó fue 0.1, y sabiendo que el sulfato ferroso se disocia en  $\text{Fe}^{+2}$  y  $\text{SO}^-$ , se hizo una operación estequiometria para saber cuánto se debería pesar de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Calculando:

$$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 0.100\text{g Fe}^{+2} \left[ \frac{1\text{mol FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}}{55.485\text{g Fe}^{+2}} \right] \left[ \frac{278\text{ g FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}}{1\text{mol FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}} \right] = 0.5\text{g FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$$

Por lo tanto, el peso obtenido fue 0.50g de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$



Figura 7: Pesado y agregado de sulfato ferroso granular a las nueve muestras

Determinación del peso del peróxido de hidrogeno.

El volumen se determinó de acuerdo a la formula presentada por Becerra y Cadena, (2016).

$$\text{H}_2\text{O} \left[ \frac{\text{ml}}{\text{l}} \right] = \left[ \frac{DQO \left[ \frac{\text{mgO}_2}{\text{L}} \right]}{141.2 \left[ \frac{\text{mgO}_2}{\text{mlH}_2\text{O}_2} \right]} \right]$$

Tabla 4

Volumen de dosificación del peróxido de hidrogeno al 30%

Peso del Fe <sup>+2</sup>	Volumen de dosificación de peróxido de hidrogeno al 30%		
	0.2	0.6	1
0.5g	F <sub>1</sub> = 6ml	F <sub>2</sub> = 18ml	F <sub>3</sub> = 33.11ml

F<sub>1</sub>: volumen 1 F<sub>2</sub>: volumen 2 F<sub>3</sub>: volumen 3

Posterior a este paso se adicionó a las nueve muestras extraídas del efluente peróxido de hidrógeno con una concentración del 30% teniendo en cuenta la relación 0.2, 0.6 y 1 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup> con sus respectivas repeticiones.



Figura 8: Adición a las muestras peróxido de hidrógeno al 30%

Posteriormente se agitó las 9 mezclas de efluente a 150 rpm por el lapso de 45 minutos.



Figura 9: Agitación de la mezcla a 150 rpm por 45 minutos

A continuación, se dejó reposar por el lapso de 30 minutos.



Figura 10: Reposo de la mezcla por 30 minutos posterior a la agitación

Para la medición de los efectos del proceso de oxidación avanzada Fenton, se extrajo 10 ml de cada muestra, procediéndose finalmente a medir la turbiedad.



Figura 11: Extracción de la muestra para su análisis



Figura 12: Medición de turbiedad posterior al proseo Fenton

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Caracterización del efluente

Tabla 5

Caracterización del Efluente del Camal Municipal

Parámetro	Resultado
Color	3,700.00 UCV Pt-Co
Conductividad	405 $\mu$ S/cm
Demanda Química de Oxígeno	4252.8 mgO <sub>2</sub> /L
pH	6.8
Turbiedad,	1,020.0 NTU
Solidos Totales en Suspensión.	1,040.0 mgSTS/L

### 4.2. Cálculo de remoción de turbiedad

Tabla 6

Valores de las mediciones de la turbiedad del efluente del camal municipal del distrito de Cutervo, para cada dosificación y repetición correspondientes.

TURBIEDAD (NTU)				
Repetición	Tratamiento			
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>i</sub>
R <sub>1</sub>	23.8	31.8	85.6	
R <sub>2</sub>	20.9	64.5	71.2	1020
R <sub>3</sub>	14.3	58.8	90.7	

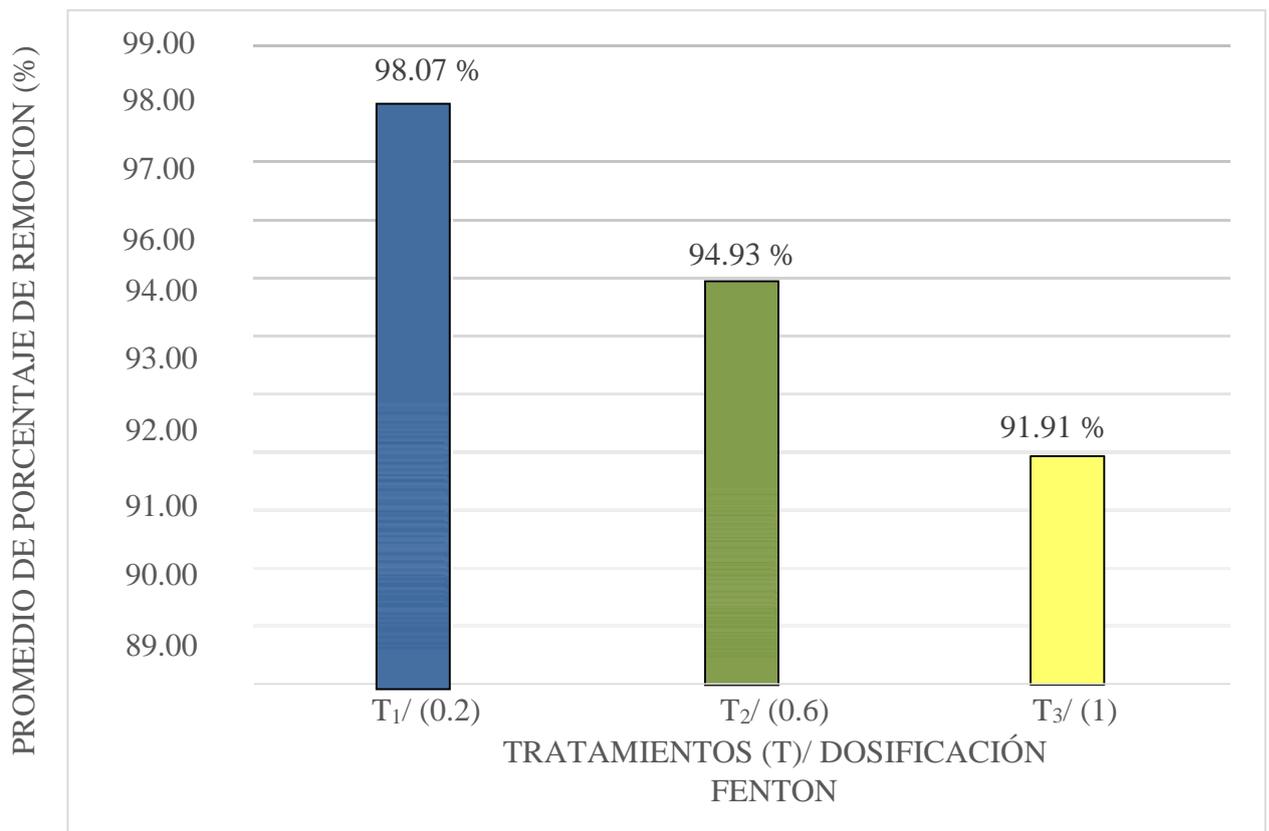
T<sub>i</sub>: testigo, T<sub>1</sub>: tratamiento 1, T<sub>2</sub>: tratamiento 2, T<sub>3</sub>: tratamiento 3; R<sub>1</sub>: repetición 1, R<sub>2</sub>: repetición 2, R<sub>3</sub>: repetición 3

Tabla 7

Porcentaje de la remoción de turbiedad del efluente del camal municipal del distrito de Cutervo

PORCENTAJES DE REMOCIÓN (%)			
Repetición	Tratamiento		
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>
R <sub>1</sub>	97.67	96.88	91.61
R <sub>2</sub>	97.95	93.68	93.02
R <sub>3</sub>	98.6	94.24	91.11
<b>Promedio</b>	98.07	94.93	91.91

T1: tratamiento 1, T2: tratamiento 2, T3: tratamiento 3; R1: repetición 1, R2: repetición 2, R3: repetición 3



T1: tratamiento 1 T2: tratamiento 2 T3: tratamiento 3; (0.2) dosificación fenton, (0.6) dosificación fenton, 1 dosificación fenton

Figura 13: Porcentaje promedio de remoción de turbiedad entre los tratamientos

En la figura 13 y tabla 6 se observa el porcentaje promedio total de cada remoción de la turbiedad del efluente, de acuerdo a las dosificaciones propuestas en la investigación. Se obtuvieron los siguientes resultados: 98.07%, para el tratamiento 1 (T<sub>1</sub>), 94.93% para el tratamiento 2 (T<sub>2</sub>) y 91.91% para el tratamiento 3 (T<sub>3</sub>).

Por lo que se considera a la dosificación Fenton (relación H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup>) 0.2, la más efectiva.

#### 4.3. Análisis de Varianza (ANOVA)

Tabla 8

Análisis de varianza

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	Valor prueba (F <sub>C</sub> )	Probabilidad (F <sub>T</sub> )	Valor crítico para F
Entre grupos	56.93	2	28.46	20.61	0.002	5.14
Dentro de los grupos	8.29	6	1.38			
Total	65.22	8				

**CV: 1.24%**

CV: coeficiente de Variabilidad, (FC) Valor prueba, (FT) Probabilidad

Cálculo del análisis de varianza de un factor con un valor de confianza del 95%

Cálculo del coeficiente de variación:

$$CV = \frac{\sqrt{E}}{Pt} \times 100 \rightarrow CV = \frac{\sqrt{1.38}}{94.8969} \times 100 \rightarrow CV = 1.24\%$$

Dónde: CV: coeficiente de Variabilidad

E: promedio cuadrados dentro de los grupos

Pt: media aritmética

El análisis de varianza, con una confiabilidad del 95%, reportó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos estudiados, dado que el valor prueba Fisher calculado ( $F_C = 20.61$ ) es superior al Fisher tabulado ( $F_t = 0.002$ ).

Tabla 9

Tabla de Prueba de Comparación de Medias TUKEY

<b>Comparaciones</b>	<b>Diferencia</b>	<b>Q</b>	<b>Valor crítico</b>	<b>Significación</b>
T <sub>1</sub> -T <sub>2</sub>	3.14	4.63	3.46	T <sub>1</sub> a
T <sub>1</sub> -T <sub>3</sub>	6.16	9.08	3.46	T <sub>2</sub> b
T <sub>2</sub> -T <sub>3</sub>	3.02	4.45	3.46	T <sub>3</sub> c

La Prueba de Comparación de Medias de Tukey para una confiabilidad del 95% muestra que existe significancia en los tres tratamientos y que el T<sub>1</sub> es el mejor tratamiento, seguido de T<sub>2</sub> y finalmente el T<sub>3</sub>.

## V. DISCUSIONES

De acuerdo a lo observado en la Figura 13, la mejor remoción de turbiedad, se logró con el primer tratamiento removiendo el 98.7%, los posteriores tratamientos disminuyeron su eficacia de remoción, esto con acuerdo con los resultados obtenidos por Becerra y Cadena (2016), que lograron remover 92.13%, debido a que el reactivo de Fenton genera gran cantidad de radicales oxhidrilos ( $\text{OH}\cdot$ ) los cuales actúan sobre la materia orgánica, produciendo moléculas de menor complejidad, precipitándose con el hierro. El ataque por el radical  $\text{OH}\cdot$ , en la presencia del oxígeno inicia complejas reacciones de oxidación en cascada, que conllevan a la mineralización de los compuestos orgánicos, muchas veces hasta  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , las rutas exactas de estas reacciones aún no están totalmente resueltas. (Domenech, X., Wilson, F., Jardim, W., & Litter, 2001, pp.60-61). Los radicales perhidroxilo ( $\text{HO}_2\cdot$ ) también ayudan al inicio de la reacción de oxidación de la materia orgánica. Sin embargo, presentan menor poder de oxidación que los radicales oxhidrilos (Domenech et al., 2004). Un exceso de reactivo de Fenton frente a la misma cantidad de catalizador, disminuye la eficacia de remoción de la turbiedad, esto también fue demostrado por Becerra y Cadena (2016).

Existen variables de control que también ayudan en la actividad y desarrollo de radicales oxhidrilos, el pH es una de las más significativas en el proceso Fenton, estudios sobre el reactivo Fenton han demostrado que sólo es efectivo para un rango de pH que oscila entre 2.5-4.0 (Rubio, Chica y Peñuela, 2014). Es por esto que el acondicionamiento del pH (2.8), empleando ácido acético resultó favorable para la remoción de la turbiedad. Otra característica es la cantidad de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y de sales de hierro a utilizar las cuales, depende del tipo de contaminante que se pretenda remover. Cabe destacar que el  $\text{H}_2\text{O}_2$ , requiere de grandes cantidades de  $\text{Fe}^{+2}$  para su descomposición en radicales  $\text{OH}\cdot$ . Es de esperar que la velocidad de degradación de las moléculas orgánicas sea mayor a medida que aumenta la concentración del oxidante y del catalizador; sin embargo, grandes cantidades de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y de  $\text{Fe}^{+2}$  limitan el porcentaje de degradación del contaminante, ya que se favorecen las reacciones secundarias (Neyens y Baeyens, 2003).

Como se puede observar el aumento de la dosis no necesariamente se refleja en un aumento de la remoción. Al respecto Chica y Peñuela (2014) manifiestan que la concentración de radicales  $\text{OH}\cdot$  están en relación a la concentración de catalizador, es decir elevados volúmenes de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , necesitan elevadas concentraciones de catalizador, en la investigación se empleó el peso de catalizador constante.

De acuerdo al análisis de varianza, el F calculado dio como resultado 20.61, valor mayor al F tabulado 0.002 por lo tanto, se descarta la hipótesis nula que manifiesta que el empleo del Proceso Oxidativo Avanzado Fenton no remueve la turbiedad del efluente del camal municipal del Distrito de Cutervo. Del resultado de la Prueba de Comparación de Medias de Tukey para una confiabilidad del 95% mostró que existe diferencia significativa entre los tratamientos, siendo el mejor tratamiento el que procede de la relación  $\text{H}_2\text{O}/\text{Fe}^{+2}$  igual a 0.2.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

- La caracterización del efluente del camal municipal de Cutervo mostró valores elevados de color (3,700.0 UCV-Pt), Demanda Química de oxígeno (4,252.8 mgO<sub>2</sub>/L), Sólidos totales en suspensión (1,040.0 ppm), turbiedad (1,020.0 NTU).
- Con la aplicación del tratamiento de relación H<sub>2</sub>O/Fe<sup>+2</sup> 0.2, la turbiedad inicial del agua de camal fue de 1,020.0 NTU y la turbiedad después de la aplicación del Proceso Oxidativo Avanzado fue de 19.67 NTU.
- Con las aplicaciones del Proceso de Oxidación Avanzado, se logró conocer, que la mejor relación H<sub>2</sub>O/Fe<sup>+2</sup> fue 0.2 con una media de remoción equivalente a 98.07%, 94.93% para la relación 0.6 y 91.91% para la relación 1.
- Los Procesos de Oxidación Avanzada, son efectivos en aguas con elevada carga orgánica y elevada turbiedad.

### 6.2. Recomendaciones

- Se debe seguir realizando más experimentos que involucren al tiempo de reacción, para disminuir costos.
- Trabajar la remoción con otros parámetros como el color, sólidos totales en suspensión y DBO<sub>5</sub>.
- Se debe incluir el test de jarras, además de procesos subsecuentes como la filtración.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### BIBLIOGRAFÍA

- Andrades , J. A. (Abril de 2008). los vertidos de los mataderos e industrias cárnicas. Recuperado el 02 de Agosto de 2018, de Escuela de Organización Industrial EOI: <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/19962/los-vertidos-de-los-mataderos-e-industrias-cárnicas>
- Becerra Díaz, M. S., & Cadena Ibáñez, S. F. (2016). Evaluación de la aplicación del método Fenton a nivel Laboratorio en la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa aguas San Juan S.A.S ESP. Tesis, Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías Programa Ingeniería Química, Bogotá, Colombia.
- Becerra, L., Horna, M., & Barrionuevo, K. (Julio - Setiembre de 2014). Nivel de Contaminación en los efluentes provenientes de camales de la región La Libertad. Recuperado el 23 de Mayo de 2018, de Revista del Cuerpo Médico. Versión impresa ISSN: 2225-5109. Versión electrónica ISSN: 2227-4731 Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo, Volumen 7 (3): : [http://www.cmhnaaa.org.pe/pdf/v7-n3-2014/RCM-V7-N3-2014\\_full.pdf](http://www.cmhnaaa.org.pe/pdf/v7-n3-2014/RCM-V7-N3-2014_full.pdf).
- Clemente, J. P. (s.f.). Ampliación de procesos de oxidación avanzada (Fotocatálisis solar) para tratamiento y reutilización de efluentes textiles. . Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado el 2019, de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/peru-27/>
- Chaparro, T., Botta , C., & Pires, E. (2010). Toxicity and recalcitrant compound removal from bleaching pulp plant effluents by an integrated system: anaerobic packed-bed bioreactor and ozone.

- Chica, E., Peñuela, G. y Rubio, A. (2014) Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico. *Revista Ingeniería y Competitividad*, Volumen 16, No.2, pág. 213, 216. Medellín-Colombia.
- Domenech, X., Wilson, F., Jardim, W., & Litter, M. (2004). Procesos avanzados de oxidación para la eliminación de contaminantes. In: M.A. Blesa & B. Sánchez (editores), *Eliminación de contaminantes por fotocatalisis heterogénea*. Colección Documentos Ciemat, (Capítulo 1).
- García, J., Castellano, M., Uscátegui, Á., Fernández, J., Pedroza, A., & Daza, C. (2012). Remoción de colorantes sintéticos mediante el proceso Fenton heterogéneo usando  $Fe_2O_3$  soportado en carbón activado obtenido a partir de residuos de rosas.
- Gogate, P., & Pandit, A. (March de 2004). ScienceDirect. Obtenido de A review of imperative technologies for wastewatertreatment II: hybrid methods. *Advances in Environmental Research* : [http://dx.doi.org/10.1016/S1093-0191\(03\)00031-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1093-0191(03)00031-5)
- Glaze WH, Kang J-W. (1987). *The chemistry of water treatment precesses involving ozone, hydrogen peroxide and ultraviolet radiation*. Chapin DH.
- Herrera, J. C. (2014). Procesos fenton y foto-fenton para el tratamiento de aguas residuales de laboratorio microbiológico empleando  $Fe_2O_3$  soportado en nanotubos de carbono. Tesis pre-grado, Pontificia Universidad Javeriana, Bogota, D:C.
- Larios, J. (2008). *Calentamiento global al borde del límite*. (S. d. Transnacionales-INET, Ed.) Córdoba, España: Tipografía Católica.
- Munter, R. (2001) Advanced oxidation processes – current status and prospects. *Revista del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Técnica de Tallin Estonia*. Pág. 60 y 61. Tallin- Estonia.
- Neyens, E., y Baeyens, J. (2003). A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique. *Journal of Hazardous Materials* 98 (1-3), 33, 34, 50.
- Sanchis, S., Polo, A., Tobajas, M., Rodriguez, J., & Moh, A. (2013). Degradation of chlorophenoxy herbicides by coupled Fenton and biological oxidation. *Chemosphere*, 115-122.

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradecemos al Padre Celestial por permitirme llegar con vida y buena salud al lugar en el que me encuentro, a mis padres por el apoyo incondicional, a mi asesor de tesis Mg. Ing. Jorge Antonio Soto por su apoyo absoluto en el desarrollo del proyecto, así como a Guísela Milagros Marcelo Sosa, por su colaboración como asistente.

**Osli Tahiry**

## **Dedicatoria**

A mis padres **Oswaldo Arteaga y Liliana Cancino**, los verdaderos pilares de mi formación, a mis hermanos, amistades, quienes con su apoyo incondicional en los peores momentos y mucho más en los llenos de algarabía me impulsaron con sus sabios consejos a seguir luchando por los sueños y metas trazadas las cuales hoy en día las estoy alcanzando.

***Osli Tahiry***

## VIII. ANEXOS

### Anexo 1 Metodología utilizada para ensayos de aguas residuales en este proyecto



**ENSAYO DE AGUAS RESIDUALES OIKOSLAB N°1563-2019**

Fecha de recepción : 13-04-2019  
 Responsable del ensayo : Ing. Químico Jorge Antonio Delgado Soto  
 Institución : Universidad Nacional de Jaén  
 Solicitante : Bach. Osly Tahiry Arteaga Cansino  
 Título de la Investigación : Remoción de la turbiedad del efluente del Camal Municipal Del Distrito de Cutervo, empleando Procesos Oxidativos Avanzados Fenton Cutervo Cajamarca 2019

Muestra proporcionada por el Solicitante

I. - Datos de la muestra

Ubicación : Camal municipal de Cutervo  
 Tipo de muestra : Efluente líquido proveniente del camal  
 Distrito : Cutervo  
 Provincia : Cutervo  
 Región : Cajamarca

II. - Datos del ensayo

Tipo : Medición de la Turbiedad  
 Metodología empleada : Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 22nd Ed Turbidity. Título: Nephelometric Method.

III. - Ensayo de caracterización

Parámetros Físicoquímicos y Químicos	Unidades	Resultados	Protocolo
Color	UCV-Pt-Co	3,700.0	Método Estándar Platino-Cobalto espectrofotométrico, adaptado al National Council for Air and Stream Improvement (NCASI). Fotocolorimetría, utilizando el equipo DR-900 marca HASH. Norma: SMEWW Ed.20 (2120C) modificado
Conductividad Eléctrica a 25 °C	µS/cm	405.5	Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510 B, 22nd Ed. (Incluye Muestreo). Título Conductivity. Laboratory Method
Demanda Química de Oxígeno	ppm O <sub>2</sub>	4,252.80	Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method: Digestión
Potencial de Iones Hidrógeno	Unidades de pH	6.80	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H <sup>+</sup> B, 22nd Ed. (Incluye muestreo). Título: pH Value. Electrometric Method
Sólidos Totales en Suspensión	ppm STS	1,040.0	NTP 214.039-2015
Turbiedad	NTU	1,020.0	Medición con equipo Turbidímetro marca HANNA HI-98703, normado por la EPA, cumple y sobrepasa los requisitos de la USEPA 180.1, para aguas residuales y Método estándar 2130B, para agua potable. Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 22nd Ed Turbidity. Título: Nephelometric Method.
Temperatura	°C	29.3	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 B, 22nd Ed. (Incluye Muestreo)

  
 Jorge Al Delgado Soto  
 ING. RESPONSABLE  
 CIP. 56757



Pje. San Pedro N°113 - Marra Solar Alto - Jaén  
 Cel. 970911920

## Anexo 2 Resultados de análisis de turbiedad del afluente



**ENSAYO DE AGUAS RESIDUALES OIKOSLAB N°1564-2019**

Fecha de recepción : 13-04-2019  
 Responsable del ensayo : Ing. Químico Jorge Antonio Delgado Soto  
 Institución : Universidad Nacional de Jaén  
 Solicitante : Bach. Osly Tahiry Arteaga Cansino  
 Proyecto :  
 Muestra proporcionada por el Solicitante :  
 Título de la Investigación : Remoción de la turbiedad del efluente del Camal Municipal Del Distrito de Cutervo, empleando Procesos oxidativos Avanzados Fenton Cutervo Cajamarca 2019

**I.- Datos de la muestra**

Ubicación : Camal Municipal de Cutervo  
 Tipo de muestra : Efluente líquido proveniente del camal  
 Distrito : Cutervo  
 Provincia : Cutervo  
 Región : Cajamarca

**II.- Datos del ensayo**

Tipo : Medición de la Turbiedad  
 Metodología empleada : Norma: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2130 B, 22nd Ed  
 Turbidity. Título: Nephelometric Method

**III.- Resultados**

Repeticiones (R)	Tratamientos (T)			Blanco
	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	
R <sub>1</sub>	23.8	31.8	85.6	1,020.0
R <sub>2</sub>	20.9	64.5	71.2	
R <sub>3</sub>	14.3	58.8	90.7	

  
 Jorge A. Delgado Soto  
 ING. RESPONSABLE  
 CIP. 56757



Paje, San Pedro N°113 - Marra Solar Alto - Jaén  
 Cel. 970911920  
 jads14@hotmail.com

### Anexo 3 Panel Fotográfico



Fotografía N°1 Camal municipal del distrito de Cutervo.



Fotografía N°2 Identificación del punto de emanación del efluente del camal municipal.



Fotografía N°3 Recipientes para la obtención y traslado de la muestra del efluente del camal municipal



Fotografía N°4 Colocación de equipos de protección personal para la extracción de muestra



Fotografía N°5 Preparación de recipientes para el almacenamiento de la muestra.



Fotografía N° 6 Recolección de las muestras 01 del efluente del camal.



Fotografía N°7 Recolección de las muestras 01 del efluente del camal.



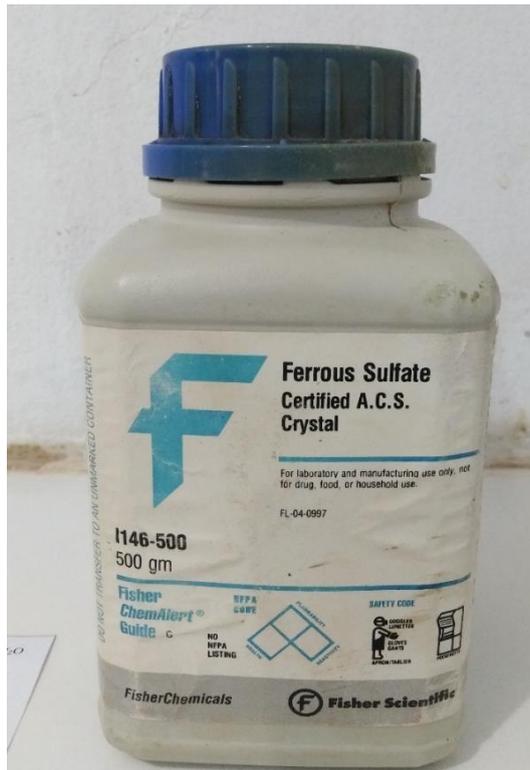
Fotografía N°8 Recolección de las muestras 02 del efluente del camal.



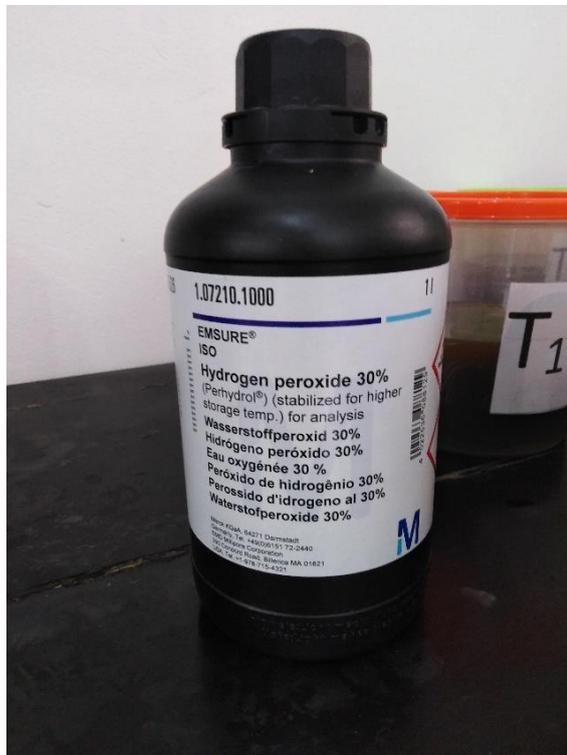
Fotografía N°9 Recolección de las muestras 02 del efluente del camal.



Fotografía N°10 Acondicionamiento de las muestras tomadas para su transporte a la ciudad de Jaén.



Fotografía N° 11 Sulfato ferroso utilizado para la dosificación Fenton en donde el  $\text{Fe}^{+2}$  es el catalizador.



Fotografía N° 12 Peróxido de Hidrogeno al 30% de concentración.



Fotografía N° 13 Ácido acético (orgánico) al 60.05% de pureza.



Fotografía N° 14 Rotulación y preparación de los recipientes que contendrán el afluente para su tratamiento.



Fotografía N° 15 Homogenización del afluente



Fotografía N° 16 Medición del efluente con la cantidad de 1L para cada tratamiento y sus repeticiones respectivas.



Fotografía N° 17 Caracterización del efluente, medición del pH.



Fotografía N° 18 Caracterización del efluente; medición de turbiedad.



Fotografía N° 19 Caracterización del efluente, medición de color.



Fotografía N° 20 Caracterización del efluente, solidos totales en suspensión.



Fotografía N° 21 Caracterización del efluente, DQO.



Fotografía N° 22 Calibración de la micro pipeta con la que se agregara el peróxido de hidrogeno.



Fotografía N° 23 Pesado del sulfato ferroso (0.5g para las 9 repeticiones).



Fotografía N° 24 Medición del ácido acético para acidificar el efluente (6 ml para las 9 repeticiones).



Fotografía N° 25 Tratamientos y muestras preparadas para la experimentación



Fotografía N°26 Agregamos el ácido acético para reducir el pH a un rango de 2-3 en las 9 repeticiones.



Fotografía N° 27 Agregación del peróxido de hidrogeno a las 9 repeticiones.



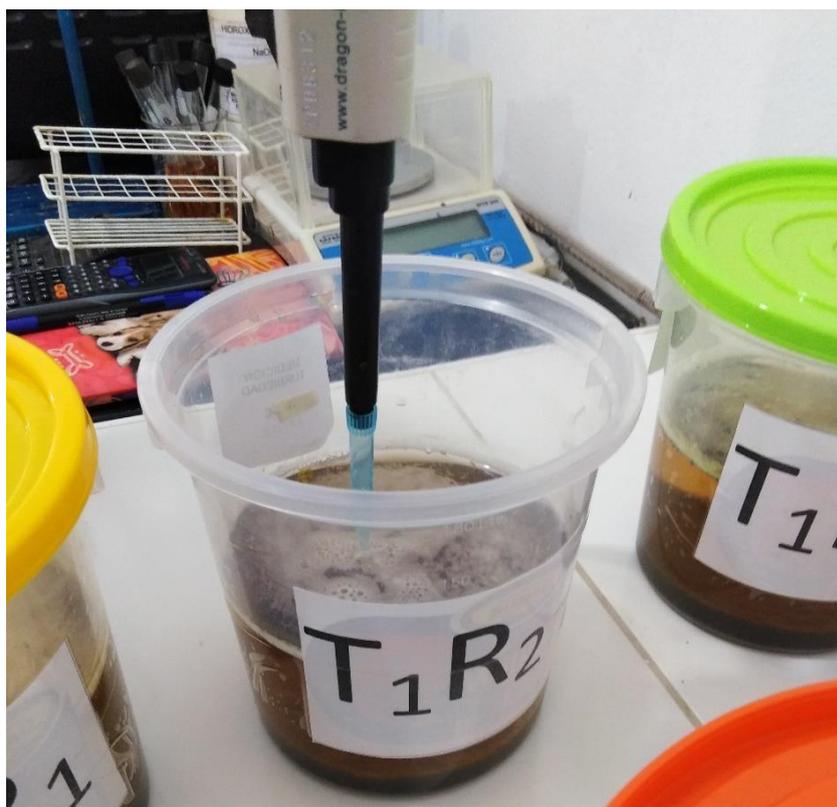
Fotografía N° 28 Agregación el sulfato ferroso a las 9 repeticiones



Fotografía N° 29 Agitación de la mezcla a 150 rpm por 45 minutos



Fotografía N° 30 Reposo de los tratamientos por un lapso de 30 minutos.



Fotografía N° 31 Extracción de la muestra de las 9 repeticiones utilizados para su análisis final.



Fotografía N° 32 Preparación de la muestra obtenida de las 9 repeticiones tratados para su análisis.



Fotografía N° 33 Análisis de turbiedad de afluente ya tratado.