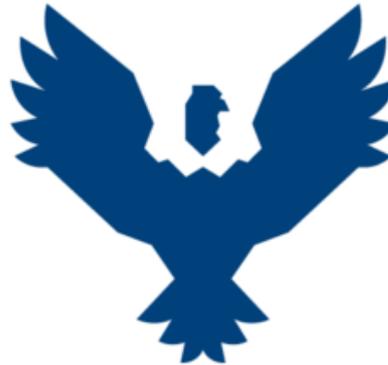




# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

---

“REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) APLICANDO EL  
PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE  
CALCA - CUSCO”

---

LINEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías Limpias y remediación

Presentado por:

Bach. Manuel Martin, Zuñiga Molina

Para optar al Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Asesor:

Dr. Ing. Felio Calderon La Torre

CUSCO – PERÚ

2023



### Metadatos

Datos del autor	
Nombres y apellidos	Manuel Martin Zuñiga Molina
Número de documento de identidad	72132873
URL de Orcid	<a href="https://orcid.org/0009-0000-4089-3104">https://orcid.org/0009-0000-4089-3104</a>
Datos del asesor	
Nombres y apellidos	Dr. Felio Calderon La Torre
Número de documento de identidad	25310696
URL de Orcid	<a href="https://orcid.org/0000-0001-9381-2902">https://orcid.org/0000-0001-9381-2902</a>
Datos del jurado	
Presidente del jurado (jurado 1)	
Nombres y apellidos	Mgt. KAREN MELISSA GARCES PORRAS
Número de documento de identidad	47025143
Jurado 2	
Nombres y apellidos	Mgt.STEPHANIE MILAGROS CASAS TORIBIO
Número de documento de identidad	71467409
Jurado 3	
Nombres y apellidos	Mgt. JUAN JOSÉ ZÚÑIGA NEGRÓN
Número de documento de identidad	23989604
Jurado 4	
Nombres y apellidos	Mgt.ANGELA FIORELLA SOTA CANO
Número de documento de identidad	44538035
Datos de la investigación	
Línea de investigación de la Escuela Profesional	Tecnologías Limpias y remediación



# Tesis Fenton

*por* Felio Calderon La Torre

Dr. Felio Calderon La Torre

---

**Fecha de entrega:** 29-may-2024 05:47a.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2390720867

**Nombre del archivo:** Manuel\_Zu\_iga\_Tesis\_Fenton\_TESIS\_VF.pdf (18.18M)

**Total de palabras:** 25745

**Total de caracteres:** 140940



# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

<sup>1</sup> FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

---

“REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) APLICANDO EL  
PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE  
CALCA - CUSCO”

---

<sup>1</sup> LINEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías Limpias y remediación

Presentado por:

Bach. Manuel Martin, Zuñiga Molina

Para optar al Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Asesor:

Dr. Ing. Felio Calderon La Torre

CUSCO – PERÚ

2023

Dr. Felio Calderon La Torre



INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	2%
2	servicio.bc.uc.edu.ve Fuente de Internet	1%
3	repositorio.upct.es Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1%
8	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1%

9 cdn.www.gob.pe

  
Dr. Felio Calderon La Torre



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Felio Calderon La Torre  
Título del ejercicio: Tesis Manuel Zuñiga  
Título de la entrega: Tesis Fenton  
Nombre del archivo: Manuel\_Zu\_iga\_Tesis\_Fenton\_TESIS\_VF.pdf  
Tamaño del archivo: 18.18M  
Total páginas: 173  
Total de palabras: 25,745  
Total de caracteres: 140,940  
Fecha de entrega: 29-may.-2024 05:47a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega... 2390720867

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



TESIS

“REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) APLICANDO EL PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA - CUSCO”

LINEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnologías Limpias y remediación

Presentado por:  
Bach. Manuel Martín, Zuñiga Molina

Para optar al Título Profesional de:  
Ingeniero Ambiental

Asesor:  
Dr. Ing. Felio Calderon La Torre

CUSCO - PERÚ  
2023



Dr. Felio Calderon La Torre



## AGRADECIMIENTOS

*En primer lugar, a Dios por haberme guiado a lo largo de mi vida y dado la firmeza para superar aquellos momentos de dificultad.*

*A mi familia por inculcarme valores y apoyarme incondicionalmente en cada proyecto.*

*A mi asesor Dr. Ing. Felio Calderon La torre por la orientación y ayuda que me brindo para la realización de esta tesis, por su amistad y apoyo que me permitió alcanzar mis objetivos.*

*A Mgt. Ing. Bruno García Leiva por su dedicación, paciencia y constancia. Usted fue parte fundamental de la presente investigación con sus aportaciones profesionales que lo caracterizan.*

*A Mgt. Ing. Uriel Fernández Bernaola por sus recomendaciones y sugerencias en el capítulo estadístico.*

*A Ing. Annie Miluska Lopez Aguilar por su colaboración en el acceso del laboratorio para realizar la parte experimental.*

*A Mgt. Lic. Jessica Elizabeth Chalco Suarez por su aporte en el capítulo estadístico.*

*A mi adorada Bach. Luhana, por su incondicional apoyo y motivación brindada, durante el largo proceso de la presente investigación.*

*A los docentes de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental que fueron parte de mi formación universitaria, por compartir los conocimientos necesarios para llevar a cabo la presente investigación.*

*En fin, estoy muy agradecido con todas las personas que de una u otra forma me aportaron.*

***Manuel Martin Zuñiga Molina.***



## DEDICATORIA

*A Dios, por ser el forjador de mi camino, cuidarme y acompañarme siempre.*

*A Frida, mi querida madre, por los valores inculcados así mismo por su gran amor y dedicación que me demostró siempre en mi vida y por ser mi mayor inspiración.*

*A Danilo, mi padre por su apoyo y contribución incondicional para seguir adelante con mis proyectos.*

*A mis hermanos Diego y Daniela, a quienes siempre los tengo presentes, que con su respaldo y cariño me impulsan para salir adelante, además de saber que mis logros también son los suyos.*

*A mi compañera de vida, Luhana, quien fue el ingrediente perfecto para poder lograr esta dichosa y muy merecida victoria, que se preocupó por mí en cada momento y que siempre quiso lo mejor para mí.*

*A toda mi familia, por el cariño y motivación que me dieron, quienes supieron respetar el tiempo que muchas veces deje de compartir con todos ellos.*

*En fin, para mí es una gran satisfacción poder dedicarles a todos ustedes, que con mucho esfuerzo, sacrificio e ímpetu lo logré.*

***Manuel Martin Zuñiga Molina.***



**JURADO DE TESIS:**

Aprobado por Resolución N° 1133-2024-DFIA-UAC; de fecha 08 de abril del 2024; según Modalidad de Titulación de Presentación, Sustentación y Aprobación de Tesis Profesional.

**DICTAMINANTES:**

MSc. Ing. Karen Melissa Garces Porras (presidente del Jurado)

Ing. Stephanie Milagros Casas Toribio

**REPLICANTES:**

MSc. Ing. Angela Fiorella Sota Cano (secretario de Actas)

MSc. Ing. Juan Jose Zuñiga Negrón

**ASESOR:**

Dr. Ing. Felio Calderon La Torre



## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1.    Planteamiento del Problema .....	1
1.2.    Formulación de Problemas .....	6
1.2.1.    Problema General .....	6
1.2.2.    Problemas Específicos.....	6
1.3.    Justificación .....	6
1.3.1.    Conveniencia .....	6
1.3.2.    Relevancia Social .....	7
1.3.3.    Implicancias Prácticas .....	7
1.3.4.    Valor Teórico .....	8
1.3.5.    Utilidad Metodológica.....	8
1.4.    Objetivos de Investigación .....	9
1.4.1.    Objetivo General .....	9
1.4.2.    Objetivos Específicos .....	9
1.5.    Delimitación del estudio .....	9
1.5.1.    Delimitación Espacial .....	9
1.5.2.    Delimitación Temporal .....	11
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>12</b>
2.1.    Antecedentes de la Investigación .....	12
2.1.1.    Antecedentes Internacionales .....	12
2.1.2.    Antecedentes Nacionales.....	15
2.1.3.    Antecedentes Locales .....	17
2.2.    Bases Teóricas .....	19
2.2.1.    Procesos de Oxidación Avanzada (POA).....	19
2.2.2.    Radical Hidroxilo ( $OH \bullet$ ).....	22
2.2.3.    Proceso Fenton .....	22
2.2.4.    Tipos de Proceso Fenton .....	25
2.2.5.    Condiciones Óptimas para el Proceso Fenton.....	27
2.2.6.    Camal o Matadero .....	29
2.2.7.    Faenado de Animales de Abasto .....	30
2.2.8.    Desechos Sólidos Orgánicos del Camal.....	32
2.2.9.    Dotación de Agua para Faenado .....	32



2.2.10.	Aguas Residuales del Camal .....	33
2.2.11.	Parámetros Orgánicos de Calidad de Agua.....	35
2.3.	Marco Conceptual.....	36
2.3.1.	Agua Residual .....	36
2.3.2.	Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) .....	36
2.3.3.	Turbiedad .....	37
2.3.4.	Aceites y Grasas .....	37
2.3.5.	Faenado .....	37
2.3.6.	Animales de Abasto .....	37
2.3.7.	Valores Máximos Admisibles (VMA) .....	37
2.4.	Hipótesis .....	37
2.4.1.	Hipótesis General .....	37
2.5.	Variables e Indicadores .....	38
2.5.1.	Identificación de Variables.....	38
2.5.2.	Operacionalización de Variables.....	38
<b>CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO .....</b>		<b>40</b>
3.1.	Alcance del Estudio .....	40
3.1.1.	Enfoque de la Investigación .....	40
3.1.2.	Alcance de la Investigación.....	40
3.2.	Diseño de la Investigación.....	41
3.3.	Población .....	41
3.4.	Muestra .....	41
3.5.	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	41
3.5.1.	Técnicas.....	41
3.5.2.	Instrumentos de Recolección de Datos .....	43
3.6.	Validez y Confiabilidad de los Instrumentos .....	48
3.7.	Plan de Análisis de Datos .....	53
3.7.1.	Porcentaje de Reducción. ....	55
3.7.2.	Software STATGRAPHICS.....	55
3.7.2.2.	Gráficos y Tablas. ....	55
3.8.	Procedimiento Experimental .....	56
3.8.1.	Delimitación de las Condiciones Experimentales.....	56
3.8.2.	Diseño Factorial 2 <sup>3</sup> .....	58



3.8.3.	Toma de Muestra del Efluente para la Caracterización Fisicoquímica...	60
3.8.4.	Medición de Parámetros en Campo .....	62
3.8.5.	Toma, Preservación y Almacenamiento de Muestra.....	63
3.8.6.	Transporte de Muestras a Laboratorio .....	63
3.8.7.	Proceso Fenton .....	63
3.8.8.	Optimización del Proceso Fenton .....	73
<b>CAPITULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>		<b>76</b>
4.1.	Resultados Respecto a los Objetivos Específicos.....	76
4.1.1.	Objetivo Específico 1 .....	76
4.1.2.	Objetivos Específicos 2 y 3.....	77
4.1.3.	Objetivo específico 4.....	84
4.2.	Resultados respecto al objetivo general.....	85
4.2.1.	Análisis de Varianza (ANOVA) .....	90
4.2.2.	Prueba de Rangos Múltiples.....	92
4.2.3.	Prueba de Hipótesis .....	97
<b>CAPITULO V: DISCUSIÓN.....</b>		<b>100</b>
5.1.	Descripción de los Hallazgos Más Relevantes y Significativos.....	100
5.1.1.	Hallazgo 1 .....	100
5.1.2.	Hallazgo 2 .....	100
5.1.3.	Hallazgo 3 .....	101
5.1.4.	Hallazgo 4 .....	101
5.1.5.	Hallazgo 5 .....	101
5.2.	Limitaciones del Estudio .....	101
5.3.	Comparación Crítica con la Literatura Existente .....	102
5.4.	Implicancias del Estudio.....	108
<b>C. CONCLUSIONES.....</b>		<b>109</b>
<b>D. RECOMENDACIONES.....</b>		<b>111</b>
<b>E. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>		<b>112</b>
<b>F. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS .....</b>		<b>119</b>
<b>G. VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS .....</b>		<b>125</b>
<b>H. ANEXOS.....</b>		<b>138</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1</i>	<i>Potencial de reducción estándar de oxidantes comunes.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 2</i>	<i>Características generales de las aguas residuales de camal.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 3</i>	<i>Operacionalización de variables.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 4</i>	<i>Métodos utilizados para los análisis de efluentes.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 5</i>	<i>Equipos para la medición de los parámetros en campo.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 6</i>	<i>Materiales para la medición de los parámetros en campo.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 7</i>	<i>Equipos de protección personal en campo.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 8</i>	<i>Formatos de campo.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 9</i>	<i>Equipos empleados en laboratorio.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 10</i>	<i>Materiales laboratorio.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 11</i>	<i>Reactivos de laboratorio.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 12</i>	<i>Equipos de protección personal en laboratorio.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 13</i>	<i>Formatos de laboratorio.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 14</i>	<i>Códigos y niveles utilizados en el plan de experimentación.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 15</i>	<i>Matriz de Experimentación para la Aplicación del Proceso Fenton.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 16</i>	<i>Cálculo de masa del sulfato ferroso heptahidratado (<math>FeSO_4 \cdot 7H_2O</math>) a <math>Fe^{2+}</math>.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 17</i>	<i>Cálculo del peróxido de hidrogeno (<math>H_2O_2</math>) al 30% p/p a mL.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 18</i>	<i>Experimentos de optimización para la reducción de la DQO.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 19</i>	<i>Características fisicoquímicas iniciales.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 20</i>	<i>Normativa nacional e internacionales para el vertido de aguas residuales de mataderos en distintas jurisdicciones.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 21</i>	<i>Optimización de los factores del proceso Fenton para la reducción de la DQO....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 22</i>	<i>Condiciones experimentales de optimización.....</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 23</i>	<i>Muestras después de la aplicación del proceso Fenton optimizado.....</i>	<i>83</i>
<i>Tabla 24</i>	<i>Características fisicoquímica después de la aplicación del proceso Fenton.....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 25</i>	<i>Corridas experimentales.....</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 26</i>	<i>Registro fotográfico después de la aplicación del proceso Fenton.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 27</i>	<i>Análisis de varianza para reducción de la DQO.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 28</i>	<i>Prueba de rangos múltiples para la reducción de la DQO por el pH.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 29</i>	<i>Prueba de rangos múltiples para la reducción de la DQO por el <math>Fe^{2+}</math>.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 30</i>	<i>Prueba de rangos múltiples para la reducción de la DQO por el <math>H_2O_2</math>.....</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 31</i>	<i>Prueba de normalidad para la DQO.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 32</i>	<i>Resumen estadístico para la reducción de la DQO.....</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 33</i>	<i>Prueba de rangos con signo de Wilcoxon.....</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 34</i>	<i>Comparación de la caracterización inicial fisicoquímica de las aguas residuales provenientes de mataderos.....</i>	<i>104</i>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1</i>	<i>Descarga de aguas residuales de camal municipal de Calca al río Vilcanota.</i>	3
<i>Figura 2</i>	<i>Sistema de drenaje de las instalaciones de camal municipal de Calca</i>	4
<i>Figura 3</i>	<i>Croquis del punto de descarga de las aguas residuales del camal de Calca</i>	5
<i>Figura 4</i>	<i>Ubicación política del camal municipal de Calca</i>	10
<i>Figura 5</i>	<i>Clasificación general de los procesos de oxidación avanzada</i>	20
<i>Figura 6</i>	<i>Clasificación de los procesos de oxidación avanzada</i>	21
<i>Figura 7</i>	<i>Mecanismo de reacción del proceso Fenton</i>	25
<i>Figura 8</i>	<i>Mecanismo de reacción del proceso Fenton heterogéneo</i>	26
<i>Figura 9</i>	<i>Diagrama de flujo del faenado vacuno del camal municipal de Calca</i>	31
<i>Figura 10</i>	<i>Desechos sólidos generados en el camal municipal de Calca</i>	32
<i>Figura 11</i>	<i>Aguas residuales provenientes del camal municipal de Calca</i>	34
<i>Figura 12</i>	<i>Diagrama de flujo</i>	54
<i>Figura 13</i>	<i>Representación del diseño factorial <math>2^3</math></i>	58
<i>Figura 14</i>	<i>Punto de muestreo. Coordenadas UTM (179623m E, 8525498m N) 19S.</i>	60
<i>Figura 15</i>	<i>Toma de muestra</i>	61
<i>Figura 16</i>	<i>Filtrado de muestra</i>	62
<i>Figura 17</i>	<i>Lectura con el multiparámetro</i>	62
<i>Figura 18</i>	<i>Toma de muestra para análisis de la DQO</i>	64
<i>Figura 19</i>	<i>Toma de muestra para análisis de aceites y grasas (A y G)</i>	65
<i>Figura 20</i>	<i>Toma de muestra para análisis de oxígeno disuelto</i>	65
<i>Figura 21</i>	<i>Toma de Muestra para Análisis de conductividad, turbidez y pH</i>	66
<i>Figura 22</i>	<i>Ajuste del pH de acuerdo con el plan experimental</i>	67
<i>Figura 23</i>	<i>Pesado del sulfato ferroso heptahidratado (<math>FeSO_4 \cdot 7H_2O</math>)</i>	68
<i>Figura 24</i>	<i>Homogenización del catalizador</i>	69
<i>Figura 25</i>	<i>Corrida en el equipo test de jarras</i>	70
<i>Figura 26</i>	<i>Neutralización de muestras</i>	71
<i>Figura 27</i>	<i>Sedimentación de muestras tratadas</i>	71
<i>Figura 28</i>	<i>Separación del sobrenadante</i>	72
<i>Figura 29</i>	<i>Almacenamiento y transporte de las muestras a laboratorio</i>	72
<i>Figura 30</i>	<i>Test de jarras de los experimentos de optimización</i>	74
<i>Figura 31</i>	<i>Diagrama de trabajo experimental en laboratorio</i>	75
<i>Figura 32</i>	<i>Superficie de respuesta estimada a pH = 4</i>	79
<i>Figura 33</i>	<i>Contornos de superficie de la respuesta estimada a pH = 4</i>	79
<i>Figura 34</i>	<i>Gráfico de superficie de respuesta estimada para pH=2</i>	80
<i>Figura 35</i>	<i>Gráfico de superficie de respuesta estimada para pH=6</i>	80
<i>Figura 36</i>	<i>Porcentajes de reducción de la DQO en el experimento optimizado</i>	82
<i>Figura 37</i>	<i>Porcentajes de reducción de la DQO</i>	86
<i>Figura 38</i>	<i>Diagrama de Pareto para la reducción de la DQO</i>	91
<i>Figura 39</i>	<i>Efectos principales para la reducción de la DQO</i>	92
<i>Figura 40</i>	<i>Medias para la reducción de DQO por el pH</i>	93
<i>Figura 41</i>	<i>Medias para la reducción de DQO por el <math>Fe^{2+}</math></i>	95
<i>Figura 42</i>	<i>Medias para la reducción de DQO por el <math>H_2O_2</math></i>	96



## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

**ANA:** Autoridad Nacional de Agua

**A y G:** Aceites y Grasas

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno

**DBO:** Demanda Biológica de Oxígeno

**ECA:** Estándar de Calidad Ambiental

**EPA:** Agencia de Protección Ambiental

**Fe<sup>2+</sup>:** Ion Ferroso

**H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:** Peróxido De Hidrógeno

**NTU:** Unidad Nefelométrica de Turbidez

**O.D:** Oxígeno Disuelto

**OH•:** Grupo hidroxilo

**O<sub>3</sub>:** Ozonización

**POA:** Procesos de Oxidación Avanzada

**RPM:** Revoluciones por Minuto

**SENASA:** Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria

**TDS:** Sólidos Totales Disueltos

**UV:** Radiación Ultravioleta

**US:** Energía Ultrasónica

**v:** Voltio

**VMA:** Valores Máximos Admisibles



## RESUMEN

Los mataderos o camales son industrias que producen efluentes con una composición alta de compuestos orgánicos e inorgánicos, los cuales deben ser removidos o reducidos antes de ser vertidos a los cuerpos hídricos receptores. La presente tesis tiene como objetivo evaluar la reducción de la Demanda Química Oxígeno (DQO) en las aguas residuales del camal municipal de Calca aplicando el proceso Fenton. Primeramente, se tomó una muestra compuesta de volumen fijo que fue caracterizada analíticamente y utilizada para las pruebas experimentales en laboratorio, seguidamente, se aplicó el proceso Fenton en modo discontinuo por lotes, para tratar las aguas residuales, para ello, se utilizó un diseño factorial de dos niveles y tres variables ( $2^3$ ). Las variables independientes fueron: dosis del catalizador hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ), dosis del oxidante peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) y los diferentes niveles de pH; mientras que la variable respuesta se tomó como el porcentaje de reducción de Demanda Química de Oxígeno (DQO), se efectuaron y analizaron un total de 11 experimentos utilizando una prueba de jarras, para posteriormente determinar los valores óptimos del proceso Fenton. Los resultados alcanzados en la investigación, con respecto a la caracterización inicial fueron: DQO = 7402.79 mg/L., pH = 7.40, conductividad = 1036  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , turbiedad=7.55 NTU, aceites y grasas=116 mg/L. y Oxígeno Disuelto = 3.37 mg/L., así mismo, las concentraciones óptimas fueron:  $\text{Fe}^{2+}$  = 1234 mg/L.,  $\text{H}_2\text{O}_2$  = 709.65 mg/L. y un nivel de pH = 4.5. Con respecto a la DQO se obtuvo una reducción del 97.36%. Del presente estudio se puede concluir que el proceso Fenton constituye un método de oxidación eficaz para el tratamiento de las aguas residuales del camal municipal de Calca y en general, una tecnología viable para el tratamiento de aguas residuales de camales con alta carga orgánica (con valores cercanos a 7400 mg/L. de DQO).

**Palabras Clave:** *Proceso Fenton, reducción de DQO, agua residual de camal, Procesos Oxidativos Avanzados (POA).*



## ABSTRACT

Slaughterhouses are industries that produce effluents with a high composition of organic and inorganic compounds, which must be removed or reduced before being discharged into receiving water bodies. The objective of this thesis is to evaluate the reduction of Chemical Oxygen Demand (COD) in the wastewater of the Calca municipal slaughterhouse by applying the Fenton process. First, a composite sample of fixed volume was analytically characterized and used for the experimental tests in the laboratory, then the Fenton process was applied in batch mode to treat the wastewater using a factorial design with two levels and three variables ( $2^3$ ). The independent variables were: iron ( $\text{Fe}^{2+}$ ) catalyst dosage, hydrogen peroxide ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) oxidant dosage, and the different pH levels; while the response variable was taken as the percentage of Chemical Oxygen Demand (COD) reduction. A total of 11 experiments were carried out and analyzed using a jar test, to subsequently determine the optimum values of the Fenton process. The investigation results, with respect to the initial characterization were COD = 7402.79 mg/L., pH = 7.40, conductivity = 1036  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , turbidity = 7.55 NTU, Oils and Fats = 116 mg/L. and Dissolved Oxygen = 3.37 mg/L., the optimum concentrations were:  $\text{Fe}^{2+}$  = 1234 mg/L.,  $\text{H}_2\text{O}_2$  = 709.65 mg/L., and a pH level = 4.5. With respect to COD, a reduction of 97.36% was obtained. From the present study it can be concluded that the Fenton process constitutes an effective oxidation method for the treatment of wastewater from the Calca Municipal Slaughterhouse and in general, a viable technology for the treatment of wastewater from Slaughterhouse with high organic load (with values close to 7400 mg/L. of COD).

**Keywords:** *Fenton process, COD reduction, slaughterhouse wastewater, Advance Oxidation Process (AOP).*



## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del Problema

A nivel mundial la contaminación de las aguas sigue creciendo, el 80% de las aguas residuales retornan o se descargan al ecosistema sin ser reutilizadas o tratadas, propiciando la contaminación de diversos recursos hídricos.(UNESCO, 2017)

Para el 2024, el Perú generará aproximadamente 4 842 579 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales que se descargarán directamente a la red de alcantarillado, el volumen de estas aguas se irá incrementando principalmente por, el crecimiento demográfico acelerado y el aumento de la actividad industrial.(OEFA, 2014)

En el año 2015 la Autoridad Nacional del Agua (ANA) identificó 41 cuencas hidrográficas que sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, la causa principal son las descargas de aguas residuales domésticas y municipales, las cuales alteran la calidad de los recursos hídricos impidiendo su uso en la agricultura, ganadería, entre otros.(ANA, 2015)

Asu vez, las aguas residuales de mataderos e industrias cárnicas han sido clasificadas por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) como perjudiciales para el ambiente, porque el vertimiento sin tratamiento de estas aguas produce la desoxigenación de los ríos y la contaminación de las aguas subterráneas.(EPA, 2004)

Entre las diferentes actividades industriales, los mataderos más conocidos como camales, son considerados una de las actividades económicas con alto potencial contaminante y se caracterizan porque demandan una gran cantidad de agua debido a sus diferentes operaciones, así como también la limpieza de la infraestructura; durante el faenado se generan efluentes con diferentes tipos de contaminantes orgánicos como: pelos, grasas, proteínas, sangre, estiércol, restos de carne y vísceras; teniendo como resultados aguas residuales con una elevada carga orgánica generando diversos impactos ambientales, ya que en su mayoría son



vertidos sin ningún tipo de tratamiento a los cuerpos receptores. Los efluentes de matadero pueden ser difíciles de tratar especialmente por el contenido de grasa.(Azabache et al., 2020; Capó Martí, 2007)

Además, la mayoría de los camales en el Perú no cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales, considerando que estos deben tener implementado un sistema de tratamiento que cubra todo el volumen de sus efluentes, para así reducir el impacto negativo al ambiente y por ende en la salud pública.(SENASA, 2014)

El camal municipal de Calca depende de la administración directa de la Municipalidad Provincial de Calca. Según la información recopilada en campo el camal tiene categoría I, se sacrifican animales vacunos y porcinos para el consumo de la población, cuenta con un aforo de 20 animales por día. Según la administración del camal los días de faenado son: lunes, miércoles, jueves y viernes; teniendo mayor afluencia los días lunes y viernes.

La limpieza de las instalaciones del camal se lleva a cabo los días martes de cada semana por lo que no operan dicho día y no realizan la descarga de efluentes con materia orgánica producto del faenado de animales, pero sí aguas residuales con restos de detergente.

Los animales antes de ser sacrificados son dispuestos un día antes como exige el “Reglamento del faenado de animales de abasto” impuesto por (SENASA, 2014), para posteriormente ser bañados y retirarles del cuerpo el polvo y otros.

Respecto a la gestión de sus residuos (vísceras, sangre, entre otros), son gestionados por la municipalidad provincial de Calca irregularmente y con poca eficiencia.

Una vez sacrificados, las aguas residuales con alta carga orgánica son descargadas a la red matriz colectora de alcantarillado de la zona para posteriormente ser desembocadas al río Vilcanota como se observa en la Figura 1, estas descargas tienen como efecto la presencia de avifauna silvestre de la zona para consumir los residuos orgánicos, así mismo la aparición de vectores, foco de infecciones, malos olores y un impacto visual desfavorable.

En consecuencia, las aguas residuales de matadero generan un proceso de deterioro de la calidad del recurso hídrico, con impactos económicos, sanitarios y ecológicos.(Azabache et al., 2020).

### **Figura 1**

*Descarga de aguas residuales de Camal municipal de Calca al río Vilcanota. Coordenadas UTM (179371.43 m. Este, 8524935.36 m. Norte); Zona: 19 Sur*



Una de las deficiencias en las operaciones que afronta el camal municipal de Calca es que no presta la debida atención a la generación de sus efluentes y el problema se agudiza debido a que cuenta con un sistema de drenaje deficiente, con rejillas obsoletas que permiten el paso de residuos sólidos al sistema de desagüe como se puede observar en la Figura 2.

**Figura 2**

*Sistema de drenaje de las instalaciones de camal municipal de Calca*



La descarga de las aguas residuales del camal municipal de Calca se ubica en la margen derecha del río Vilcanota como se observa en la Figura 3. A la fecha se ha podido verificar que no hay ningún tipo de control en la descarga de aguas residuales, lo que supone que los niveles de contaminación son preocupantes por lo cual se plantea la aplicación del proceso Fenton con la finalidad de oxidar los compuestos orgánicos, medidos indirectamente a través de la reducción de la DQO.



Figura 3

Croquis del punto de descarga de las aguas residuales de camal municipal de Calca





## 1.2. Formulación de Problemas

### 1.2.1. Problema General

¿En qué medida se reduce la Demanda Química Oxígeno (DQO) en las aguas residuales del camal municipal de Calca aplicando el proceso Fenton?

### 1.2.2. Problemas Específicos

a) ¿Cuáles son las características fisicoquímicas de las aguas residuales del camal municipal de Calca previas a la aplicación del proceso Fenton?

b) ¿Cuáles son las dosis óptimas del ion ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) como agente catalizador, peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) como agente oxidante y el nivel de pH óptimo en el proceso Fenton para la reducción de la DQO en las aguas residuales del camal municipal de Calca?

c) ¿En qué medida se mejoran las características fisicoquímicas de las aguas residuales del camal municipal de Calca después de aplicar el proceso Fenton?

## 1.3. Justificación

La contaminación de los recursos hídricos en la provincia de Calca viene siendo un problema que aqueja desde hace mucho tiempo a toda la población, sin tener alguna intervención por partes de las autoridades ya que todas las aguas residuales vienen siendo descargadas directamente a los cuerpos receptores sin ningún tipo de tratamiento (Contraloría, 2018), esto motivó a realizar este estudio para contribuir a posibles soluciones de tratamiento de las aguas residuales específicamente las que genera el camal municipal de Calca. A continuación, se detalla la importancia que justifican la realización de la investigación:

### 1.3.1. Conveniencia

La finalidad del Camal de Municipal de Calca es producir carne garantizando la inocuidad del producto, el servicio de sacrificio que ofrece la Municipalidad Provincial de Calca no cumple con lo dispuesto en la Guía de Buenas Prácticas de Faenado (SENASA, 2014)



de animales de abasto respecto al tratamiento de aguas residuales, lo que supone un problema ambiental.

Es por ello, que la presente investigación se plantea como alternativa para proteger la calidad de las aguas receptoras de estas aguas residuales mediante la aplicación del proceso Fenton, para aminorar el impacto ambiental. Por lo que la presente investigación conviene a la Municipalidad Provincial de Calca ya que dicha institución es responsable del tratamiento de los efluentes del camal, a su vez, también a la población quienes utilizan las aguas del río Vilcanota para el regadío de sus cultivos y finalmente a la Universidad Andina del Cusco en el enriquecimiento de su repositorio de investigaciones.

### ***1.3.2. Relevancia Social***

La aplicación del proceso Fenton se presenta como una alternativa en el tratamiento de las aguas residuales del camal municipal de Calca, en ese sentido, al tratar las aguas residuales se tendrían impactos favorables en la calidad de vida de la población que habita en la cercanía del río y a lo largo de su recorrido como: la mitigación de focos de contaminación y olor en el punto de descarga que disminuirían la propagación de enfermedades y aumentarían la disponibilidad hídrica para diferentes actividades de la población (riego de cultivo, bebida de animales entre otros). Además de prevenir conflictos sociales entre la municipalidad y la población.

### ***1.3.3. Implicancias Prácticas***

El proceso Fenton presenta una alta efectividad en el tratamiento de aguas residuales con compuestos recalcitrantes como: Aromáticos, colorantes, hidrocarburos, fármacos, etc. (Ameta, 2018). Así mismo, presenta remociones altas de carga orgánica expresado en la reducción de la DQO, el cual podría sostenerse en un tratamiento viable y factible para efluentes de mataderos o camales.



La aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de las aguas residuales del camal municipal de Calca promete resultados significativos, ya que el proceso Fenton es no selectivo, fuertemente oxidante, se lleva a cabo a temperatura ambiente y es de fácil aplicación, sin embargo, la efectividad de la reacción para formar radicales hidroxilos depende de las dosis de los químicos y control de parámetros del proceso.

#### ***1.3.4. Valor Teórico***

En la presente investigación, los resultados de la caracterización de las aguas residuales de camal municipal de Calca indicaron concentraciones orgánicas altas, la operación de descarga de aguas residuales del camal generan una contaminación ambiental, es por ello, que se investiga tratamientos para este tipo de efluente como el proceso Fenton.

En ese sentido, la aplicación del proceso Fenton en las aguas residuales del camal demostró su eficiencia y capacidad oxidativa frente a contaminantes orgánicos buscando la mineralización parcial o total mediante la aplicación de reactivos, a su vez, mediante la disminución de la DQO se evaluó y optimizó el proceso Fenton, a partir de los resultados de los experimentos, podrán ser usados como alternativa de tratamiento de las aguas residuales y servir como antecedente a futuras investigaciones de la comunidad científica, enriqueciendo el valor teórico en la aplicación de este proceso en efluentes de mataderos o camales.

#### ***1.3.5. Utilidad Metodológica***

El tratamiento biológico es el más común en los procesos de tratamiento de aguas residuales para degradar la materia orgánica, pero estas son eficientes hasta cierto punto, puesto que, el alto contenido de aceites y grasas son un limitante para tratarlos con eficiencia y prontitud. (Capó Martí, 2007)

Teniendo en cuenta el estado actual de la contaminación que se constató in situ y por medio de los resultados de la caracterización del efluente, permite investigar otros tipos de tratamiento que sean más efectivos, rápidos y prácticos para degradar la materia orgánica del



efluente del camal municipal de Calca, es así, que por medio de la metodología en campo que se basó en la toma de muestra compuesta de volumen fijo y la metodología desarrollada en laboratorio mediante la ejecución de experimentos basados en un diseño factorial  $2^3$ , se trató el efluente mediante el proceso Fenton, así mismo, se estableció un línea base par ser usada en otros trabajos de investigación que pueden ser replicados mejorando la metodología.

#### **1.4. Objetivos de Investigación**

##### ***1.4.1. Objetivo General***

Evaluar la reducción de la Demanda Química Oxígeno (DQO) en las aguas residuales del camal municipal de Calca aplicando el proceso Fenton.

##### ***1.4.2. Objetivos Específicos***

- a) Analizar las características fisicoquímicas de las aguas residuales del camal municipal de Calca previo a la aplicación del proceso Fenton.
- b) Determinar las dosis óptimas del ion ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ) como agente catalizador, peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) como agente oxidante y el nivel de pH óptimo para la reducción de la DQO en las aguas residuales del camal municipal de Calca.
- c) Analizar la mejora de las características fisicoquímicas de las aguas residuales del camal municipal de Calca después de aplicar el proceso Fenton.

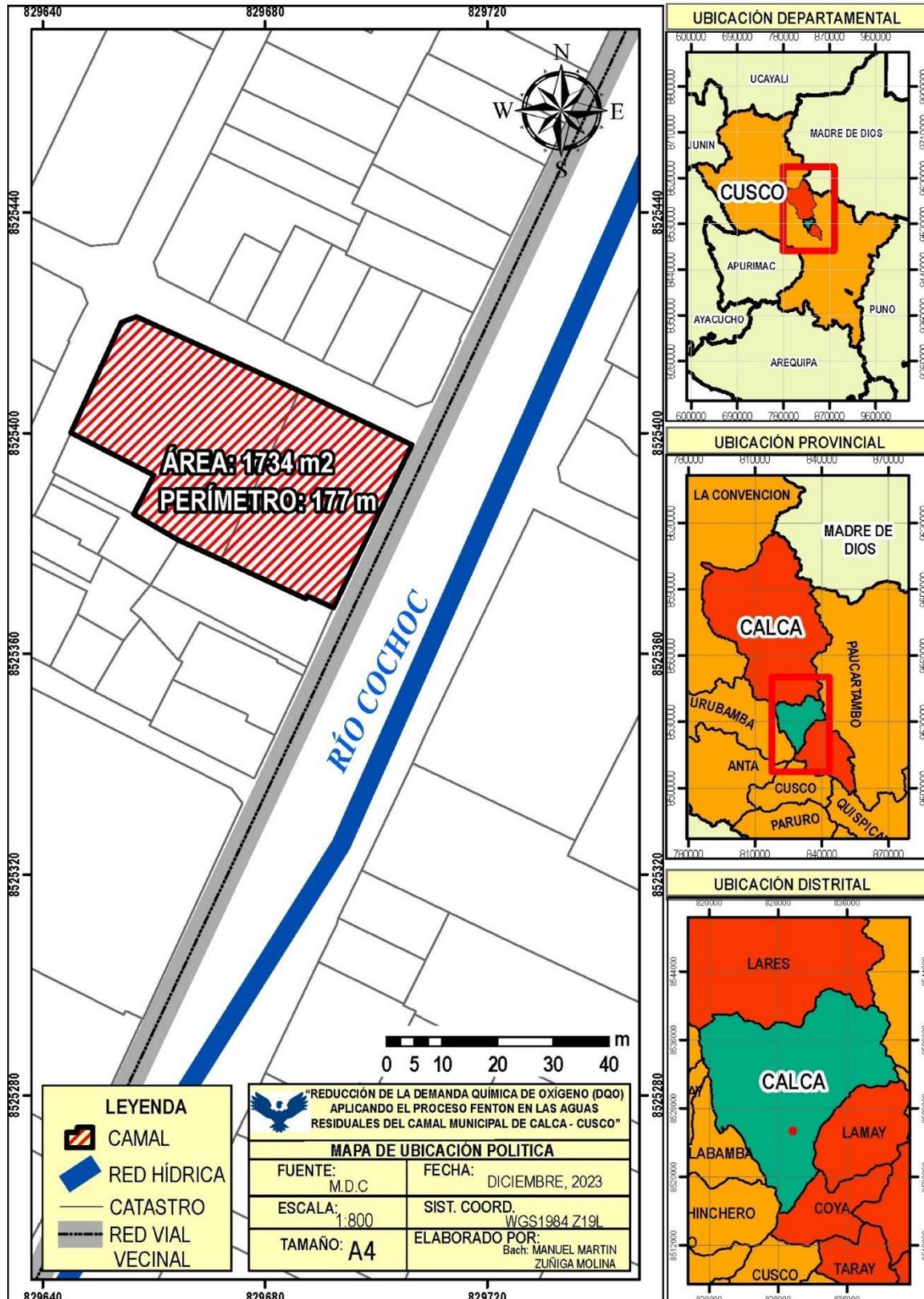
#### **1.5. Delimitación del estudio**

##### ***1.5.1. Delimitación Espacial***

Las muestras de aguas residuales se recolectaron en el camal municipal de la provincia de Calca, departamento Cusco (ver Figura 4). A su vez, la experimentación se llevó a cabo en las instalaciones del laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental (EPIA) de la Universidad Andina del Cusco, sede Cusco.

Figura 4

Ubicación política del camal municipal de Calca. Coordenadas UTM (179371.43 m. Este, 8524935.36 m. Norte); Zona: 19 Sur





### *1.5.2. Delimitación Temporal*

La unidad temporal de la presente investigación tiene inicio entre el mes de junio del 2022 al mes de octubre del 2023.



## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes de la Investigación

#### 2.1.1. Antecedentes Internacionales

##### Antecedente N°1:

(Zárate Guzmán et al., 2021) en su investigación intitulada: “SCALE-UP FENTON PROCESS: STUDY AND OPTIMIZATION IN PIGGERY WASTEWATER TREATMENT” (“ESCALADO DEL PROCESO FENTON: ESTUDIO Y OPTIMIZACIÓN EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CRIADEROS DE PUERCOS”), llevada a cabo en una comunidad de Loma de Zempoala, Guanajuato, México; tuvo como objetivo aplicar el proceso Fenton para tratar contaminantes presentes en aguas residuales. Se realizaron dos tipos de tratamiento: Fenton y Fenton asistido con luz Solar, para el desarrollo de la investigación primeramente se caracterizó las aguas residuales en la salida de un reactor ya que estas aguas son previamente tratadas por sedimentación, se utilizó el plan experimental Taguchi, para el proceso Fenton, los experimentos se llevaron a cabo a temperatura ambiente (25°C) utilizando un reactor de mezcla por lotes de 500 ml con una velocidad de agitación fijada en 180 RPM; para el proceso Foto-Fenton se llevó a cabo con la exposición del reactor a la radiación solar directa operando a 180 RPM; para luego llevarlo a un reactor continuo. Los resultados respecto a las condiciones óptimas fueron: pH = 3, tiempo de reacción = 60 min, relaciones molares  $H_2O_2:DQO = 1:5$  y  $H_2O_2:Fe^{2+} = 2:5$ , teniendo una disminución de DQO = 95%; COT = 53% y color = 99%, además concluyó que proceso Fenton asistido con luz solar es más rápido que el método Fenton debido a que la luz incidente tiene un efecto catalítico junto con el  $Fe^{+2}$ .



**Antecedente N°2:**

(Páramo Vargas, 2015) en su tesis titulada: “TRATAMIENTO DEL EFLUENTE DE UN RASTRO MUNICIPAL MEDIANTE PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA TIPO FENTON”, llevada a cabo en México, tuvo como objetivo obtener un modelo estadístico de la aplicación del proceso Fenton y foto – Fenton en los afluentes de un rastro municipal, se tomaron muestras compuestas del efluente del Rastro Frigorífico y Servicios Integrales del Bajío S.A., evidenciando valores de DQO = 1159 mg/L., DBO = 205 mg/L., pH = 7.8 y conductividad = 6 mS/cm., se estudió el efecto de los principales parámetros como la concentración inicial de peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), concentración inicial de ion ferroso ( $Fe^{2+}$ ), los resultados mostraron altos niveles de reducción de la DQO con valores de: 91.8% y 91.5% para los procesos Fenton y foto-Fenton, respectivamente; ambas a concentraciones de  $Fe^{2+} = 55.8$  mg/L.,  $H_2O_2 = 200$  mg/L. y radiación solar en el caso del proceso foto – Fenton, la reducción se dio a través de dos mecanismos: La oxidación química y la coagulación, indicando que este último fue la más preponderante.

**Antecedente N°3:**

(Besharati Fard et al., 2020) llevó a cabo la siguiente investigación: “REMOVAL OF TCOD AND PHOSPHATE FROM SLAUGHTERHOUSE WASTEWATER USING FENTON AS A POST-TREATMENT OF AN UASB REACTOR” (“ELIMINACIÓN DE DQO TOTAL Y FOSFATO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE MATADERO MEDIANTE FENTON COMO POSTRATAMIENTO DE UN REACTOR UASB”), el objetivo de los autores fue determinar la eficacia del reactor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos (UASB), las condiciones del proceso y la aplicabilidad del proceso Fenton como postratamiento del tratamiento anaeróbico, que podría reducir el consumo de tiempo. Se tomaron muestras procedentes de un matadero de Guilan (Irán) cuyos valores iniciales de DQO



fueron 3360 mg/L. Se aplicó el método Taguchi para investigar el efecto de los parámetros y los experimentos. Se evaluaron las eficiencias de eliminación de la DQO total y fosfato teniendo en cuenta el efecto de parámetros como el pH, el peróxido de hidrógeno y la dosis de  $\text{Fe}^{2+}$ . Los resultados para el proceso Fenton en condiciones óptimas fueron:  $\text{pH} = 3$ ;  $\text{H}_2\text{O}_2 = 1000 \text{ mg/L}$ . y  $\text{Fe}^{2+} = 400 \text{ mg/L}$ ., con eficiencias de reducción de la DQO total de 85.41% y fosfatos del 85.29%, respectivamente. El método combinado eliminó la DQO total y fosfato hasta un 98.6% y un 90.50%, correspondientemente.

#### **Antecedente N°4:**

(Sharma et al., 2017) en su artículo científico titulado: "EFFECT OF FENTON PROCESS ON TREATMENT OF SIMULATED TEXTILE WASTEWATER: OPTIMIZATION USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY" ("EFECTO DEL PROCESO FENTON EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TEXTILES SIMULADAS: OPTIMIZACIÓN MEDIANTE LA METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA"), llevada a cabo en Instituto Nacional de Tecnología Sardar Vallabhbhai, Surat, Gujarat, India; tuvo como objetivo analizar la influencia de las variables: pH, el hierro y la concentración de peróxido de hidrógeno en la aplicación del tratamiento de oxidación de Fenton a aguas residuales textiles simuladas. Utilizaron un diseño factorial  $2^3$  para percibir la influencia de 3 parámetros: concentración de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , concentración de  $\text{Fe}^{2+}$  y pH. Realizaron experimentos preliminares para conocer el rango en el que se producía la máxima eliminación de color y DQO. El rango obtenido para la concentración de  $\text{Fe}^{2+}$  fue de 450-750 mg/L., el rango de peróxido de hidrógeno fue de 4400-8800 mg/L., el pH se varió de 2.5 a 3.5; Los resultados nos muestran que la dosis de hierro fue el factor más significativo, tanto para la DQO como para la eliminación de color. Las condiciones óptimas fueron:  $\text{Fe}^{2+} = 550 \text{ mg/L}$ .,  $\text{H}_2\text{O}_2 = 5538 \text{ mg/L}$ . y  $\text{pH} = 3.3$ , con eficiencias de eliminación de DQO y color de 73.86% y 81.35% respectivamente. Concluyó que es adecuado utilizar el tratamiento Fenton para aguas



residuales textiles simuladas, siendo un método recomendable como pretratamiento de aguas residuales textiles en las que no es posible la oxidación biológica debido a la presencia de moléculas orgánicas recalcitrantes de colorantes.

### ***2.1.2. Antecedentes Nacionales***

#### **Antecedente N°1:**

(Medina et al., 2018) mediante su investigación cuyo título es: “APLICACIÓN DEL PROCESO FENTON PARA DEGRADAR AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL DE CHOTA”, desarrollada en el camal de la provincia de Chota en el departamento de Cajamarca, tuvo como objetivo optimizar el proceso Fenton evaluando la influencia del sulfato ferroso, peróxido de hidrogeno y pH para degradar las aguas residuales del camal de Chota. Primero se caracterizó el agua residual, los parámetros evaluados fueron: la DBO<sub>5</sub>, DQO, alcalinidad, dureza, pH, conductividad, sólidos totales, turbidez, temperatura, potencial oxido-reducción, oxígeno disuelto y análisis microbiológicos para la presencia de Salmonella y E. Coli; seguidamente se determinó el tipo de agua mediante el indicador de biodegradabilidad (DBO/DQO), empleó un diseño de experimentos Box-Behnken con 3 repeticiones en el punto central y con dos replicas teniendo un total de 45 experimentos, estos fueron llevados a cabo mediante un sistema de jarras con agitación a 30 RPM a T° ambiente, se optimizó mediante la metodología superficie de respuesta con el Software Statgraphics 5.1 plus, teniendo como variable respuesta la DQO. Los resultados indicaron un tiempo óptimo de reacción de 18 minutos y la concentración óptima de FeSO<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y pH fueron de 2110.55 mg/L., 1092.67 mg/L. y 3.22 respectivamente. Así mismo, observaron una mejora del indicador de biodegradabilidad a un valor de 0.5 y una reducción de la DQO alrededor del 80%. El autor afirma que el proceso Fenton resulta ser una alternativa eficaz para el tratamiento de aguas residuales de camales y puede ser aplicado como pretratamiento a nivel industrial.



### **Antecedente N°2:**

(Menéndez Escarcena, 2018) en su tesis titulada “REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN LACTOSUERO MEDIANTE EL PROCESO FENTON”, llevada a cabo el distrito de Huata, provincia Puno en el departamento de Puno. Tuvo como objetivo determinar la reducción de la DQO en aguas residuales de lactosueros, el estudio contempla la determinación de las características del lactosuero con parámetros como: DQO, pH, SST, SV, STD y conductividad eléctrica; se utilizó un diseño experimental Box-Behnken, la variable repuesta fue la reducción de la DQO, se tuvo un plan experimental de 12 ensayos con 3 repeticiones en el punto central con 1 replica haciendo un total de 30 de experimentos, los rango de los valores utilizados en el diseño experimental fueron:  $H_2O_2 = 25 \text{ mg.} - 35 \text{ mg.}$ ,  $Fe^{2+} = 3 \text{ mg.} - 4 \text{ mg.}$  y tiempo = 20 min – 60 min; los valores de pH estuvieron en un rango de 2.8 – 3, el proceso se llevó a cabo a temperatura ambiente ( $15^\circ C$ ). Los resultados indicaron que la reducción de la DQO en las aguas residuales de lactosuero fue de un 78.93% para una carga inicial de 50.64 g/L., seguidamente los valores óptimos de proceso Fenton fueron:  $H_2O_2 = 30.84 \text{ mg}$ ,  $Fe^{2+} = 3.65 \text{ mg}$  y tiempo de reacción = 43.84 min. Los resultados para lo demás parámetros fueron: ST = 73.20%, SV = 84.40%, STD = 63.45% y 63.35% para la conductividad eléctrica.

### **Antecedente N°3:**

(Delgado Soto, 2019) en su tesis titulada: “EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE TRES PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DEL EFLUENTE LÍQUIDO DEL CAMAL RÉGULO BERNAL TORRES UTILIZANDO PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADO FENTON”, determinó la eficiencia de remoción 3 parámetros fisicoquímicos: Turbidez, DQO y color, aplicando el proceso Fenton, primeramente, caracterizó los parámetros fisicoquímicos del efluente con valores de DQO = 9813 mg/L., color = 51 400 UCV-Pt-Co, turbidez = 400.70 NTU., conductividad = 1067  $\mu S/cm.$  y pH = 6.7, se realizaron tres tratamientos fijando el



sulfato ferroso heptahidratado (1g de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) y variando el volumen de peróxido de hidrógeno en 12.50 mL., 25.01 mL., y 37.52 mL.; se evaluó los 3 parámetros en lapsos de tiempo de 30, 60, 90 y 120 minutos, respectivamente. Las conclusiones indican que el mejor porcentaje de remoción del color fue 92.08% con la dosis de  $\text{H}_2\text{O}_2 = 37.52$  mL., así mismo, el mejor tiempo de remoción del color fue a los 120 minutos alcanzado un 90.57%, a su vez, el mejor porcentaje de reducción para la DQO fue de 32.24%, con la dosis de  $\text{H}_2\text{O}_2 = 25.01$  mL. y el mejor tiempo de remoción fue a los 30 minutos con una reducción del 54.80%, en el caso de la turbiedad la mejor remoción fue de 56.37% con la dosis de  $\text{H}_2\text{O}_2 = 12.50$  mL. y el mejor tiempo de remoción fue de 50.54% a 120 minutos; fijado el pH para todos los experimentos en 2.8 respectivamente.

#### **Antecedente N°4:**

(Arteaga Cancino, 2020) en su tesis titulada: “REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD DEL EFLUENTE DEL CAMAL MUNICIPAL EMPLEANDO PROCESO OXIDATIVO AVANZADO FENTON EN EL DISTRITO DE CUTERVO - CAJAMARCA”, tuvo como objetivo determinar la dosificación óptima para la remoción de la turbiedad. Se determinó las características fisicoquímicas del efluente de matadero con valores de turbidez = 1020 NTU, conductividad = 405  $\mu\text{S}/\text{cm.}$ , DQO = 4252.8 mg/L. y pH = 6.8, se efectuaron diferentes experimentos empleando tres relaciones molares del reactivo de Fenton  $\text{H}_2\text{O}_2$ :  $\text{Fe}^{2+} = 0:2$ ,  $0:6$  y  $1:0$ , respectivamente. Los resultados obtenidos en la investigación demuestran una eficiencia de remoción de la turbiedad, del 98.7% para la relación  $\text{H}_2\text{O}_2$ :  $\text{Fe}^{2+} = 0:2$ , 94.93% para relación  $\text{H}_2\text{O}_2$ :  $\text{Fe}^{2+} = 0:6$  y 91.91% para relación  $\text{H}_2\text{O}_2$ :  $\text{Fe}^{2+} = 1:0$ .

#### **2.1.3. Antecedentes Locales**

##### **Antecedente N°1:**

(Ticona, 2021) mediante su investigación cuyo título es: “TRATAMIENTO ELECTROQUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES PROCEDENTES DEL CAMAL



MUNICIPAL DE ANTA, CUSCO – 2021”, realizado en el camal municipal de Anta departamento Cusco, tuvo como objetivo tratar las aguas residuales mediante electrolisis aplicando diferente niveles de tensión, se concluyó que la conductividad eléctrica descendió en 6.98%, la turbidez en un 99.90%, los sólidos suspendidos totales disminuyeron su valor en 98.06%, la demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) se redujo en un 91.60%, de igual manera la demanda bioquímica de oxígeno (DQO) se redujo en un 80.15% y los aceites y grasas fueron removidos en un 95.50%.

### **Antecedente N°2:**

(Zavaleta Espinoza, 2022) en su tesis titulada: “EFICIENCIA DE LOS PROCESOS FENTON Y FOTOFENTON EN LA REMOCIÓN DE LA DBO<sub>5</sub> DEL EFLUENTE DEL CAMAL MUNICIPAL CUSCO-2021”, tuvo como objetivo comparar la eficiencia de los procesos Fenton y Fotofenton en la remoción de la DBO<sub>5</sub> del efluente del camal municipal de Cusco ubicado en distrito de San Jerónimo, primeramente, caracterizó en campo con el multiparámetro las aguas residuales, los parámetros fueron: pH, T°, conductividad, TDS y turbiedad, de la misma manera, en laboratorio analizó la DBO y DQO inicial. Seguidamente determinó el índice de biodegradabilidad, utilizó el diseño experimental Box–Behnken con 3 repeticiones en el punto central para cada proceso (Fenton y Fotofenton) haciendo un total de 30 experimentos. Respecto al proceso Fenton utilizó un test de jarras en sistema discontinuo o batch, con una velocidad de 150 RPM en un tiempo de reacción de 1 hora; no obstante, en el proceso Fotofenton empleó agitadores magnéticos y se acondicionó adecuadamente el fotoreactor con una lampara UV-C (254 nm). Las muestras de ambos procesos fueron filtradas como etapa final. Los resultados con respecto a la caracterización inicial fueron: DBO = 1207.89 mg/L., DQO = 2501.00 mg/L., pH = 7.32 - 7.77, temperatura = 16.20 - 18.88 °C, conductividad eléctrica = 1224 - 1810  $\mu$ S/cm., TDS = 613 - 1000 ppm y turbiedad = 515 - 594.5 NTU.; con respecto a la aplicación del proceso Fenton los resultados mostraron una



remoción máxima del 93.96% de la DBO, mientras que el proceso Fotofenton alcanzó un valor máximo del 94.63% de remoción de la DBO del efluente de dicho camal.

## 2.2. Bases Teóricas

### 2.2.1. *Procesos de Oxidación Avanzadas (POAs)*

Los procesos de oxidación avanzadas (POAs) o su equivalente en inglés, Advanced Oxidation Processes (AOPs), se llevaron a cabo por primera vez para el tratamiento de aguas en el año 1980 (Deng & Zhao, 2015), estos procesos de oxidación avanzada se caracterizan por la generación in situ de oxidantes fuertes, en su mayoría los radicales hidroxilos ( $OH^*$ ), pero también existen otras especies oxidativas como radicales sulfato y cloro, a su vez, el radical hidroxilo tiene un potente poder oxidativo ( $E^{\circ} = 2.8 \text{ V}$ ) y su aplicación mayormente se da para la remoción de contaminantes orgánicos e inorgánicos persistentes en aguas residuales, por ello, se espera que estos radicales oxiden los contaminantes o degraden la materia orgánica presentes y los transformen en compuestos más inocuos o se consiga la mineralización completa ( $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ), dando así una posible solución para el tratamiento de las aguas residuales. (Deng & Zhao, 2015; Miklos et al., 2018)

Según (Ameta, 2018; Pignatello et al., 2006) la finalidad de los POAs son los siguientes:

- Mineralización de contaminantes hasta su completa transformación en dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y aniones inorgánicos
- Degradación de contaminantes orgánicos
- Mejora de color y olor.

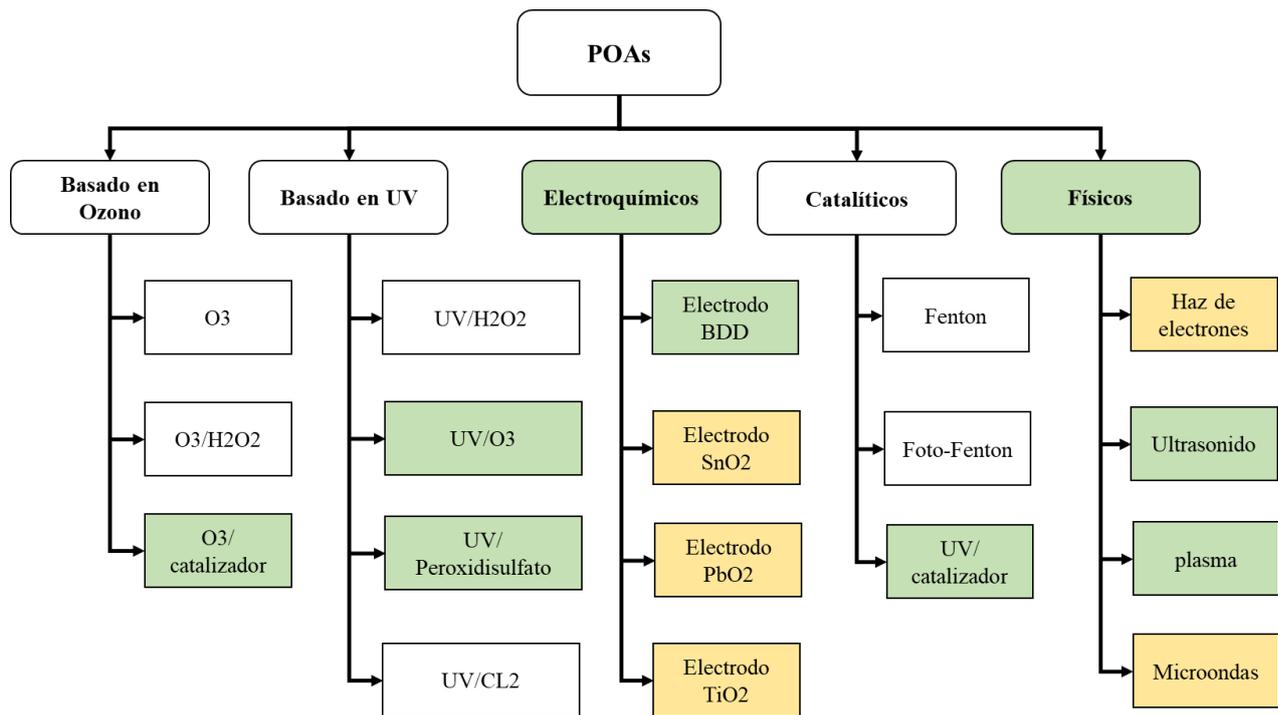
Las tecnologías para los POAs implican métodos diferentes para su activación, así como para la generación de agentes oxidantes, se pueden utilizar una serie de mecanismos diferentes para la mineralización orgánica. En la Figura 5 se observa de forma general distintos POAs establecidos y nuevos, basados en ozono, UV, electroquímicos, catalíticos y físicos. Cabe señalar que este esquema de clasificación no es estricto, ya que puede existir varios



procesos que impliquen tecnologías diferentes y, por tanto, podrían asignarse nuevas categorías; los distintos procesos resumidos representan procesos con grados de implantación muy diferentes, desde POAs bien establecidos hasta procesos que aún sólo se han probado a escala de laboratorio.(Miklos et al., 2018)

**Figura 5**

*Clasificación general de los procesos de oxidación avanzada*



*Nota.* Los procesos individuales están marcados como establecidos a escala real (blanco), investigados a escala de laboratorio y piloto (verde) y probados a escala de laboratorio (amarillo). Adaptado de *Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment – A critical review*, por Miklos et al., 2018.

Así mismo, los POAs se clasifican en homogéneo y heterogéneos:

Los procesos homogéneos engloban aquellos que utilizan energía y los que no, la clasificación se muestra en la Figura 6; los procesos homogéneos que utilizan energía y radiación ultravioleta utilizan sistemas con reactivos que incluyen reacciones de O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y foto-Fenton, todas ellas producen radicales OH•, así mismo, los procesos homogéneos que

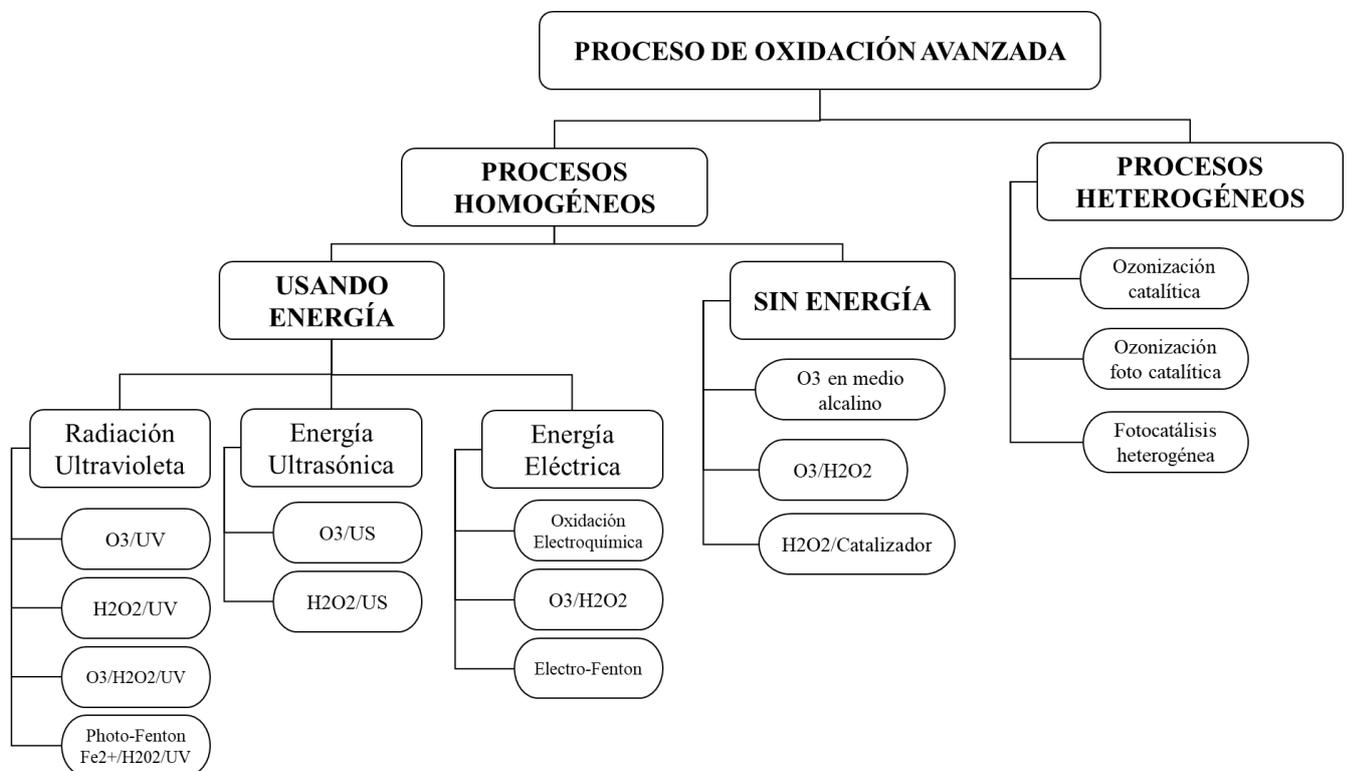


utilizan energía ultrasónica forman radicales hidroxilos debido a las condiciones extremas generadas que son capaces de romper las moléculas de agua, de la misma manera, los procesos homogéneos que no utilizan energía son los procesos de peróxido de hidrógeno y catalizador (Fenton), la ozonización con peróxido de hidrógeno y la ozonización en medio alcalino; la diferencia entre el proceso con peróxido de hidrógeno y los que usan catalizadores con  $H_2O_2/UV$  se encuentra en el porcentaje de formación de radicales de  $OH\bullet$ , que es menor en el proceso que no utiliza energía.(Bermúdez et al., 2021; Poyatos et al., 2010)

En los POAs heterogéneos se suelen utilizar catalizadores para producir la degradación de los compuestos contaminantes, en comparación con los procesos homogéneos, los catalizadores utilizados en procesos heterogéneos tienen la ventaja de poder separar el producto más fácilmente.(Bermúdez et al., 2021; Poyatos et al., 2010)

**Figura 6**

*Clasificación de los procesos de oxidación avanzada.*





*Nota.* Adaptado de *Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: State of the Art*, por Poyatos et al., 2010.

### 2.2.2. Radical Hidroxilo ( $OH^{\bullet}$ )

Los radicales hidroxilos fueron descubiertos por primera vez en 1934 por Haber y Weiss (Gligorovski et al., 2015). El radical hidroxilo ( $OH^{\bullet}$ ) es una importante especie reactiva del oxígeno con un potencial de oxidación-reducción estándar de +2.8 V, que sólo es superado por el flúor en la naturaleza. Así mismo, puede descomponer con éxito la mayoría de los contaminantes, incluidos la materia orgánica macromolecular refractaria en pequeñas sustancias poco o nada tóxicas. (Babuponnusami & Muthukumar, 2014)

**Tabla 1**

*Potencial de reducción estándar de oxidantes comunes*

Oxidante	Potencial de oxidación (V)
Flúor ( $F_2$ )	3.03
Radical hidroxilo ( $OH^{\bullet}$ )	2.80
Oxígeno atómico (O)	2.42
Ozono ( $O_3$ )	2.07
Peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ )	1.77
Permanganato potásico ( $KMnO_4$ )	1.67
Dióxido de cloro ( $ClO_2$ )	1.5
Ácido hipocloroso ( $HClO$ )	1.49
Cloro ( $Cl_2$ )	1.36
Oxígeno ( $O_2$ )	1.23
Bromo ( $Br_2$ )	1.09

*Nota.* Recuperado de (Babuponnusami & Muthukumar, 2014)

### 2.2.3. Proceso Fenton

El proceso Fenton fue descubierto por Henry John Horstman Fenton en 1894, quien informó que el  $H_2O_2$  podía ser activado por sales de  $Fe^{2+}$  en medio ácido, para oxidar el ácido tartárico. Henry Fenton llegó a la conclusión de que el ácido tartárico se había oxidado, así mismo, experimentó con otras sustancias orgánicas en presencia de los mismos reactivos y, del



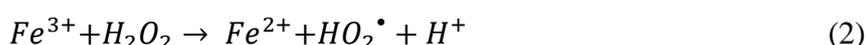
mismo modo, los compuestos orgánicos se oxidaron, Fenton llamó al sistema "reactivo Fenton".(Fenton, 1894; García Leiva, 2016)

Asu vez, el reactivo Fenton se basa en la producción de radicales hidroxilos ( $OH^\bullet$ ) a presión atmosférica y temperatura ambiente, son altamente reactivos en condiciones ácidas (pH 2.5 - 4), como resultado de la reacción entre el peróxido de hidrógeno  $H_2O_2$  y los iones ferrosos  $Fe^{2+}$ .(Bagal & Gogate, 2014)

En el proceso Fenton la agitación no es muy significativa ya que el catalizador y el oxidante se encuentran en suspensión, sin embargo, en la mineralización se produce  $CO_2$ , por lo que una buena agitación favorece que pueda desprenderse y también que el medio de reacción en contacto con el aire tenga una mejor oxigenación, por el contrario, una agitación muy rápida puede producir abúndate espuma.(Medina et al., 2018)

En los últimos tiempos, se ha reconocido la importancia de las reacciones de  $H_2O_2$  y se han tabulado más de 1700 constantes de velocidad para reacciones de  $H_2O_2$  con compuestos orgánicos e inorgánicos en solución acuosa. El sistema de oxidación basado en el reactivo de Fenton puede emplearse para tratar diversas aguas residuales que contienen una serie de compuestos orgánicos como inorgánicas, ya sea en condiciones de laboratorio utilizando efluentes sintéticos, así como en efluentes reales procedentes de diferentes fuentes como la industria química, refinerías y terminales de combustible, limpieza de motores y metales, textilerías, lixiviados, mataderos, entre otros.(Babuponnusami & Muthukumar, 2014)

A continuación, se describen los mecanismos de reacción del proceso Fenton tradicional en las ecuaciones 1 y 2. A su vez, se consideran los mecanismos principales y preponderantes del proceso, es importante señalar que las especies de hierro existen como complejos en soluciones acuosas ( $Fe^{2+}$ ,  $Fe^{3+}$ ). (García Leiva, 2016; Nogueira et al., 2007)





En la ecuación 1, el posible mecanismo parte de la reacción entre el  $Fe^{2+}$  y el peróxido de hidrógeno en condiciones ácidas, produciéndose la oxidación del  $Fe^{2+}$  a  $Fe^{3+}$  mediante la transferencia de electrones originándose la formación de radicales hidroxilos ( $OH^{\bullet}$ ) y un anión hidróxido. Por otro lado, en la ecuación 2 dado la reducción de  $Fe^{3+}$  por peróxido de hidrógeno es aproximadamente 7000 veces más lenta que la oxidación de  $Fe^{2+}$  en la ecuación 1, la eficacia para la degradación de compuestos en la reacción de Fenton disminuirá con el tiempo, atribuida principalmente a la acumulación de iones  $Fe^{3+}$  en la solución. (García Leiva, 2016). Aunque la Ecuación 2 indica que el  $Fe^{3+}$  producido a partir de la Ecuación 1 puede reducirse a  $Fe^{2+}$ , el hierro ya no puede ser un catalizador en el sistema Fenton, sin embargo, el radical  $OH^{\bullet}$  producido puede ser eliminado por cualquiera de los reactivos de Fenton, como se muestra en las ecuaciones 2 y 3. Por lo tanto, es necesario determinar experimentalmente la relación molar óptima entre el ion hierro y el peróxido de hidrógeno para minimizar la eliminación no deseada del radical  $OH^{\bullet}$  (Deng & Zhao, 2015)

Además de formarse radicales  $OH^{\bullet}$ , se generan radicales hidroperoxilo ( $HO_2^{\bullet}$ ), los cuales inician una reacción de oxidación en cadena para eliminar la materia oxidable. Sin embargo, los radicales hidroperoxilo ( $HO_2^{\bullet}$ ) presentan menor poder de oxidación que los radicales hidroxilos ( $OH^{\bullet}$ ). (Medina et al., 2018)

En consecuencia, el  $Fe^{3+}$  forma lodos de hierro en condiciones típicas de tratamiento de aguas residuales, estos deben eliminarse por separado, lo que aumenta la complejidad del tratamiento y los costos operativos. (Deng & Zhao, 2015)

Así mismo, este método puede aplicarse eficazmente como pretratamiento, pero tiene desventajas, como la generación de lodos de hidróxido de hierro y la necesidad de un nivel de pH ácido. (Poyatos et al., 2010)

#### 2.2.4. Tipos de Proceso Fenton

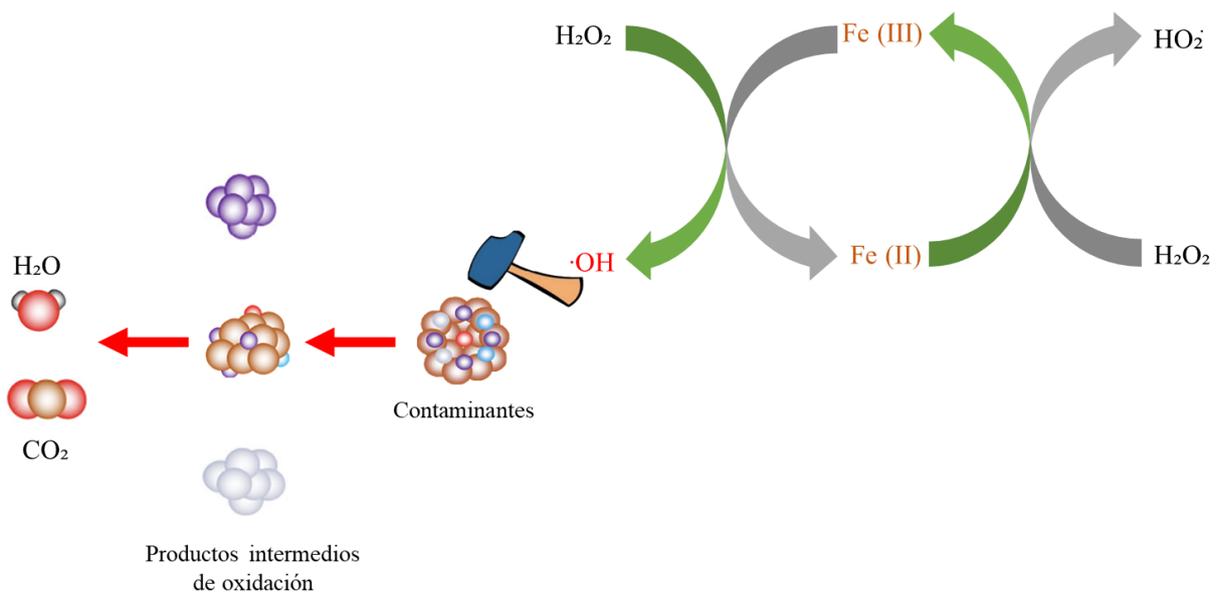
##### 2.2.4.1. Fenton Homogéneo

El Fenton convencional es un sistema catalítico homogéneo ya que el catalizador  $\text{Fe}^{2+}$  es añadido como sal soluble, además las especies químicas se encuentran en fase acuosa (Pliego et al., 2015), así mismo, la química general homogénea de Fenton es muy compleja, e incluyen tanto reacciones de oxidación como de coagulación debido a la presencia de radicales  $\text{OH}^\bullet$  y  $\text{Fe}$ . (Ribeiro & Nunes, 2021)

En la Figura 7 se muestra el mecanismo de reacción.

**Figura 7**

*Mecanismo de reacción del proceso Fenton*



Nota. Adaptado de *A review on Fenton process for organic wastewater treatment based on optimization perspective*, por Zhang et al., 2019.

##### 2.2.4.2. Fenton Heterogéneo

El proceso heterogéneo tipo Fenton es una reacción entre el  $\text{H}_2\text{O}_2$  y el  $\text{Fe}$  en una matriz sólida como un hidróxido de  $\text{Fe}$ , una zeolita con  $\text{Fe}$ , sílice con  $\text{Fe}$ , arcilla pillar con  $\text{Fe}$ , carbón activado con  $\text{Fe}$ , etc.; para producir especies altamente oxidantes, dependiendo de la capacidad de adsorción del soporte, el mecanismo de reacción comienza con la adsorción del



contaminante orgánico en la superficie, que es degradado posteriormente por los radicales formados (Pliego et al., 2015). Además, el proceso Fenton heterogéneo tiene muchas ventajas, como la baja lixiviación de iones de hierro, el ciclo eficiente de  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Fe}^{2+}$ , la baja producción de lodos de hierro, el amplio rango de pH de trabajo, la reutilización y estabilidad a largo plazo de los catalizadores, sin embargo, la mayoría de los estudios sobre el proceso Fenton heterogéneo se realizan a escala de laboratorio, y su fomento de la industrialización se ve limitada por numerosos inconvenientes como elevados costos de síntesis y diseño de los catalizadores Fenton heterogéneos, las desventajas de este proceso incluyen la alta dosis de peróxido de hidrógeno casi cuatro veces la del sistema homogéneo (Ribeiro & Nunes, 2021), el mecanismo de reacción para el proceso Fenton heterogéneo se muestra en la Figura 8.

### Figura 8

*Mecanismo de reacción del proceso Fenton heterogéneo*



Nota. Adaptado de *A review on Fenton process for organic wastewater treatment based on optimization perspective*, por Zhang et al., 2019.



### 2.2.5. Condiciones Óptimas para el Proceso Fenton

A partir del análisis exhaustivo de la bibliografía existente sobre la aplicación de la oxidación de Fenton al tratamiento de aguas residuales, se mencionan las siguientes condiciones óptimas:

#### 2.2.5.1. Potencial de Hidrógeno (pH)

La eficacia de la degradación del contaminante en el proceso Fenton convencional depende en gran medida del pH de la solución, principalmente debido a factores de especiación del hierro y del peróxido de hidrógeno. (Babuponnusami & Muthukumar, 2014)

En el caso de valores bajos de pH ( $<2$ ), el efecto de barrido de  $\text{OH}^\bullet$  por  $\text{H}^+$  se hace más fuerte lo que resulta en la disminución de la capacidad de oxidación del proceso Fenton, por el contrario, a valores de pH más altos ( $>5.5$ ) se da la presencia de hidróxido férrico ( $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ) relativamente inactivos y que retiran al catalizador del medio de reacción, así mismo, se lleva a cabo el precipitado de  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , en esta situación, se generan menos radicales hidroxilos debido a la presencia de menos iones de hierro libres, en conclusión, el potencial de oxidación de los radicales hidroxilos disminuye al aumentar el pH, el proceso Fenton tiene una excelente eficiencia en la degradación de contaminantes orgánicos en un rango estrecho de pH de 2.5 a 4. (Zhang et al., 2019)

De acuerdo con la revisión bibliográfica, los efluentes de mataderos tienen un pH ligeramente alcalino entre 7.2 a 7.5 (Medina et al., 2018; Salas C. & Cesario, 2008). Para alcanzar el rango óptimo de pH en el proceso Fenton, se gastan grandes cantidades de reactivos químicos para ajustar las aguas residuales a pH ácidos antes de iniciar el proceso, lo que aumenta los costos del tratamiento de las aguas residuales.

#### 2.2.5.2. Concentración de Cation $\text{Fe}^{2+}$ (Agente Catalizador)

Por lo general, la velocidad de degradación aumenta con el incremento de la concentración de ion ferroso, sin embargo, a veces se observa que la magnitud del aumento por



encima de una determinada concentración de ion ferroso conducirá a un ascenso de las cantidades no utilizadas de sales de hierro, lo que contribuirá a un aumento del contenido total de sólidos disueltos (TDS) de la corriente del efluente y esto es inadecuado, por lo tanto, se requieren estudios a escala de laboratorio para establecer la carga óptima de iones ferrosos para mineralizar los orgánicos.(Babuponnusami & Muthukumar, 2014)

#### **2.2.5.3. Concentración de Peróxido de Hidrógeno $H_2O_2$ (Agente Oxidante)**

La concentración de peróxido de hidrógeno desempeña un papel crucial a la hora de decidir la eficacia global del proceso de degradación, el  $H_2O_2$  requiere de grandes cantidades de  $Fe^{2+}$  para su descomposición en radicales  $OH^{\bullet}$ . (Rubio Clemente et al., 2014)

(Medina et al., 2018) sugiere que la concentración de  $H_2O_2$  debe ser alrededor de 1000 mg/L. para tratar aguas contaminadas mediante el proceso Fenton, pero también señala que dosis altas de peróxido de hidrógeno puede generar un exceso de espuma y ocasionar la flotación de lodos.

Normalmente se ha observado que el porcentaje de degradación del contaminante aumenta con el incremento de la dosis de peróxido de hidrógeno, debe tenerse cuidado al seleccionar la dosis operativa de oxidante ya que la parte no utilizada de peróxido de hidrógeno durante el proceso Fenton contribuye al aumento de la DQO, así mismo, otro efecto negativo del peróxido de hidrógeno es la eliminación de los radicales hidroxilos generados, que se produce con grandes cantidades de peróxido de hidrógeno, por lo tanto, la dosis de peróxido de hidrógeno debe ajustarse de forma que se utilice toda la cantidad y esto puede decidirse basándose en los estudios a escala de laboratorio.(Babuponnusami & Muthukumar, 2014)

#### **2.2.5.4. Temperatura**

Se dispone de pocos estudios que describan el efecto de la temperatura sobre la tasa de degradación, la reacción de oxidación Fenton es exotérmica, la eficiencia de la degradación no se ve afectada cuando la temperatura llega a  $40^{\circ}C$ , entonces las temperaturas de operación de



preferencia no deben sobrepasar este valor, ya que si excede se inicia la descomposición del peróxido de hidrógeno en oxígeno y agua.(Babuponnusami & Muthukumar, 2014; Medina et al., 2018)

#### **2.2.6. Camal o Matadero**

El camal o técnicamente conocido como matadero es una instalación apta destinada al faenamiento de animales de abasto, así mismo, reúne las condiciones sanitarias y es abalada mediante la autorización que se enmarca en el D.S.015-2012-AG “Reglamento sanitario del faenado de animales de abasto” que en su artículo 10° indica que, el faenado de animales de abasto debe realizarse en mataderos que cuenten con autorización sanitaria emitidos por el SENASA.

En tal sentido, la finalidad de los mataderos es producir carne y menudencias empleando técnicas higiénicas para sacrificar animales, con el fin, de facilitar la inspección de la carne, para así evitar el expendio de carne contaminada y causar daños a la salud de la población, al mismo tiempo, estas técnicas facilitan el manejo de los residuos y efluentes para minimizar los impactos al ambiente.(SENASA, 2014)

Por otro lado, los mataderos en el Perú se clasifican en 3 categorías, según el reglamento sanitario del faenado de los animales de abasto (D.S.015-2012-AG):

- Mataderos de Categoría 1: Aquellos que cuenten con aforo para faenar hasta 10 bovinos, 20 porcinos y 30 ovinos por jornada diaria, así mismo, las instalaciones deben estar ubicados en lugares donde se faenen ganado preferentemente para la zona.
- Mataderos de Categoría 2: Aquellos que faenan animales de abasto para el expendio y consumo nacional.
- Mataderos de Categoría 3: Aquellos que faenan animales de abasto destinados para la exportación.



### *2.2.7. Faenado de Animales de Abasto*

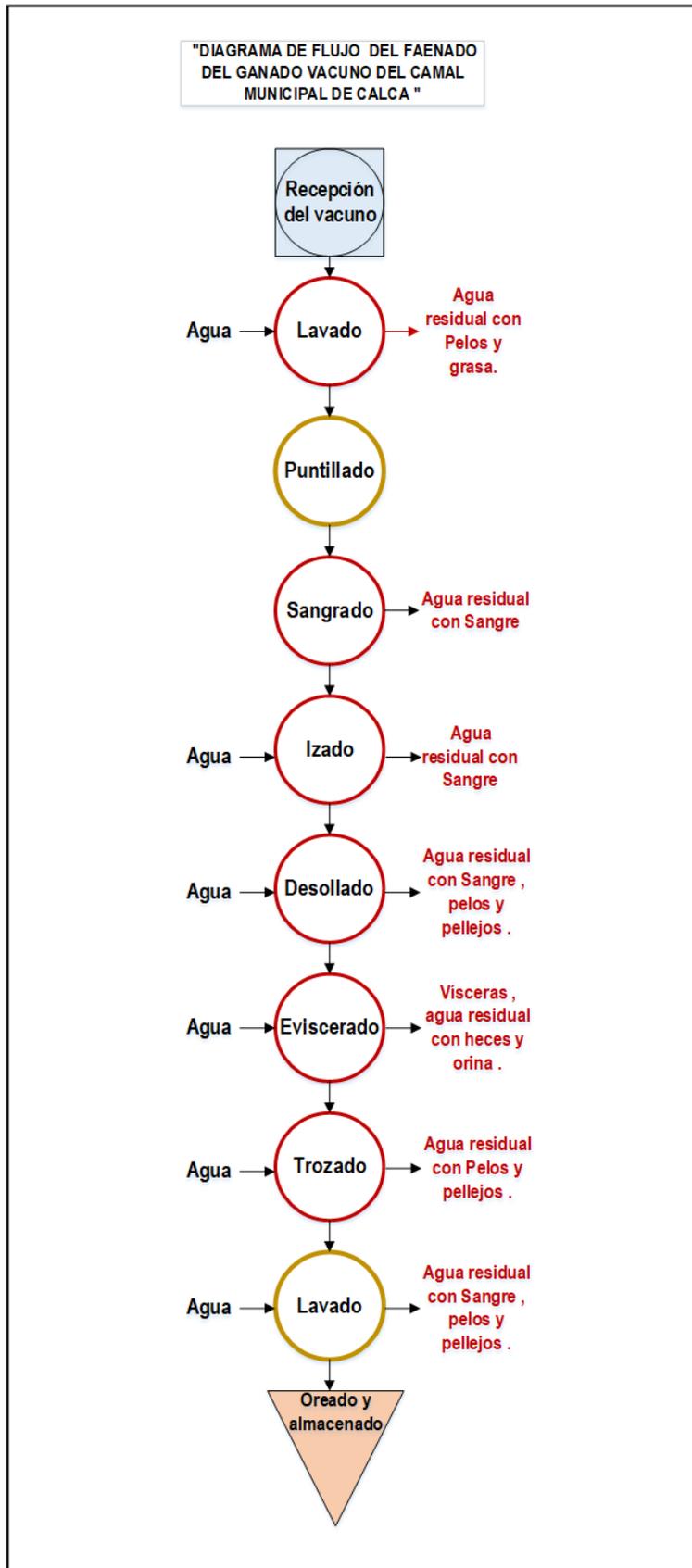
En el Perú la mayoría los mataderos o camales, aun utilizan técnicas muy ineficientes para la actividad del faenamiento de animales de abasto, a causa de infraestructuras, maquinarias y equipos inadecuados, de manera que afecta directamente en la operatividad y el manejo sanitario de las carnes y menudencias. Al realizarse inadecuadamente el proceso de faenamiento, pueden causar impactos negativos en el ambiente y la salud de los consumidores, incumpliendo de esta manera la normativa nacional vigente (D.S.015-2012-AG).(SENASA, 2014)

En el camal municipal de Calca se identificó las operaciones que se lleva cabo para el faenado de vacunos como se muestra en el siguiente diagrama de flujo: Ver Figura 9.



Figura 9

Diagrama de flujo del faenado vacuno del camal municipal de Calca



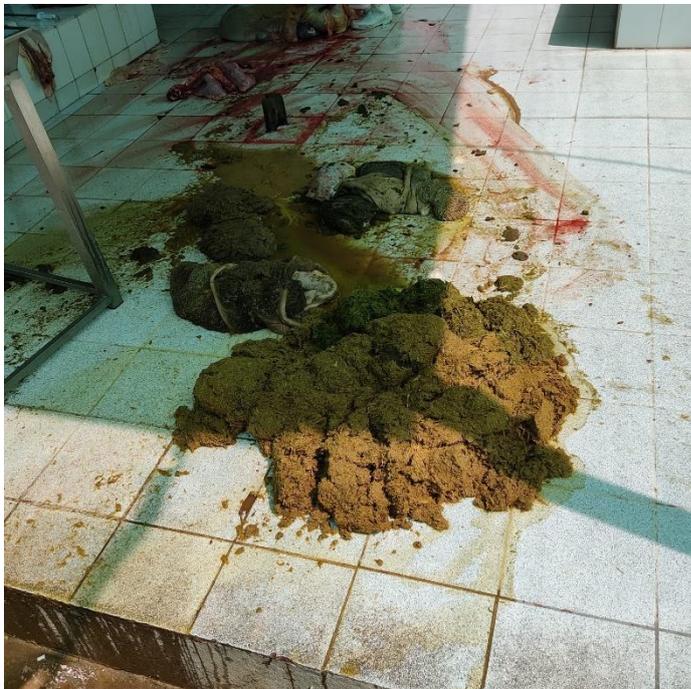


### **2.2.8. Desechos Sólidos Orgánicos del Camal**

En el camal, a partir del faenado se generan desechos que son provenientes mayormente del contenido del estómago de los vacunos y porcinos, así mismo, los desechos sólidos generados son: pelos, viseras (hígado, riñón, corazón, pulmón, tripas, órganos de la cavidad de la pelvis) y estiércol, por lo tanto, el mal manejo de estos desechos afecta en gran medida la carga contaminante de las aguas residuales.(Nuñez Tinoco & Bustamante López, 2012)

#### **Figura 10**

*Desechos sólidos generados en el camal municipal de Calca*



### **2.2.9. Dotación de Agua para Faenado**

Los mataderos deben disponer de cantidad y calidad de agua potable con buena presión para el faenamiento, asegurando un volumen promedio de uso por faenado de animales de abasto, así mismo, de acuerdo con las necesidades estos pueden provenir de la red pública u otro medio de captación.(SENASA, 2014)

El reglamento sanitario del faenado de los animales de abasto (D.S.015-2012-AG) indica que la dotación mínima de agua potable en un matadero debe ser:



- 500 L. por bovino.
- 350 L. por porcino.
- 200 L. por ovino.

Adicionalmente, la industria cárnica en general consume gran cantidad de agua dulce, debido a la demanda de esta para el faenado de animales, limpieza de las instalaciones y de las plantas de procesamiento de carne, a su vez, la industria cárnica utiliza el 24% del total de agua dulce consumida entre la industria de alimentos y bebidas en todo el mundo, lo que convierte a los mataderos en una fuente potencial de efluentes de aguas residuales. (Bustillo Lecompte & Mehrvar, 2015)

#### ***2.2.10. Aguas Residuales del Camal***

En el camal se generan aguas residuales en los distintos procesos, la mayor parte de la contaminación procede de la sangre y de las mucosas estomacales e intestinales, adicionalmente, contienen altos niveles de compuestos orgánicos, microorganismos patógenos y no patógenos, detergentes y desinfectantes que son utilizados para las actividades de limpieza de la infraestructura del matadero, basándonos netamente en las aguas residuales generadas en los procesos de faenamiento, se pueden diferenciar dos tipos de efluentes: los de color rojo (Figura 11) que están constituidos principalmente por sangre proveniente del desangrado y lavado de la carne y los efluentes de color verde formados por contenido estomacal, pelos, orina, estiércol, etc. (Bustillo Lecompte & Mehrvar, 2015; Nuñez Tinoco & Bustamante López, 2012)

En ese sentido, las aguas residuales de matadero poseen una elevada carga orgánica, debido a que las concentraciones que aporta cada litro de sangre en términos de DBO son de 150 - 200 mg/L., y en casos extremos hasta 405 mg/L., para la DQO los valores son más elevados. (Nuñez Tinoco & Bustamante López, 2012)



Adicionalmente, las aguas residuales de un camal tienen una compleja composición de grasas, proteínas, ácidos orgánicos volátiles y otros compuestos orgánicos nitrogenados procedentes del faenado, así mismo, la composición de estas aguas residuales depende del tipo de animal sacrificado (cerdos, vacas, corderos, etc.), del volumen de agua utilizada, de la gestión de desechos líquidos y sólidos, entre otros.(Delgado Soto, 2019)

Las características de las aguas residuales de mataderos o camales se resumen en la Tabla 2.

### **Figura 11**

*Aguas residuales provenientes del camal municipal de Calca*





**Tabla 2**

*Características generales de las aguas residuales de camal*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>RANGO</b>	<b>PROMEDIO</b>
Carbono Orgánico Total (mg/L.)	70 -1200	546
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L.)	150 - 4635	1209
Demanda Química de Oxígeno (mg/L.)	500 -15 900	4221
Nitrógeno total (mg/L.)	50 - 841	427
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L.)	270 - 6400	1164
pH	4.90 - 8.10	6.95
Fósforo Total (mg/L.)	25 - 200	50
Aceites y Grasas (mg A y G/L.)	23 -1300	474

Nota. Adaptado de *Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: A review on trends and advances*, por Bustillo-Lecompte & Mehrvar, 2015.

### **2.2.11. Parámetros Orgánicos de Calidad de Agua**

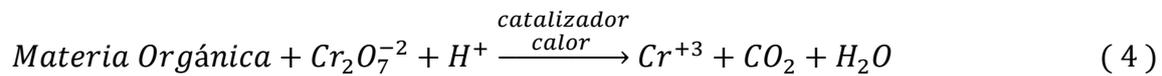
Los contaminantes en las aguas residuales son normalmente una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos, así mismo, una de las medidas más importantes en la calidad de agua es el nivel de oxígeno, existen muchos parámetros para medir este nivel como: Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Oxígeno disuelto (O.D), entre otros; del mismo modo, el contenido de materia orgánica de un efluente de agua residual se determina empleando ensayos de Demanda Química de Oxígeno (DQO), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Carbono Orgánico Total (COT).(Domènech & Peral, 2012; Kiely & Veza, 1999)

#### **2.2.11.1. Demanda Química de Oxígeno en Aguas Residuales (DQO)**

La DQO es muy útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales, de la misma manera, se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un fuerte agente químico oxidante,



normalmente dicromato de potasio, a condiciones ácidas y temperaturas altas, no obstante, para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos resistentes se quieren la adición de un catalizador (sulfato de plata), la reacción principal puede representarse de la siguiente manera.(Romero Rojas, 2018)



La oxidación que se lleva a cabo recae en el agente químico oxidante antes que, en los microorganismos, entonces, se mide la cantidad de oxígeno que se necesita para descomponer tanto la materia biodegradable y no biodegradable, todo este proceso se lleva a cabo en un laboratorio, por otro lado, para un agua residual urbana la DQO es aproximadamente 1.5 veces la DBO<sub>5</sub>, este valor es referencial, puesto que, dependerá de la composición de las aguas residuales.(Kiely & Veza, 1999)

Así mismo, la determinación de la DQO debe realizarse instantáneamente después de la toma de muestras, para evitar la oxidación natural, caso contrario, la muestra podría conservarse un cierto tiempo si se acidifica con ácido sulfúrico hasta pHs = 2 - 3, sin embargo, esta opción deja de ser fiable en presencia de cloruros.(Nuñez Tinoco & Bustamante López, 2012)

## 2.3. Marco Conceptual

### 2.3.1. Agua Residual

Son aquellas aguas cuya composición original han sido alteradas por actividades humanas y que necesitan un tratamiento previo, antes de ser reutilizadas en diferentes actividades o ser descargadas al sistema de alcantarillado.(OEFA, 2014)

### 2.3.2. Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) o su equivalente en ingles Biochemical Oxygen Demand (BOD), es un indicador del nivel de contaminación de aguas residuales que mide la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable



presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aeróbica de microorganismos a temperatura y presión constante, en ausencia de luz y en condiciones de laboratorio.(Kiely & Veza, 1999)

### ***2.3.3. Turbiedad***

Es una medida óptica del material suspendido en el agua, es un indicador importante en el control de calidad.(Romero Rojas, 2018)

### ***2.3.4. Aceites y Grasas***

Se consideran los compuestos de carbono, hidrogeno y oxígeno que flotan en el agua residual, recubren las superficies de los cuerpos que entran en contacto causando iridiscencia e intervienen en la actividad biológica, son complicados de degradar.(Romero Rojas, 2018)

### ***2.3.5. Faenado***

Es el procedimiento de separación progresiva del cuerpo de un animal y otras partes comestibles y no comestibles, así mismo, se inicia desde el ingreso de los animales de abasto al matadero hasta el despacho de carne.(SENASA, 2014)

### ***2.3.6. Animales de Abasto***

Abarca las siguientes especies: Porcinos, bovinos y ovinos. (SENASA, 2014)

### ***2.3.7. Valores Máximos Admisibles (VMA)***

Son valores de concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos o químicos, que caracterizan a un efluente proveniente de una industria, que va a ser descargado a la red de alcantarillado, así mismo, al ser excedidos, causan daño a los cuerpos receptores.(D.S N° 010-2019 - Ministerio de Vivienda, 2019)

## **2.4. Hipótesis**

### ***2.4.1. Hipótesis General***

Hipótesis Nula ( $H_0$ ): Las aguas residuales del camal municipal de Calca no presentan una reducción significativa de la DQO aplicando el proceso Fenton.



Hipótesis Alternativa ( ): Las aguas residuales del camal municipal de Calca presentan una reducción significativa de la DQO aplicando el proceso Fenton.

## 2.5. Variables e Indicadores

### 2.5.1. Identificación de Variables

#### **Variable Independiente:**

X1: PROCESO FENTON: El Proceso Fenton es la reacción entre el  $Fe^{2+}$  disuelto y el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) en medio ácido.

#### **Variables Intervinientes:**

Y1: PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS: Los parámetros físicos y químicos se observan como resultado de cambios físicos y químicos en las aguas residuales.

#### **Variables Dependiente:**

Z1: REDUCCIÓN DE LA DQO: La DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente los residuos. Consiste en la disminución de la concentración de la DQO presente en la muestra de agua residual.

### 2.5.2. Operacionalización de Variables

Véase Tabla 3.



Tabla 3

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Variable Independiente: <b>PROCESO FENTON</b>	El Proceso Fenton es la reacción entre el Fe <sup>2+</sup> disuelto y el peróxido de hidrógeno (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) en medio ácido. Para aplicar este proceso en el tratamiento de aguas residuales es necesario conocer las características iniciales del agua a tratar. (Fenton, 1894)	Se caracteriza el agua, se aplica el proceso Fenton mediante el ajuste de pH, seguido del sulfato ferroso y el peróxido de hidrogeno que se agrega a los experimentos, la eficiencia del proceso depende de las dosis de los reactivos.	Dosis de Fe <sup>+2</sup>  Dosis de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>  Rango de pH	Concentración: - mg/L.  Concentración: - mg/L.  Escala numérica - Ácido: x<7 - Básico: x=7 - Neutro: x>7	-Prueba de jarras -pHmetro digital -Bitácora de Laboratorio -Software STATGRAPHICS Centurión
Variable Interviniente: <b>PARÁMETROS FÍSICO Y QUÍMICOS</b>	Los parámetros físicos se observan como resultado de cambios físicos en las aguas residuales de Camal, como la temperatura, la turbidez, conductividad eléctrica, mientras que los parámetros químicos son las reacciones químicas ocurridas en las aguas residuales de Camal y se pueden medir a través de DQO, O.D., AyG.(Romero Rojas, 2018)	Se aplica métodos de laboratorio que se efectúan en el efluente del Camal de Calca antes y después del tratamiento para evaluar los parámetros físicos y químicos.	Características fisicoquímicas: -Oxígeno disuelto -Temperatura - Conductividad eléctrica -Turbiedad -Aceites y grasas -Potencial de hidrogeno	Unidades de medida: -mg/L. -°C -µs/cm  -NTU -mg/L. -Unidades de pH	-Cadena de Custodia. -Reporte de laboratorio.
Variable Dependiente: <b>REDUCCIÓN DE LA DQO</b>	La demanda química de Oxígeno (DQO) es indicador de la cantidad de materia Orgánica, un parámetro muy importante para evaluar la calidad del Agua.(UNESCO, 2012) La DQO es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar químicamente los residuos. Consiste en la disminución de la contracción de la DQO presente en la muestra de agua residual.(Orozco, 2005)	Se determina la concentración de la DQO después del tratamiento con el proceso Fenton, estimando el porcentaje de reducción utilizando la siguiente formula:  $\% \text{ reducción} = \frac{DQO_{(co)} - DQO_{(cf)}}{DQO_{(co)}}$	% de Reducción de la DQO	Concentración Inicial de DQO <sub>(co)</sub> mg/L.  Concentración Final de DQO <sub>(cf)</sub> mg/L.	-Cadena de Custodia -Hoja de Calculo -Reporte de laboratorio -Método Colorimétrico-Standard Methods Edition 23°



## CAPITULO III: DISEÑO METODOLÓGICO

### 3.1. Alcance del Estudio

#### 3.1.1. *Enfoque de la Investigación*

El enfoque de la investigación cuantitativa según (Hernández Sampieri et al., 2014) es secuencial y probatorio, requiere de un diseño para probarlas y medirlas, así mismo, los datos obtenidos son analizados utilizando métodos estadísticos para posteriormente contrastar las hipótesis.

Con relación a lo expuesto, la presente tesis tiene un enfoque cuantitativo ya que se siguió una secuencia de pasos, organizados en diferentes etapas de campo, laboratorio y gabinete, se midieron las variables del proceso Fenton y fueron plasmados mediante valores numéricos, así mismo, se desarrolló un plan de análisis de datos para la recolección de valores de la reducción de la DQO, previa aplicación de los tratamientos, por último, se aplicó métodos estadísticos para la obtención de gráficos, tablas y modelos matemáticos con el fin de llevar a cabo la optimización de los factores como  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  y pH. Por último: mediante los resultados se contrastó la hipótesis.

#### 3.1.2. *Alcance de la Investigación*

El alcance correlacional según define (Hernández Sampieri et al., 2014), es el grado de asociación que existe entre las variables, así mismo, determina la relación y el comportamiento de una variable en relación a la otra.

La presente tesis tiene un alcance correlacional, ya que busca explicar cómo se relacionan las variables estudiadas, en ese entender, se analizó la eficiencia de reducción de la variable dependiente (DQO), aplicando el proceso Fenton (variable independiente) en el efluente del camal municipal de Calca.



### **3.2. Diseño de la Investigación.**

(Hernández Sampieri et al., 2014) menciona que, el diseño experimental consiste en la manipulación intencional de las variables independientes de un estudio, con el objetivo de analizar los resultados de la manipulación que tiene sobre la variable dependiente, dentro de una situación de control.

Por lo tanto, el diseño de la investigación es de tipo experimental, puesto que, se manipuló la variable independiente (proceso Fenton) estableciendo un límite superior y un límite inferior (dosis de  $\text{H}_2\text{O}_2$ , dosis de  $\text{Fe}^{2+}$  y nivel de pH), seguidamente, se plasmó un plan experimental factorial  $2^3$ , finalmente, se midió el efecto que tiene el proceso Fenton en la variable dependiente (reducción de la DQO) que se enmarcaron en una situación de control (temperatura y agitación constante).

### **3.3. Población**

La población estuvo conformada por el volumen total de aguas residuales generadas en todas las operaciones del camal municipal de Calca.

### **3.4. Muestra**

La muestra está conformada por las aguas residuales recolectadas del camal municipal de Calca, en ese sentido, se tomó una muestra compuesta de volumen fijo con el fin de obtener una muestra homogénea.

### **3.5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

#### ***3.5.1. Técnicas***

Según (Ñaupas et al., 2018), se emplearon las siguientes técnicas de recolección de datos para la investigación:

##### **a) Observación documental**

Se recopiló información de fuentes primarias para obtener información acerca del proceso de faenado en el camal y la generación de aguas residuales, así mismo, se hizo una



búsqueda bibliográfica de artículos científicos, revistas, tesis, libros, normativa y metodologías para la aplicación del proceso Fenton utilizando fuentes con un alto nivel de veracidad.

b) Observación de campo

También llamada observación no participante esta es aplicada en trabajos de campo, dicho esto, la recolección de las muestras de aguas residuales se llevó a cabo en el camal municipal de Calca aplicando la metodología descrita en el “PROTOCOLO DE MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS” (RESOLUCIÓN JEFATURAL 010-2016-ANA), así mismo, se hizo un reconocimiento del área mediante el registro fotográfico.

c) Observación experimental

Se realizaron pre-experimentos del proceso Fenton en las muestras de aguas residuales en sistemas batch mediante la aplicación de un rango de dosis del  $H_2O_2$  y  $Fe^{2+}$  para observar físicamente las mejoras de color y olor, posteriormente, se envió a analizar la DQO; así mismo, teniendo los resultados se ajustaron las dosis de los reactivos para llevar a cabo el experimento mediante un diseño experimental factorial  $2^3$ , con el fin de determinar la reducción de la DQO. Todas las corridas experimentales se llevaron a cabo en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Universidad Andina del Cusco y los ensayos de DQO fueron analizados por el laboratorio Louis Pasteur (S.R.LTDA.).

d) Técnicas para la caracterización de las aguas residuales

Se determinó los parámetros iniciales de las aguas residuales mediante la aplicación de métodos estandarizados, se resume en la Tabla 4.

**Tabla 4**

*Métodos utilizados para los análisis de efluentes*

PARÁMETRO	UNIDAD	METODO DE REFERENCIA
DQO	mg/L.	SMEWWW-APHA-AWWA-WEF part 5220 C.,23rd Ed. (2017), método de flujo cerrado-Titrimétrico.



PARÁMETRO	UNIDAD	METODO DE REFERENCIA
Aceites y grasas	mg AyG/L.	SMEWWW-APHA-AWWA-WEF part 5520 B., 23rd Ed. (2017), método de partición gravimétrica.
pH	Unidades de pH	SMEWWW-APHA-AWWA-WEF part 4500-H+ B B., 23rd Ed. (2017), método electrométrico.
Turbidez	NTU	SMEWWW-APHA-AWWA-WEF part 2130. B., 23rd Ed. (2017), método nefelométrico.
Conductividad	μs/cm.	SMEWWW-APHA-AWWA-WEF part 2510. B., 23rd Ed. (2017), método de laboratorio
Oxígeno Disuelto	mg/L.	SMEWWW-APHA-AWWA-WEF part 4500- O Oxygen C., 22ND Ed. (2012), método de modificación acida.

Nota. Adaptado de *METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE AGUAS RESIDUALES DE LABORATORIO LOUIS PASTEUR.*

### 3.5.2. Instrumentos de Recolección de Datos

#### 3.5.2.1. Instrumentos de Campo

Para el trabajo en campo se utilizaron equipos, materiales y reactivos que se detallan a continuación:

- a) Medición de parámetros en campo de las aguas residuales.

#### Tabla 5

*Equipos para la medición de los parámetros en campo de las aguas residuales*

EQUIPO	APLICACIÓN	FOTOGRAFÍA
Multiparámetro <b>HANNA</b> HI 9829	Medición de parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales en campo.	



EQUIPO	APLICACIÓN	FOTOGRAFÍA
--------	------------	------------

Cámara Fotográfica  
**SAMSUNG**

Registro de fotos como evidencias de la toma de muestras.



GPS  
**GARMIN**  
**Montana 750i**

Obtención de las coordenadas del punto de muestreo



Para el muestreo de aguas residuales del camal municipal de Calca se utilizaron distintos materiales detallados en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Materiales para la medición de los parámetros en campo de las aguas residuales*

MATERIALES	FOTOGRAFÍA
------------	------------

Jarra de plástico de 1L.





---

**MATERIALES**

---

**FOTOGRAFÍA**

---

Valde de plástico de 15L.



Malla (Tela Tul)



Frasco de Vidrio color ámbar  
de 1L.



Frasco de polietileno de 1L.





---

**MATERIALES**

---

**FOTOGRAFÍA**

---

Frasco de polietileno de 500 ml



Frasco de polietileno de 250ml



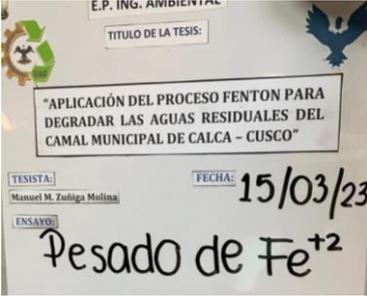
Gel pack refrigerante



Cooler





MATERIALES	FOTOGRAFÍA
Pizarra	

Para el muestreo de aguas residuales del camal municipal de Calca se utilizaron equipos de protección personal (EPPs). A continuación, la Tabla 7 muestra los equipos empleados.

**Tabla 7**

*Equipos de protección personal en campo.*

EQUIPOS	FOTOGRAFÍA
Botas de Jebe	
Mascarilla	
Guantes de Nitrilo	
Guardapolvo	
Gorro de laboratorio	

Así mismo, se utilizaron como instrumento los diferentes formatos, véase Tabla 8.

**Tabla 8**

*Formatos de campo*

<b>FORMATOS DE CAMPO</b>	Registro de datos en campo para la toma de muestra compuesta de volumen fijo
	Bitácora de observación de las operaciones del camal municipal de Calca
	Registro de datos en campo para la medición de parámetro
	Bitácora de observación de la toma de muestra compuesta de volumen fijo



### 3.5.2.1. Instrumentos de Laboratorio

Para el trabajo en laboratorio se utilizaron diferentes equipos e instrumentos en las pruebas experimentales, se muestra a continuación: Véase Tabla 9.

**Tabla 9**

*Equipos empleados en laboratorio*

EQUIPO	APLICACIÓN	FOTOGRAFÍA
<b>pHmetro HANNA HI98103</b>	Determinación del pH de la muestra de agua residual	
<b>Test De Jarras Portal 4 puestos ET 740 Laboratorio Lovibond</b>	Agitación de las muestras	
<b>Micropipeta Dragon Lab 100-1000µl</b>	Dosificación de reactivos.	



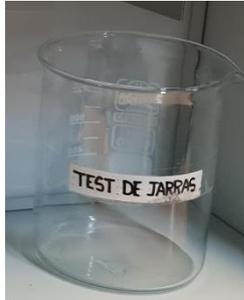
EQUIPO	APLICACIÓN	FOTOGRAFÍA
<b>Balanza Analítica DAKOTA</b>	Pesado del $\text{Fe}^{2+}$	
<b>Refrigeradora Oster</b>	Preservación de las muestras	
<b>Termómetro – higrómetro TA298</b>	Control de temperatura de preservación de las muestras	

De la misma manera, se utilizaron los siguientes materiales, reactivos, equipos de protección personal y formatos:



**Tabla 10**

*Materiales de laboratorio*

<b>MATERIALES</b>	<b>FOTOGRAFÍA</b>
6 vasos precipitados de capacidad de 1000 mL	
Baguetas	
Lunas de Reloj	
Jeringas	
Puntas de pipeta	



---

**MATERIALES**

---

---

**FOTOGRAFÍA**

---

Piseta



Papel Aluminio



Espátula de laboratorio



---

**Tabla 11**

*Reactivos de laboratorio*

---

<b>REACTIVOS</b>	Ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) 95 - 97%
	Hidróxido de Sodio (NaOH) 1Normal.
	Peróxido de Hidrogeno ( $H_2O_2$ ) 30% p/p
	Sulfato Ferroso Heptahidratado ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ )
	Buffer de 4.1 y 7.1

---



**Tabla 12**

*Equipos de protección personal en laboratorio*

<b>EQUIPOS</b>	<b>FOTOGRAFIA</b>
Guardapolvo	
Lentes de seguridad	
Barbijo	
Guantes y gorros de laboratorio desechables.	

**Tabla 13**

*Formatos de laboratorio*

<b>FORMATOS DE LABORATORIO</b>	Ficha de reporte de laboratorio proceso Fenton
	Formato de hoja de cálculo

### 3.6. Validez y Confiabilidad de los Instrumentos

Para la toma de muestras se consideró la metodología descrita en el Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales aprobado mediante Resolución Jefatural N°010-2016-ANA, el cual da validez y confiabilidad al muestreo.

Del mismo modo, los instrumentos utilizados en campo y laboratorio para el desarrollo de la investigación se validaron mediante el llenado de formatos, al mismo tiempo, fueron sometidas a la opinión de expertos y especialistas en laboratorio.



Además, los resultados de la caracterización de las aguas residuales del camal municipal de Calca antes y después de la aplicación del proceso Fenton así como la experimentación, fueron analizados en el Laboratorio Louis Pasteur, que cuenta con el certificado de acreditación (ver el capítulo G. Validación de Instrumentos) emitida por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL), del mismo modo, la metodología empleada por el laboratorio para el análisis de la DQO se encuentra acreditado según el D.S 010-2019-VIVIENDA (Véase capítulo G. Validación de Instrumentos).

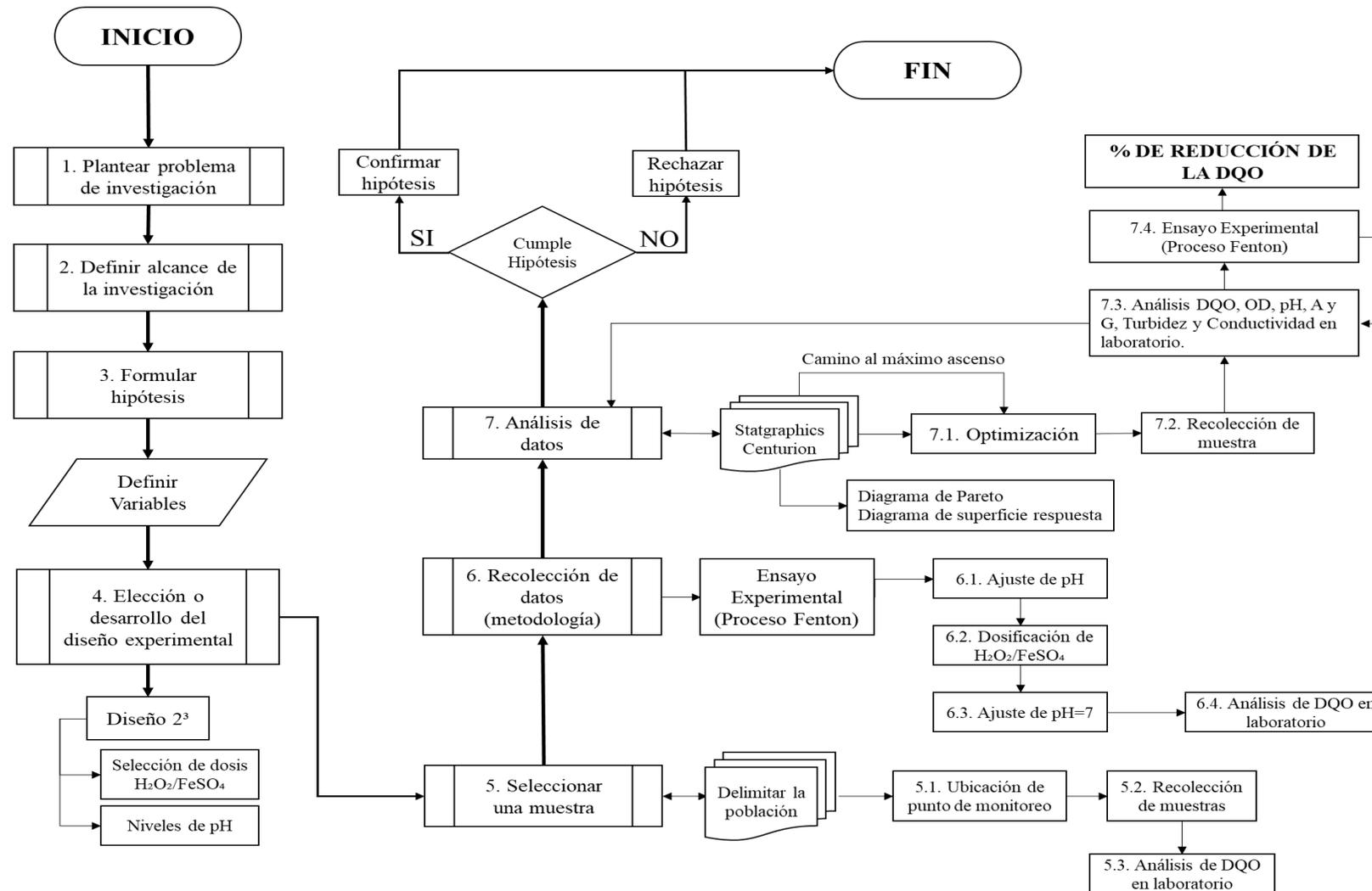
### **3.7. Plan de Análisis de Datos**

En el siguiente diagrama de flujo se detalla los procedimientos llevados a cabo en campo, laboratorio y gabinete para la obtención de resultados. Véase Figura 12.



Figura 12

Diagrama de flujo





### 3.7.1. *Porcentaje de Reducción*

Se calcularon los porcentajes de reducción de la DQO, oxígeno disuelto, turbiedad, conductividad y aceites y grasas, empleando la siguiente fórmula: (Ahmadian et al., 2013).

$$\% \text{ Reducción} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \quad (5)$$

Donde:

$C_0$ : valor inicial del parámetro.

$C_e$ : valor final del parámetro.

Los cálculos realizados para los porcentajes de reducción de la DQO, se realizaron en una plantilla Excel para posteriormente ser exportados al Software STATGRAPHICS.

### 3.7.2. *Software STATGRAPHICS*

Para facilitar el análisis estadístico se empleó el Software STATGRAPHICS Centurión 19 (Free 30-Day Trial Version or Licensed Copy of Statgraphics 19), por medio del programa, se realizó un análisis descriptivo a partir de la obtención de gráficos y tablas.

#### 3.7.2.1. **Diseño Factorial 2<sup>3</sup>**

Se aplicó el diseño de cribado factorial 2<sup>3</sup> con la que se obtuvo una matriz de experimentos, los resultados obtenidos fueron exportados al programa y se generaron gráficos y tablas.

#### 3.7.2.2. **Gráficos y Tablas.**

Procesado la data, se obtuvo del Software STATGRAPHICS los siguientes gráficos, tablas y ecuaciones:

- Análisis de Varianza (ANOVA)
- Ecuación de modelo matemático
- Camino al máximo ascenso
- Diagrama de Pareto
- Superficie de respuesta



- Contornos de superficie
- Prueba de rangos múltiples
- Prueba de normalidad
- Prueba de rangos de Wilcoxon

### **3.7.2.3. Optimización**

Para la optimización se utilizó la herramienta del programa STATGRAPHICS: “Camino al Máximo Ascenso”, el cual muestra varias combinaciones de los factores experimentales, comenzando en el centro de la región experimental, con una respuesta predicha.

## **3.8. Procedimiento Experimental**

Para delimitar las condiciones experimentales y la metodología de experimentación, se hizo una revisión bibliográfica de los antecedentes de la presente tesis.

### **3.8.1. Delimitación de las Condiciones Experimentales**

#### **3.8.1.1. Determinación del Rango de pH**

Los valores de pH de los efluentes de matadero según (Arteaga Cancino, 2020; Delgado Soto, 2019; Medina et al., 2018) oscilan en valores de: 6.8, 6.7 y 7.6; estos efluentes tienen valores cercanos a un pH neutro (7).

Por otra parte, las investigaciones sobre la aplicación del proceso Fenton en aguas residuales de mataderos según (Pacco Illa & Reyes Rojas, 2020; Sharma et al., 2017; Zárata Guzmán et al., 2021) delimitaron su pH en un rango de 2.5 a 4.5.

Así mismo, (García Leiva, 2016) en su investigación para degradación del Xantato mediante proceso Fenton, delimitó su rango de pH en valores de 5 a 9.

Respecto a lo mencionado anteriormente, se determinó evaluar la reducción de la DQO mediante la aplicación del proceso Fenton en un intervalo significativo de pH: 2 - 6 (límite inferior = 2 y límite superior = 6).



### 3.8.1.2. Determinación de las Dosis de $H_2O_2$

La determinación del rango de peróxido de hidrogeno se estableció en función a los antecedentes y bases teóricas de la presente tesis. (Medina et al., 2018) sugieren que la concentración de  $H_2O_2$  debe ser próximo a 1000 mg/L. para tratar este tipo de aguas residuales mediante el proceso Fenton, por lo cual, emplearon en su trabajo de investigación valores de  $H_2O_2$  en un rango de: 800 mg/L. a 1200 mg/L.

Por otro lado, para la presente tesis se realizaron experimentos preliminares fijando el  $H_2O_2$  a 1200 mg/L., para evaluar la eficacia del tratamiento en cuanto a la mejora de color, olor y reducción de la DQO.

Finalmente, obtenidos los resultados de los experimentos preliminares se analizó y se ajustó las concentraciones de  $H_2O_2$  con los siguientes valores: límite inferior = 600 mg/L. y límite superior = 1200 mg/L.

### 3.8.1.3. Determinación de la Dosis de $Fe^{2+}$

Como ya se mencionó en el Capítulo II: Marco Teórico Pag.28, es importante determinar, las concentraciones  $Fe^{2+}$  en función al  $H_2O_2$  para un proceso óptimo en la reducción de la DQO, dicho esto, se delimitó la concentración de iones ferrosos de la siguiente manera:

Se realizaron experimentos preliminares con las siguientes condiciones: se fijó la concentración de  $H_2O_2 = 1200$  mg/L., se variaron las concentraciones del  $Fe^{2+}$  con valores de: 0 mg/L., 551.48 mg/L., 919.13 mg/L. y 1838.26 mg/L. El valor del pH del efluente no fue modificado, así mismo, el tiempo de contacto y sedimentación fue de 30 minutos y 2 horas, respectivamente.

Respecto a los resultados de los experimentos preliminares para las concentraciones de  $Fe^{2+} = 551.48$  mg/L. y 1838.26 mg/L., se obtuvieron reducciones de 86.73% (1005.99 mg/L.) y 91.24% (664.27 mg/L.) de la DQO.



Finalmente, obtenidos los resultados de los experimentos preliminares se analizó y se ajustó las concentraciones de  $Fe^{2+}$  con los siguientes valores: límite inferior = 500 mg/L. y límite superior = 1200 mg/L.

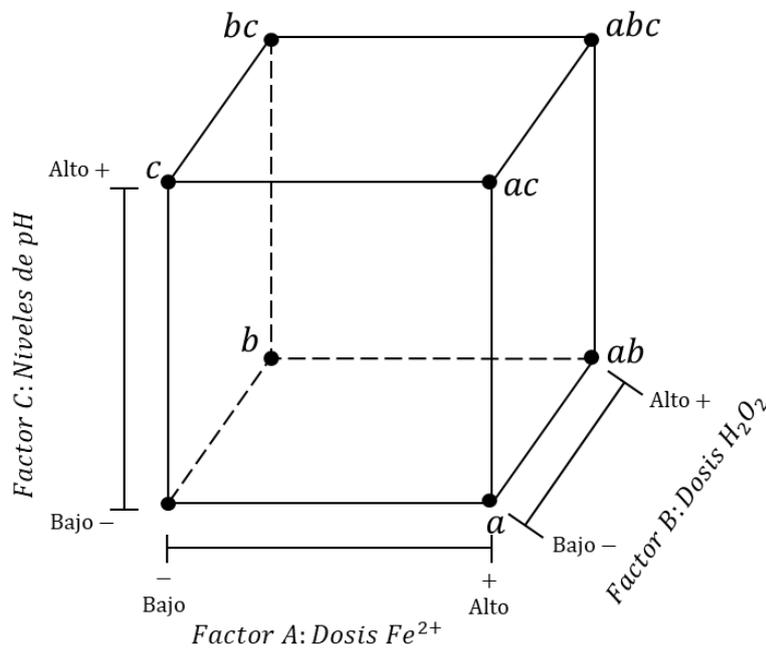
### 3.8.2. Diseño Factorial $2^3$

Se estableció un diseño de cribado factorial  $2^3$ ; con dos niveles: inferior (-) y superior (+); con tres variables independientes llamados también factores:  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$ , como se muestra en la Tabla 14. Las permutaciones de variables independientes generan 8 experimentos, añadiendo tres replicas en el punto central (0) para el análisis de varianza estos corresponden a los experimentos 9,10 y 11; teniendo un total de 11 experimentos.

A continuación, se representa geoméricamente el diseño factorial  $2^3$ .

**Figura 13**

*Representación del diseño factorial  $2^3$*



Nota. Adaptado de *ASSESSMENT OF SOME FACTORS INFLUENCING THE TRAVEL DISTANCE OF BALLOON CAR*, por Abdullah Bagaber & Chin Hwa, 2019.



De igual forma, en la Tabla 14 y 15 se muestran las variables y la matriz de experimentación, correspondientemente.

**Tabla 14**

*Variables independientes, códigos y niveles utilizados en el plan de experimentación*

VARIABLES INDEPENDIENTES	UNIDADES	SÍMBOLOS	CÓDIGO DE NIVELES		
			-	0	+
			Fe <sup>2+</sup>	mg/L.	X <sub>1</sub>
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	mg/L.	X <sub>2</sub>	600	900	1200
pH	-	X <sub>3</sub>	2	4	6
VARIABLE RESPUESTA	DQO (mg/L)				

**Tabla 15**

*Matriz de experimentación para la aplicación del proceso Fenton*

N° DE EXPERIMENTO	SIMBOLOS			PLAN DE EXPERIMENTACIÓN		
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	Fe <sup>2+</sup> (mg/L.)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L.)	pH
1	-	-	-	500	600	2
2	+	-	-	1200	600	2
3	-	+	-	500	1200	2
4	+	+	-	1200	1200	2
5	-	-	+	500	600	6
6	+	-	+	1200	600	6
7	-	+	+	500	1200	6
8	+	+	+	1200	1200	6
9	0	0	0	850	900	4
10	0	0	0	850	900	4
11	0	0	0	850	900	4

### 3.8.3. Toma de Muestra del Efluente para la Caracterización Físicoquímica

Para la toma de muestra se utilizó como referencia el “PROTOCOLO NACIONAL PARA EL MONITOREO DE CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS” aprobado por Resolución Jefatural N°010-2016-ANA.

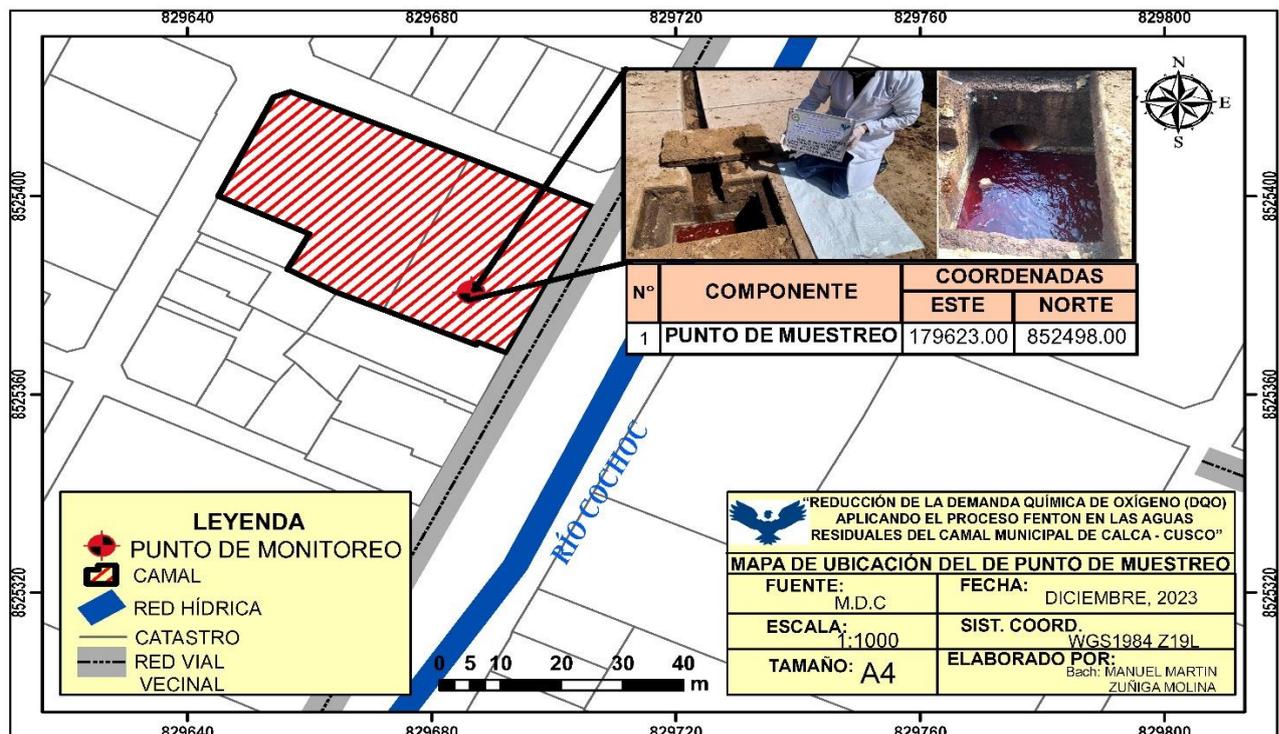
A continuación, se detalla por pasos la toma muestra para su posterior caracterización.

#### 3.8.3.1. Reconocimiento del Área y Ubicación del Punto de Muestreo

Se hizo un reconocimiento y evaluación del punto de descarga del camal municipal de Calca al río Vilcanota, el cual fue descartado para la toma de muestra, puesto que, en su composición contiene los efluentes provenientes de infraestructuras aledañas al camal como: casas, colegios, restaurantes, entre otros; por esta razón se tuvo que reubicar el punto de muestreo dentro de las instalaciones del camal, exactamente en la zona de recepción del ganado en el cual se ubica un canal de drenaje que proviene directamente del faenado, antes de llegar a la red matriz colectora de desagüe como se observa en la Figura 14.

**Figura 14**

*Punto de muestreo. Coordenadas UTM (179623m E, 8525498m N) 19S*



### 3.8.3.2. Selección del Tipo de Muestra y Toma de Muestra

A partir del reconocimiento del área y la ubicación del punto de muestreo, se determinó aplicar una muestra compuesta de volumen fijo, estas se componen mezclando en un mismo recipiente las alícuotas de igual volumen, en ese entender, se tomaron 10 muestras de 1L. con intervalos de 15 min empezando a las 9:00 a.m. y culminando a las 11:15 a.m.; todas en hora de faenado y en el día con más afluencia de ganado vacuno. Se colecto un total de 12 L., debido a que, el “Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los Recursos Hídricos Superficiales”, recomienda exceder el volumen a componer en 20%.

#### Figura 15

##### *Toma de muestra*



La toma de muestra se inicia enjuagando 3 veces la jarra colectora. La muestra recolectada fue previamente filtrada antes de ser vertida al valde colector de la muestra compuesta utilizando una tela “TUL” con la finalidad de separar lo solidos gruesos (restos sólidos del faenado) como se muestra en la Figura 16.

**Figura 16**

*Filtrado de muestra*



#### **3.8.4. Medición de Parámetros en Campo**

Con el multiparámetro HANNA HI 9829 de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, se dio lectura de los siguientes parámetros: temperatura, pH, turbiedad y conductividad, así mismo se llenó el registro de datos en campo para la medición de parámetros N°1 y la cadena de custodia (véase capítulo F. Instrumentos de recolección de datos).

**Figura 17**

*Lectura con el multiparámetro.*





### ***3.8.5. Transporte de Muestras a Laboratorio***

La muestra compuesta para la experimentación, así como, las muestras para analizar en el laboratorio Louis Pasteur, fueron transportadas en cadena de frío.

### ***3.8.6. Toma, Preservación y Almacenamiento de Muestra para Análisis en Laboratorio***

Se analizó la muestra en un laboratorio acreditado con el fin de validar los datos obtenidos con el multiparámetro, además, de analizar los parámetros de laboratorio (DQO, aceites y grasas y oxígeno disuelto), siguiendo los pasos descritos a continuación para cada parámetro:

- **DQO:** De la muestra compuesta se recolectó 250 mL., llenando completamente el frasco de plástico de polietileno, se etiquetó y rotuló debidamente, posteriormente se agregó 5 gotas de preservante de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado (95-97%).



**Figura 18**

*Toma de muestra para análisis de la DQO*



- **Aceites y Grasas (A y G):** De la muestra compuesta se recolectó 1 L. a un frasco de vidrio color ámbar, se etiquetó y rotuló debidamente, posteriormente se agregó 20 gotas de preservante de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado (95-97%).



**Figura 19**

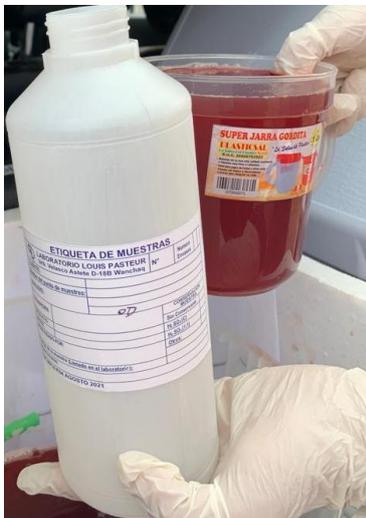
*Toma de muestra para análisis de aceites y grasas (A y G)*



- **Oxígeno Disuelto (O.D):** De la muestra compuesta se recolectó 1 L. a un frasco de plástico de polietileno, se etiquetó y rotuló debidamente.

**Figura 20**

*Toma de muestra para análisis de oxígeno disuelto*



- **Conductividad, Turbidez y pH:** De la muestra compuesta se recolectó 500 mL. a un frasco de plástico de polietileno, se etiquetó y rotuló debidamente.



## Figura 21

*Toma de muestra para análisis de conductividad, turbidez y pH*



### 3.8.7. *Proceso Fenton*

Los 11 experimentos de oxidación mediante el proceso Fenton fueron realizados en un sistema discontinuo o batch a temperatura ambiente ( $T = 17^{\circ}\text{C}$ ).

Los experimentos se llevaron a cabo según las permutaciones de la matriz de experimentación (véase Tabla 15). A continuación, se detalla el procedimiento experimental:

- a) Se midió el pH inicial de la muestra compuesta, la cual fue subdivida en volúmenes de 500 mL, seguidamente, se ajustó el pH de acuerdo con la matriz experimental ( $\text{pH} = 2, 4 \text{ y } 6$ ), para lo cual se utilizó ácido sulfúrico al 95% ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) en un rango de 1 mL. a 1.8 mL. aproximadamente por envase.

Figura 22

Ajuste del pH de acuerdo con el plan experimental



- b) Se pesó el sulfato ferroso heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) para obtener las concentraciones de  $\text{Fe}^{2+}$  requeridas de acuerdo con el diseño factorial (550 mg/L., 850 mg/L. y 1200 mg/L.). Para el cálculo de la concentración de  $\text{Fe}^{2+}$  presente en el  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  se utilizó las siguientes ecuaciones:

$$\frac{p.m(\text{FeSO}_4)}{\text{ppm}(\text{FeSO}_4)} \longrightarrow \frac{p.m(\text{Fe}^{2+})}{x \text{ ppm}(\text{Fe}^{2+})} \Rightarrow x \text{ ppm}(\text{Fe}^{2+}) = \frac{p.m(\text{Fe}^{2+}) \times \text{ppm}(\text{FeSO}_4)}{p.m(\text{FeSO}_4)} \quad (5)$$

$$C_{\text{ppm}} = \frac{\text{masa del soluto (mg)}}{\text{volumen de la disolucion (L)}} \quad (6)$$

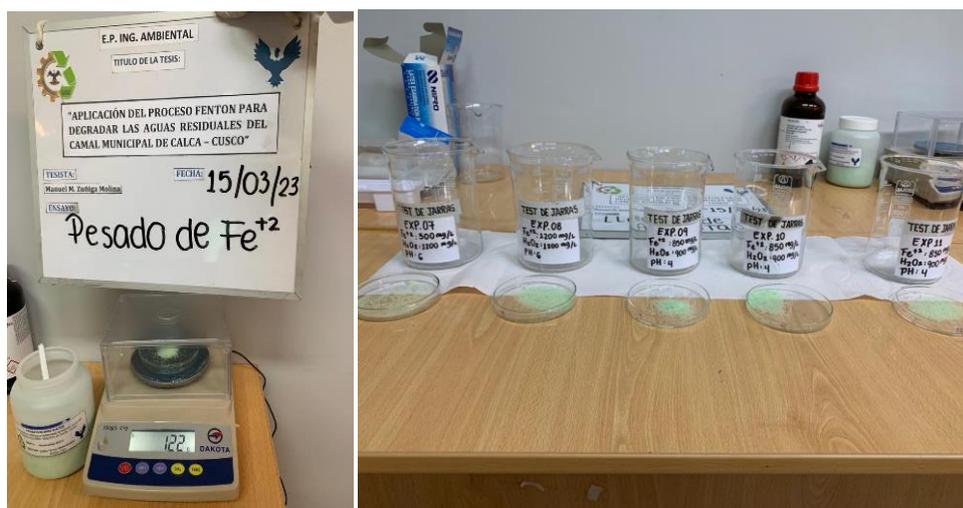
Tabla 16

Cálculo de masa del sulfato ferroso heptahidratado ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) a  $Fe^{2+}$

$Fe^{2+}$	$(FeSO_4 \cdot 7H_2O)$
$\Rightarrow \frac{151.91 \text{ u. m. a } (FeSO_4)}{1360 \text{ mg/L}} \rightarrow \frac{55.85 \text{ u. m. a } (Fe^{2+})}{X} \Rightarrow x = 500 \text{ mg/L}$	
$500 \text{ mg/L} \Rightarrow 500 \text{ mg/L} = \frac{\text{Masa del soluto}}{0.5 \text{ L}} = 0.25 \text{ g}$	
$\Rightarrow \frac{278.02 \text{ u. m. a } (FeSO_4 \cdot 7H_2O)}{X \text{ mg/L}} \rightarrow \frac{55.85 \text{ u. m. a } (Fe^{2+})}{0.25 \text{ g}} \Rightarrow x = 1.24 \text{ g}$	
$\Rightarrow 850 \text{ mg/L} = \frac{\text{Masa del soluto}}{0.5 \text{ L}} = 0.43 \text{ g}$	
$850 \text{ mg/L} \Rightarrow \frac{278.02 \text{ u. m. a } (FeSO_4 \cdot 7H_2O)}{X \text{ mg/L}} \rightarrow \frac{55.85 \text{ u. m. a } (Fe^{2+})}{0.42 \text{ g}} \Rightarrow x = 2.12 \text{ g}$	
$\Rightarrow 1200 \text{ mg/L} = \frac{\text{Masa del soluto}}{0.5 \text{ L}} = 0.60 \text{ g}$	
$1200 \text{ mg/L} \Rightarrow \frac{278.02 \text{ u. m. a } (FeSO_4 \cdot 7H_2O)}{X \text{ mg/L}} \rightarrow \frac{55.85 \text{ u. m. a } (Fe^{2+})}{0.60 \text{ g}} \Rightarrow x = 2.98 \text{ g}$	

Figura 23

Pesado del sulfato ferroso heptahidratado ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ )



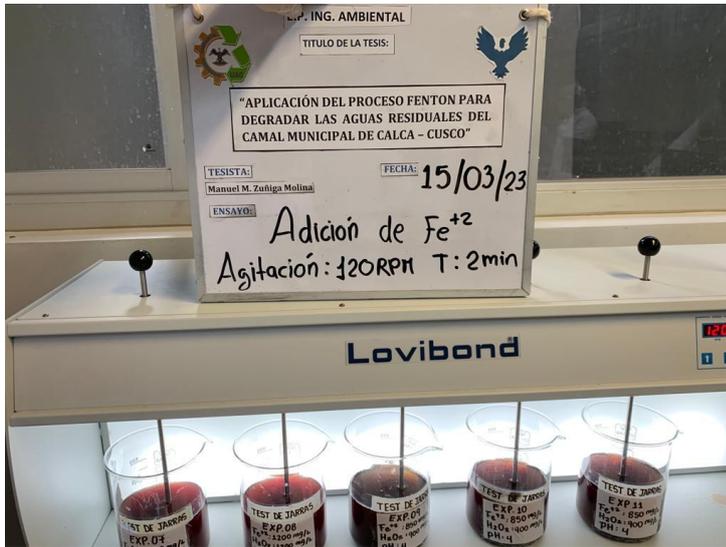
- c) Seguidamente, se acondicionó los vasos precipitados en la prueba de jarras, se añadió el catalizador ( $Fe^{2+}$ ) en forma sulfato ferroso heptahidratado



$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  y se mantuvo en agitación por un lapso de 2 minutos con el fin de homogenizar el medio a una velocidad de 120 RPM.

**Figura 24**

*Homogenización del catalizador*



- d) Homogenizado el catalizador, se hizo el cálculo respectivo del  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30% p/p para las concentraciones de la matriz de experimentos (600 mg/L., 900 mg/L. y 1200 mg/L.) como se muestra a continuación:

**Tabla 17**

*Cálculo del peróxido de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) al 30% p/p a mL*

$\text{H}_2\text{O}_2$ 30% p/p	$\text{H}_2\text{O}_2$ mL
$\Rightarrow \frac{30\% \text{ p/p}}{100} \longrightarrow \frac{600\text{mg/L.}}{X} \Rightarrow x = \frac{100 \times 600}{30}$	
$\Rightarrow X = 2000\text{mg} \times \frac{1\text{mL.}}{1.11\text{g}} \left( \frac{1\text{g}}{1000\text{mg}} \right)$	
600 mg/L	$\Rightarrow X = 1.80\text{mL.}$
$\Rightarrow \frac{1.80\text{mL.}}{X} \longrightarrow \frac{1\text{L.}}{0.5\text{L.}} \Rightarrow x = \frac{1.80 \times 1}{0.5}$	
	$\Rightarrow X = 0.90 \text{ mL.}$



---

$$\Rightarrow X = 3000mg \times \frac{1mL}{1.11g} \left( \frac{1g}{1000mg} \right)$$

$$\Rightarrow X = 2.70 mL.$$

$$900 \text{ mg/L} \Rightarrow \frac{2.70 \text{ mL}}{X} \longrightarrow \frac{1L}{0.5L} \Rightarrow x = \frac{2.70 \times 1}{0.5}$$

$$\Rightarrow X = 1.30 mL.$$

---

$$\Rightarrow X = 4000mg \times \frac{1mL}{1.11g} \left( \frac{1g}{1000mg} \right)$$

$$\Rightarrow X = 3.60mL.$$

$$1200 \text{ mg/L} \Rightarrow \frac{3.60mL}{X} \longrightarrow \frac{1L}{0.5L} \Rightarrow x = \frac{3.60 \times 1}{0.5}$$

$$\Rightarrow X = 1.80 mL.$$

---

- e) Calculados los mililitros de peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ), se añadió a cada unidad experimental considerando desde ese instante como el tiempo “T=0” de reacción, el tiempo de agitación fue de 30 minutos a una velocidad 120 RPM.

**Figura 25**

*Corrida en el equipo test de jarras*



- f) Al término de la prueba de jarras, se midió el pH y se neutralizó a un nivel igual a 7, debido a dos razones: para la posterior sedimentación y para el

cumplimiento con los Valores Máximos Admisibles (VMA de pH: [6 a 9] D.S. N° 010-2019). Se utilizó hidróxido de sodio (NaOH) al 1 N en un rango de 5 a 13 mL.

**Figura 26**

*Neutralización de muestras*



g) Seguidamente, se dejó sedimentar por el tiempo de 2h.

**Figura 27**

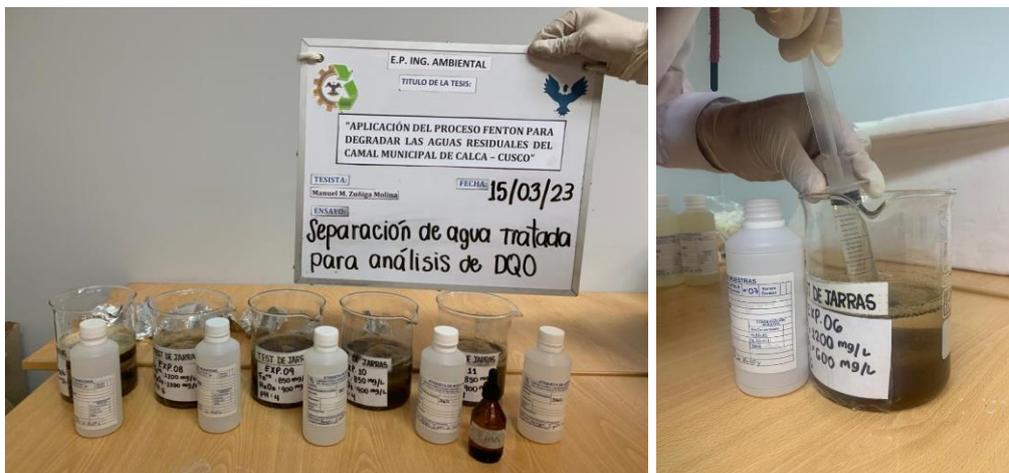
*Sedimentación de muestras tratadas*



h) Finalmente, después de la sedimentación se separó el sobrenadante (véase Figura 28) de los lodos sedimentados para su posterior análisis en laboratorio. Las muestras tratadas fueron llenadas completamente en los frascos otorgados por el laboratorio, se llenó la cadena de custodia y fueron transportadas en cadena de frío para su posterior análisis.

**Figura 28**

*Separación del sobrenadante*



**Figura 29**

*Almacenamiento y transporte de las muestras a laboratorio*





### 3.8.8. *Optimización del Proceso Fenton*

Con los resultados obtenidos de laboratorio de la experimentación del proceso Fenton en la reducción de la DQO, se almacenó en una plantilla Excel para luego ser exportados al Software STATGRAPHICS, mediante la herramienta camino al máximo ascenso, se optimizó para una reducción de la DQO al 98%, con el fin de cumplir con la normativa internacional y nacional descritas en la Tabla 20, ya que se obtuvo valores altos de reducción de la DQO en los experimentos cercanos al valor predicho.

Es así, que se volvió a tomar muestras de aguas residuales del camal municipal de Calca en las mismas condiciones que el primer muestreo, esto debido, a que las aguas residuales de este tipo no pueden ser almacenadas por mucho tiempo porque se lleva a cabo la oxidación natural.

La finalidad de la optimización es comprobar experimentalmente la reducción del 98% en las aguas residuales del camal municipal de Calca.

Dicho esto, se llevaron a cabo 4 experimentos:

- 1 experimento de optimización con 2 repeticiones para evaluar el grado de fiabilidad (experimentos N° 1 y 2).
- 1 experimento adicionando solo hierro ( $\text{Fe}^{+2}$ ), debido a que este tiene propiedades coagulantes, con la finalidad de descartar que el proceso de coagulación tenga mayor injerencia respecto a la oxidación en los experimentos (experimento N° 3).
- 1 experimento en blanco a temperatura ambiente, con el fin de tener data sobre la reducción de la DQO en 24 horas sin aplicar tratamiento (experimento N° 4).

**Tabla 18**

*Experimentos de optimización para la reducción de la DQO.*

N° DE EXPERIMENTO	TIPO DE EXPERIMENTO
1	Optimización-1
2	Optimización-2
3	Coagulación
4	Blanco

Los experimentos de optimización fueron llevados a cabo a temperatura ambiente ( $T = 17^{\circ}\text{C}$ ), así mismo, la prueba de jarras se acondicionó a 120 RPM por 30 minutos, seguidamente, se dejó sedimentar 2 horas, finalmente se separó el sobrenadante de los lodos para ser enviados al laboratorio para el análisis de la DQO.

**Figura 30**

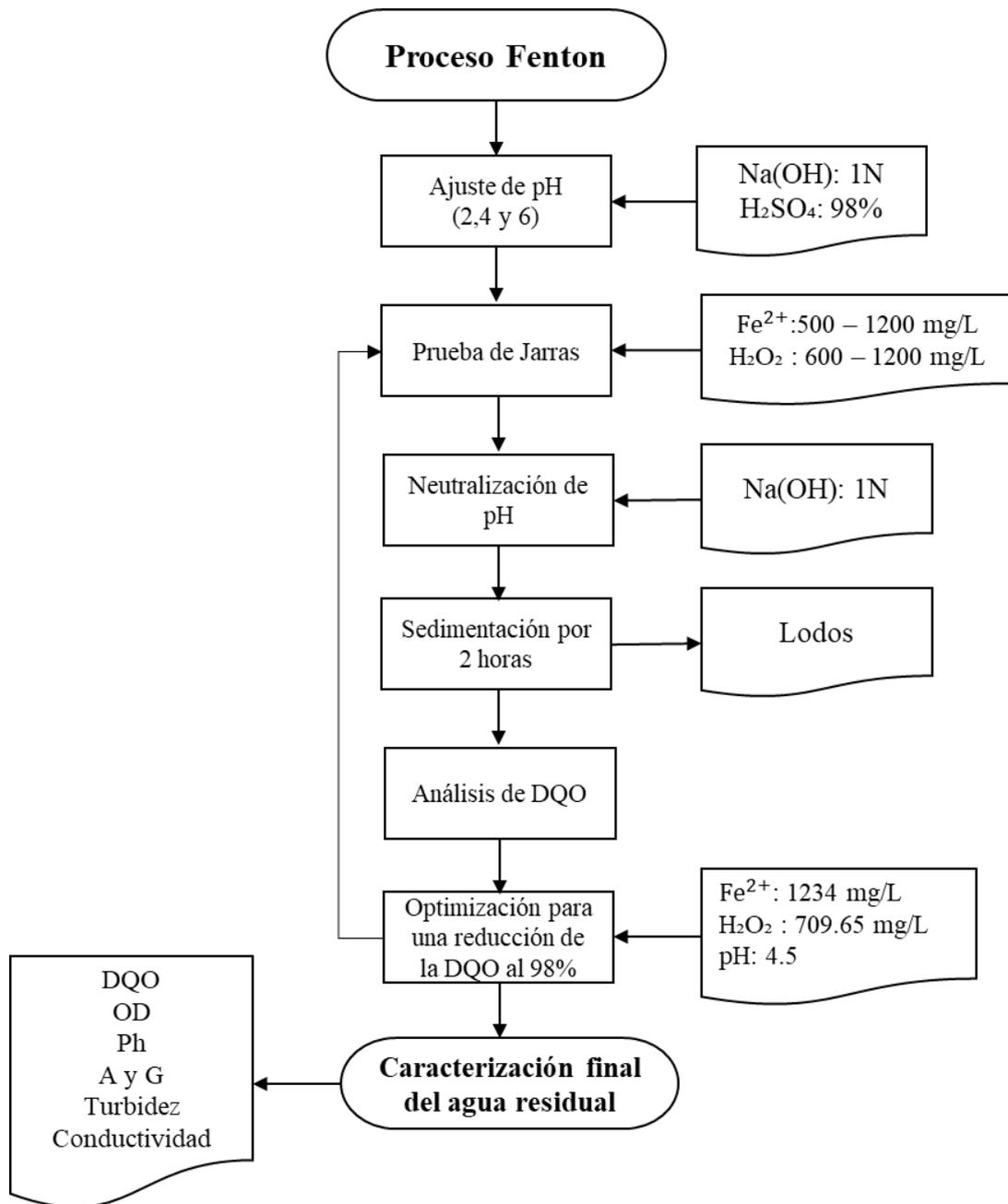
*Test de jarras de los experimentos de optimización*





**Figura 31**

*Diagrama de trabajo experimental en laboratorio*





## CAPITULO IV: RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

### 4.1. Resultados Respecto a los Objetivos Específicos

#### 4.1.1. Objetivo Específico 1

- **Características fisicoquímicas de las aguas residuales del camal municipal de Calca previo a la aplicación del proceso Fenton.**

El muestreo se llevó a cabo en marzo del año 2023, obteniendo los siguientes valores:

**Tabla 19**

*Características fisicoquímicas iniciales de las aguas residuales del camal municipal de Calca*

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALORES
DQO	mg/L.	7402.79
pH	Unidades de pH	7.40
T°	°C	17.80
Conductividad	µs/cm	1036
Turbiedad	NTU	7.55
Aceites y grasas	mg A y G/L.	116
Oxígeno Disuelto	mg/L.	3.37

A continuación, se muestra la Tabla 20 que describe las regulaciones actuales y los límites de vertido de aguas residuales de matadero para una adecuada descarga en el ambiente en diferentes jurisdicciones, se muestra los valores límites para el Grupo del Banco Mundial (Normas de medio ambiente, salud y seguridad para Procesado de la carne); Ministerio del Ambiente de Colombia (RESOLUCIÓN N°631-MINAMBIENTE COLOMBIA - Parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público - Artículo 9 - Ganadería) y los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (DECRETO SUPREMO N.º 010-2019-VIVIENDA) de



Perú, lo que refleja el nivel de contaminación que sufren las aguas del río Vilcanota al ser vertidas sin ningún tipo de tratamiento.

**Tabla 20**

*Normativa nacional e internacionales para el vertido de aguas residuales de mataderos en distintas jurisdicciones*

PARÁMETROS	BANCO MUNDIAL (2007)	COLOMBIA (2015)	PERÚ (2019)
DQO	250 mg/L.	500 mg/L.	1000 mg/L.
pH	6 - 9	6 - 9	6 - 9
T°	< 3 °C	n.a.	< 35 °C
Conductividad	n.a.	n.a.	n.a
Turbiedad	n.a.	n.a.	n.a
Aceites y grasas	10 mg/L.	20 mg/L.	100 mg/L.
Oxígeno Disuelto	n.a.	n.a.	n.a

*Nota.* n.a. = No Analizado

– **Análisis de resultados:**

Los resultados obtenidos en la Tabla 19, se compararon con las normativas nacional e internacionales mostradas en la Tabla 20, en ese entender, el efluente del camal municipal de Calca presenta valores de la DQO que exceden los límites de las normativas, el valor del pH se encuentra dentro del rango aceptable, mientras que, el valor de aceites y grasas supera los límites de las normativas, finalmente, la temperatura se encuentra dentro de los rangos aceptables.

**4.1.2. Objetivo Específico 2**

- **Dosis óptimas del ion ferroso ( $Fe^{2+}$ ) como agente catalizador, peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ) como agente oxidante y el nivel de pH óptimo para la reducción de la DQO en las aguas residuales del camal municipal de Calca.**

Las dosis óptimas del agente catalizador ( $Fe^{2+}$ ) y agente oxidante ( $H_2O_2$ ) así como el nivel pH optimó se calcularon con el software STATGRAPHICS Centurión. Considerando que



se desea maximizar el porcentaje de reducción de la DQO a un valor de 98%, las dosis óptimas que determinó el software fueron:  $\text{Fe}^{2+} = 1234 \text{ mg/L}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2 = 709.65 \text{ mg/L}$ . y  $\text{pH} = 4.5$ , para llegar a dicha optimización.

**Tabla 21**

*Optimización de los factores del proceso Fenton para la reducción de la DQO*

FACTOR	NIVEL INFERIOR	NIVEL SUPERIOR	ÓPTIMO	REDUCCIÓN DE LA DQO
$\text{Fe}^{2+}$ (mg/L.)	500	1200	1234	98%
$\text{H}_2\text{O}_2$ (mg/L.)	600	1200	709.65	
pH	2	6	4.5	

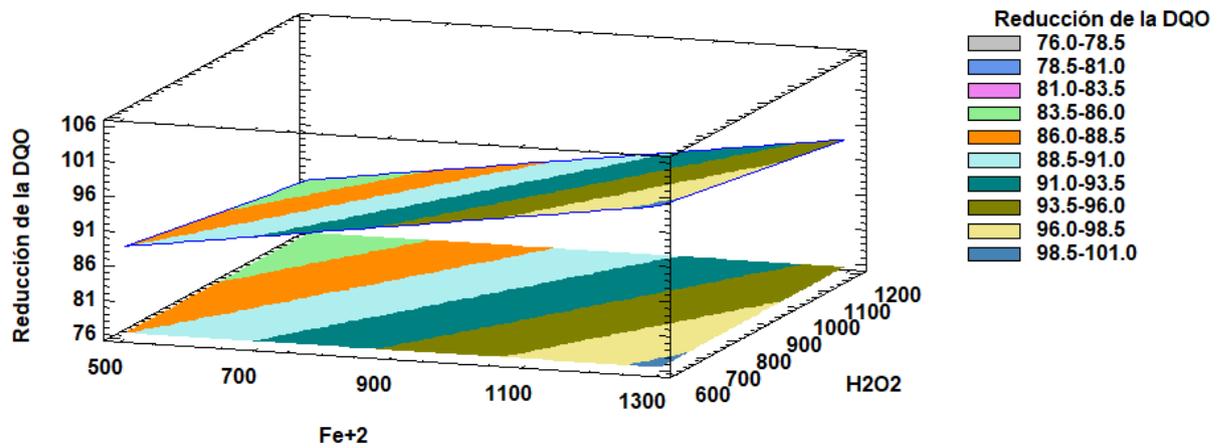
– **Análisis de resultados para el objetivo específico N°2:**

La Figura 32 y 33 de superficie de respuesta y contorno, respectivamente, ilustran notablemente las relaciones entre dos factores que interactúan con la variable “reducción de la DQO”, mientras que el tercer factor se fija o se mantiene constante ( $\text{pH} = 4$ ). Con el pH fijado a nivel intermedio, se observa una mejora considerable en la reducción de la DQO en porcentaje (%) al aumentar la concentración de  $\text{Fe}^{2+}$ , sin embargo, la concentración de  $\text{H}_2\text{O}_2$  no tiene mucha influencia en la reducción de la DQO. Se puede afirmar que esta tendencia es más evidente cuando la concentración de  $\text{Fe}^{2+}$  aumenta, quiere decir, que para porcentajes (%) mayores de reducción de la DQO se tiene que añadir más  $\text{Fe}^{+2}$  (1100 mg/L - 1300mg/L) a comparación de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (700 mg/L - 800 mg/L).



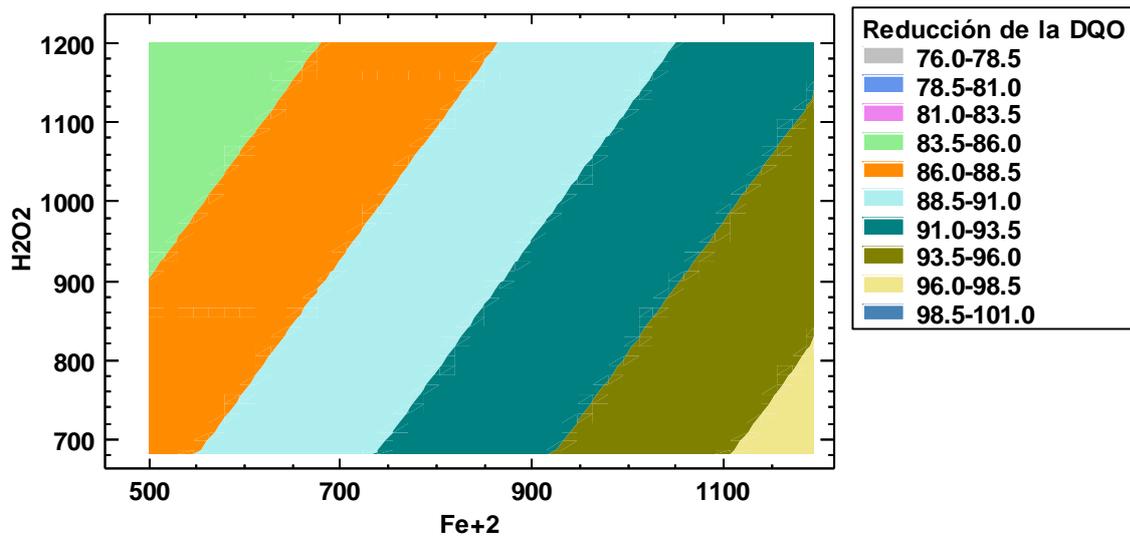
**Figura 32**

*Superficie de respuesta estimada a pH = 4*



**Figura 33**

*Contornos de superficie de la respuesta estimada a pH = 4*



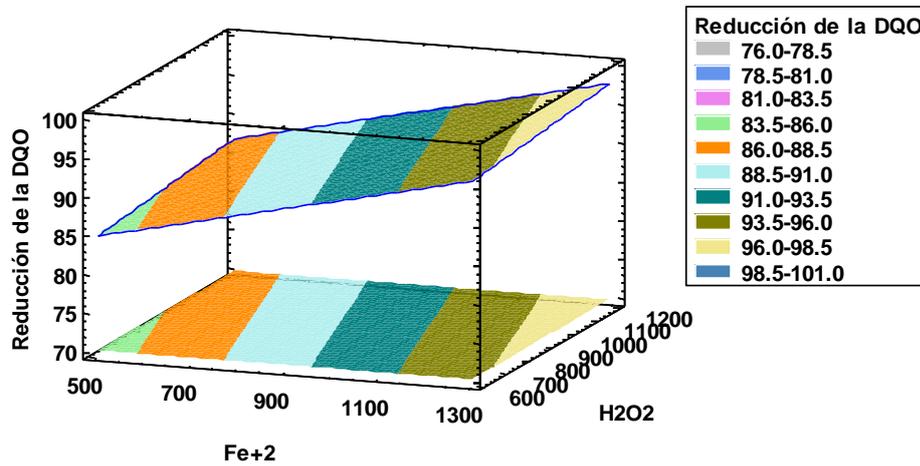
La Figura 34 ilustra el diagrama de superficie de respuesta con el pH fijado a nivel inferior (2), se observa una mejora considerable en la reducción de la DQO, al aumentar la concentración de  $Fe^{+2}$ , sin embargo, la concentración de  $H_2O_2$  no tiene mucha influencia en la reducción de la DQO. Se puede afirmar que esta tendencia es más evidente cuando la concentración de  $Fe^{+2}$  es más alta.

La figura 35 ilustra el diagrama de superficie de respuesta con el pH fijado a nivel superior (6), se observa una mejora de reducción de la DQO al aumentar la concentración de  $\text{Fe}^{2+}$ , sin embargo, la concentración de  $\text{H}_2\text{O}_2$  para llegar a reducciones altas de la DQO tiene que ser inferior a la de  $\text{Fe}^{2+}$ .

En el presente trabajo de tesis el efecto del pH en nivel superior e inferior no tuvo una influencia significativa ya que la tendencia es la misma en ambos niveles según los gráficos de superficie de respuesta obtenidos.

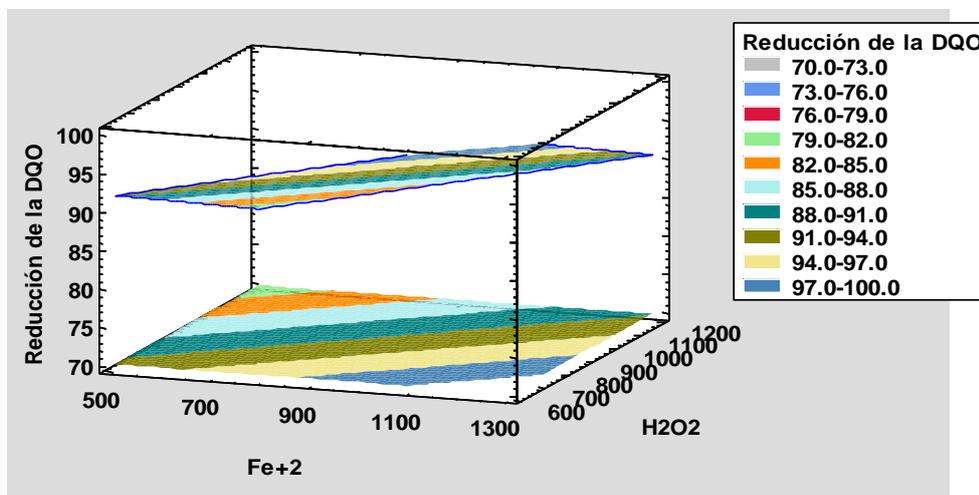
**Figura 34**

*Gráfico de superficie de respuesta estimada para pH=2*



**Figura 35**

*Gráfico de superficie de respuesta estimada para pH=6*





#### 4.1.2.1. Reducción de la DQO en Aguas Residuales a Condiciones Óptimas

##### del Proceso Fenton

Teniendo en cuenta, las dosis óptimas de  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  y nivel pH presentados en el acápite 4.1.2, considerando que se maximizó el porcentaje de reducción de la DQO a un valor del 98%, se contrastaron los valores de las dosis y niveles óptimos para comprobar su eficacia en la reducción de la DQO mediante nuevos experimentos.

Adicional a ello, se realizaron 2 experimentos de coagulación y blanco, por motivos que se explicaron en el acápite 3.8.8. A continuación se presenta los resultados obtenidos.

**Tabla 22**

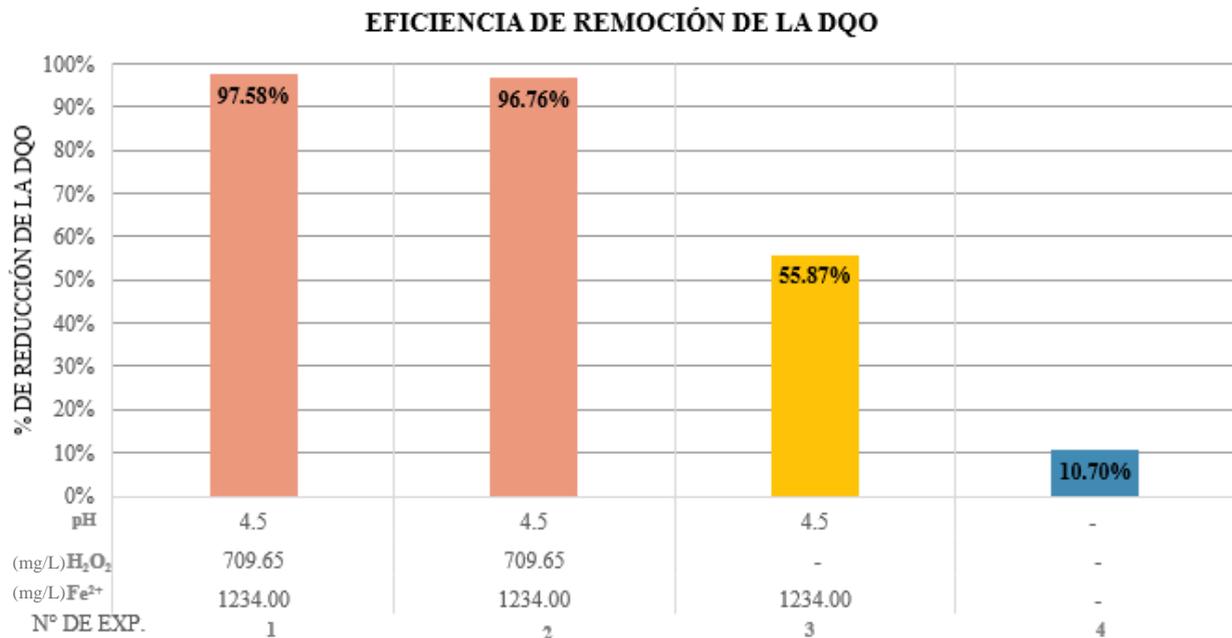
*Condiciones experimentales de optimización*

<b>CORRIDAS EXPERIMENTALES (OPTIMIZACIÓN, COAGULACIÓN Y BLANCO)</b>						
<b>DQO Inicial= 7402.79 mg/L</b>						
<b>N° EXP.</b>	<b>Tipo de experimento</b>	<b><math>\text{Fe}^{2+}</math></b>	<b><math>\text{H}_2\text{O}_2</math> (mg/L)</b>	<b>pH</b>	<b>DQO final</b>	<b>% DE REDUCCIÓN</b>
1	Optimización	1234.00	709.65	4.5	178.84	97.58%
2	Optimización	1234.00	709.65	4.5	239.52	96.76%
3	Coagulación	1234.00	-	4.5	3267.07	55.87%
4	Blanco	-	-	-	6610.78	10.70%

Agitación = 120RPM por 30 min.  
T° ambiente = 17°C  
Sedimentación = 2h

**Figura 36**

*Porcentajes de reducción de la DQO en el experimento optimizado*



*Nota. Las barras de color naranja representan el proceso Fenton optimizado, la barra amarilla representa el proceso neto de coagulación y la barra azul la reducción de la DQO en 24h a temperatura ambiente.*

– **Análisis de resultados de las condiciones óptimas del proceso Fenton**

Para los experimentos N°1 y 2, se obtuvieron reducciones de 97.58 % y 96.76% de la DQO, respectivamente, físicamente se verificó la mejora de color (Véase Tabla 23) y olor, no se tuvo la flotación de lodos y el tiempo de sedimentación fue más rápida, según (Wu et al., 2010), se debe a que el aumento de Fe<sup>2+</sup> tiene un efecto positivo en la operación de sedimentación y en la reducción de la cantidad de lodos producidos durante la reacción.

Para el experimento N°3, se obtuvo una reducción de 55.87% de la DQO, no se observó mejora del color (Véase Tabla 23) ni olor, se descarta que el proceso de coagulación sea el que tenga más injerencia en los experimentos de la reducción de la DQO aplicando el tratamiento Fenton de la presente tesis.



Finalmente, en el experimento N°4, se obtuvo una reducción de la DQO del 10.70% en 24 horas, no se observó mejora de color ni olor. Esta reducción de la DQO se dio por procesos de oxidación naturales, cabe resaltar, que este dato es referencial, ya que podría variar según la composición de estas aguas residuales, así como las condiciones ambientales.

**Tabla 23**

*Muestras después de la aplicación del proceso Fenton optimizado*

NUMERO DE EXP.	REGISTRO FOTOGRÁFICO
EXPERIMENTO N°01	
EXPERIMENTO N°02	
EXPERIMENTO N°03	



#### 4.1.3. *Objetivo específico 3*

- **Características fisicoquímicas de las aguas residuales del camal municipal de Calca después de aplicar el proceso Fenton.**

Una vez optimizado los factores del proceso Fenton ( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$  y pH), se llevó a cabo la aplicación de las condiciones optimizadas mediante la experimentación en laboratorio, seguidamente se analizaron las características fisicoquímicas de las aguas tratadas en el laboratorio Louis Pasteur, los resultados se muestran en la Tabla 24.

**Tabla 24**

*Características fisicoquímica después de la aplicación del proceso Fenton*

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR FINAL
DQO	mg/L.	178.84
Aceites y grasas	mg AyG/L.	3.60
Turbiedad	NTU	5.63
pH	Unidades de pH	2.70
T°	°C	15
Conductividad	$\mu\text{s}/\text{cm}.$	2744
Oxígeno Disuelto	mg/L.	12.88

– **Análisis de resultados:**

Los resultados obtenidos en la Tabla 24, se compararon con las normativas nacional e internacionales mostradas en la Tabla 20 que son discutidas en el acápite 5.3, por otro lado, a pesar del decaimiento del pH a valores ácidos, se neutraliza ( $\text{pH} = 7$ ), con el fin de cumplir específicamente con los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (DECRETO SUPREMO N.º 010-2019-VIVIENDA) y la sedimentación de lodos.



#### 4.2. Resultados respecto al objetivo general

- **Evaluar la reducción de la Demanda Química Oxígeno (DQO) en las aguas residuales del camal municipal de Calca aplicando el proceso Fenton.**

La Tabla 25 muestra los resultados de los análisis de DQO antes y después de la aplicación del proceso Fenton respecto a la matriz experimental, a partir de estos datos se obtuvieron los porcentajes (%) de reducción de la DQO.

**Tabla 25**

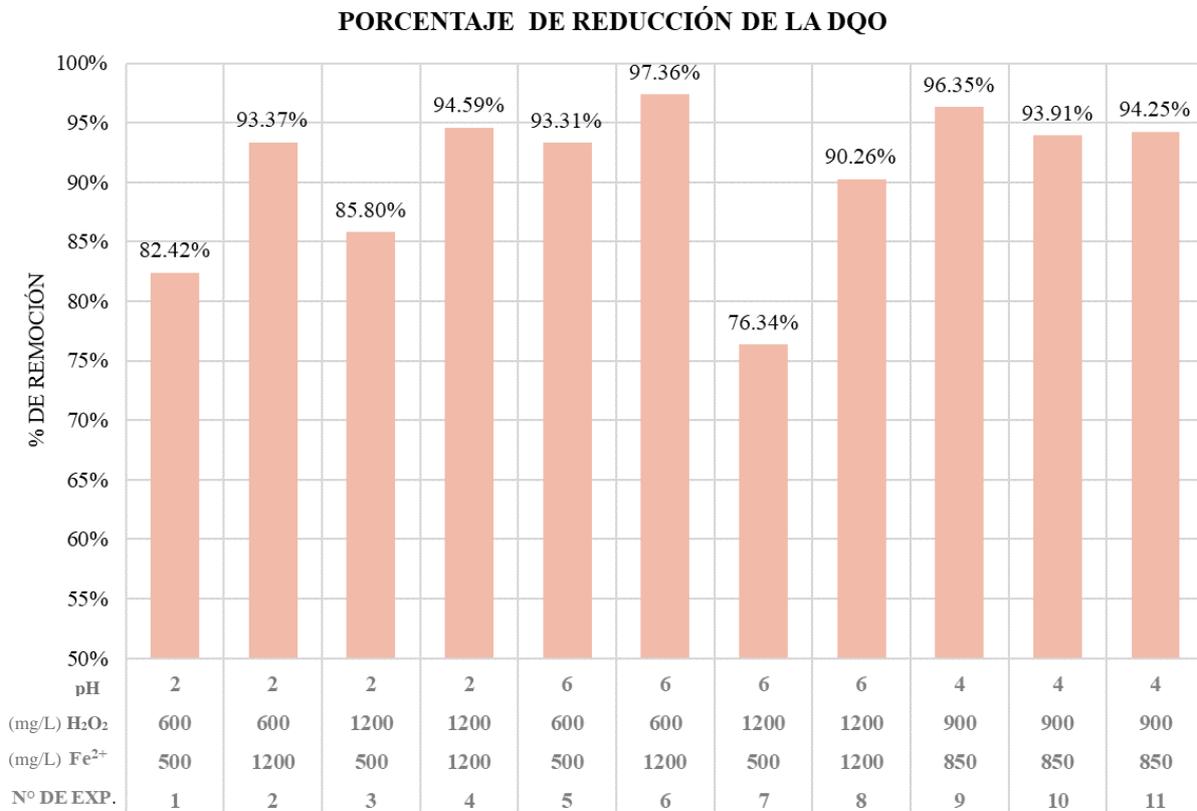
*Corridas experimentales en aguas residuales del camal municipal de Calca de acuerdo al diseño 2<sup>3</sup>*

CORRIDAS EXPERIMENTALES						
DQO Inicial= 4713.94 mg/L						
N° EXP.	Fe <sup>2+</sup> (mg/L.)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L.)	pH	Fe <sup>2+</sup> :H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	DQO final (mg/L.)	% DE REDUCCIÓN
1	500	600	2	1: 1.97	828.69	82.42%
2	1200	600	2	1: 0.82	312.35	93.37%
3	500	1200	2	1: 3.94	669.32	85.80%
4	1200	1200	2	1: 1.64	254.98	94.59%
5	500	600	6	1: 1.97	315.54	93.31%
6	1200	600	6	1: 0.82	124.3	97.36%
7	500	1200	6	1: 3.94	1115.54	76.34%
8	1200	1200	6	1: 1.64	458.96	90.26%
9	850	900	4	1: 1.74	172.11	96.35%
10	850	900	4	1: 1.74	286.85	93.91%
11	850	900	4	1: 1.74	270.92	94.25%
12	SIN TRATAMIENTO (BLANCO)					16.84%



**Figura 37**

*Porcentajes de reducción de la DQO*



– **Análisis de resultados:**

Podemos destacar el valor significativo del experimento N° 6 en comparación a los demás, cuyos parámetros de proceso fueron los siguientes: Fe<sup>2+</sup> =1200 mg/L., H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> = 600 mg/L. y pH =6 logrando un valor de DQO = 124.3 mg/L., correspondiente a un porcentaje de reducción del 97.36 %.

Mientras que, los experimentos N° 3 y 7 obtuvieron resultados deficientes en la reducción de la DQO, cuyos parámetros de proceso fueron iguales en las dosis de Fe<sup>2+</sup> = 500 mg/L. y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> =1200 mg/L., variando el pH = 2 para el experimento N°3 y pH = 6 para el experimento N°7; alcanzando niveles bajos de reducción de la DQO de: 669.32 mg/L. (85.80 %) y 1115.54 mg/L. (76.34 %), respectivamente, esto debido, a que ambos experimentos



presentaron flotación de lodos, según (Wu et al., 2010) el aumento excesivo de  $H_2O_2$  genera una flotación del lodo de hierro causada por la auto descomposición del exceso de  $H_2O_2$  en  $O_2$ .

A continuación, se muestran los registros fotográficos de cada experimento.

**Tabla 26**

*Registro fotográfico de las muestras después de la aplicación del proceso Fenton*

NUMERO DE EXP.	REGISTRO FOTOGRÁFICO
EXPERIMENTO N°01	
EXPERIMENTO N°02	
EXPERIMENTO N°03	



NUMERO DE EXP.

REGISTRO FOTOGRAFICO

EXPERIMENTO N°04



EXPERIMENTO N°05



EXPERIMENTO N°06



EXPERIMENTO N°07





---

NUMERO DE EXP.

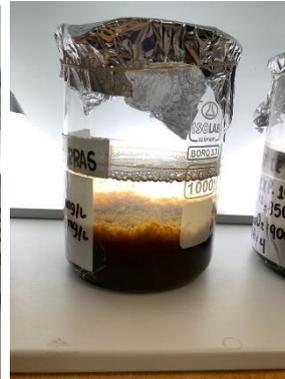
REGISTRO FOTOGRÁFICO

---

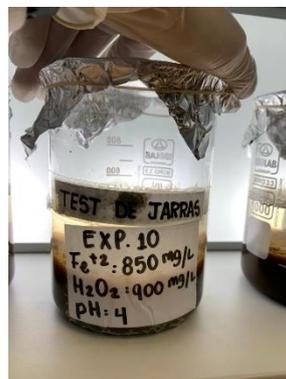
EXPERIMENTO N°08



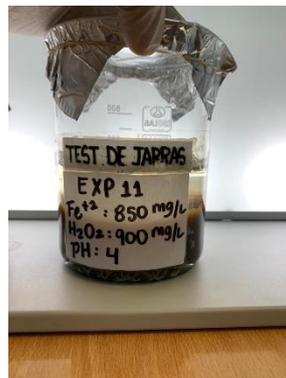
EXPERIMENTO N°09



EXPERIMENTO N°10



EXPERIMENTO N°11





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

- Análisis de la varianza (ANOVA) para el porcentaje de reducción de la DQO en aguas residuales del camal municipal de Calca mediante el proceso Fenton.

Procesado los datos mediante el software estadístico STATGRAPHICS Centurión se aplicó una estadísticas descriptiva e inferencial obteniendo las siguientes tablas y gráficas:

**Tabla 27**

*Análisis de varianza para reducción de la DQO*

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GL	CUADRADO MEDIO	RAZÓN-F	VALOR-P
A: Fe <sup>2+</sup>	177.756	1	177.756	101.78	0.0097
B: H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	47.3851	1	47.3851	27.13	0.0349
C: pH	0.148512	1	0.148512	0.09	0.7981
AB	7.43051	1	7.43051	4.25	0.1752
AC	0.391613	1	0.391613	0.22	0.6825
BC	102.746	1	102.746	58.83	0.0166
Falta de ajuste	87.8728	2	43.9364	25.16	0.0382
Error puro	3.49307	2	1.74653		
Total (corr.)	427.223	10			

R-cuadrada = 78.614 por ciento

R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 46.5351 por ciento

Error estándar del est. = 1.32156

Error absoluto medio = 2.24347

Estadístico Durbin-Watson = 0.912668 (P=0.0652)

Autocorrelación residual de Lag 1 = 0.424835

La Tabla 27 (ANOVA) nos muestra 3 efectos que tienen un valor-P (se calcula mediante el valor F que resulta más fácil interpretar) menor que 0.05, indicando que son significativamente diferentes de cero con un nivel de confianza del 95.0%, quiere decir que 3 factores (A = Fe<sup>2+</sup>, B = H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y BC = H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/pH) son estadísticamente significativos en la reducción de la DQO.

Para la presente investigación el estadístico R<sup>2</sup> (coeficiente de determinación) es 78%, según (Hernández Sampieri et al., 2014; Ñaupas et al., 2018) valores de R<sup>2</sup> > a 70% indican



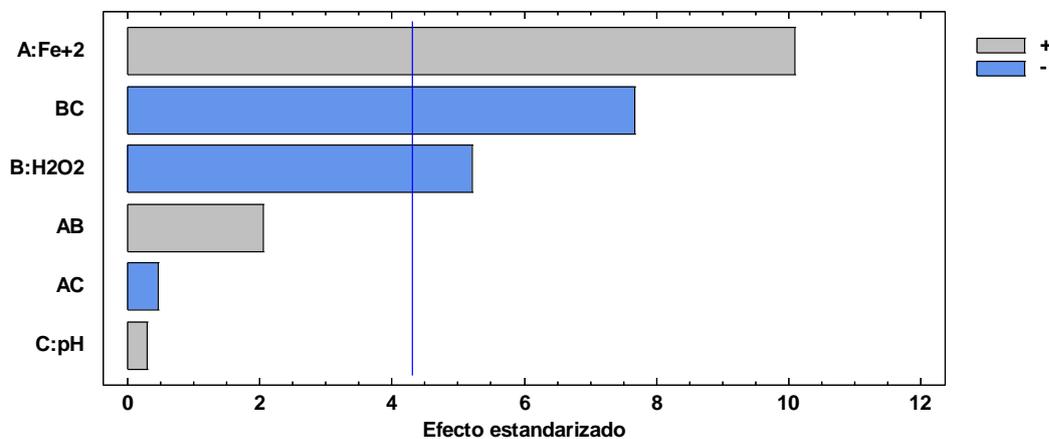
que el modelo se ajusta a los resultados de la investigación, es así que, para la presente investigación el modelo se ajusta con un nivel de confianza de 78%.

El estadístico de Durbin-Watson (DW) prueba los residuos para determinar si hay alguna correlación significativa en los resultados, en la presente investigación el estadístico es próximo a 1, quiere decir que no hay una buena correlación.

#### 4.2.1.1. Diagrama de Pareto estandarizado para la reducción de la DQO

Figura 38

Diagrama de Pareto para la reducción de la DQO



La Figura 38 nos muestra el diagrama de Pareto que sirve para analizar y comparar los efectos de cada factor independiente y sus interacciones en el experimento.

Se aprecia una línea de referencia color azul trazada verticalmente, los factores que sobrepasen esta línea de referencia son efectos estadísticamente significativos, los efectos de color gris son efectos positivos a comparación del azul que son efectos negativos.

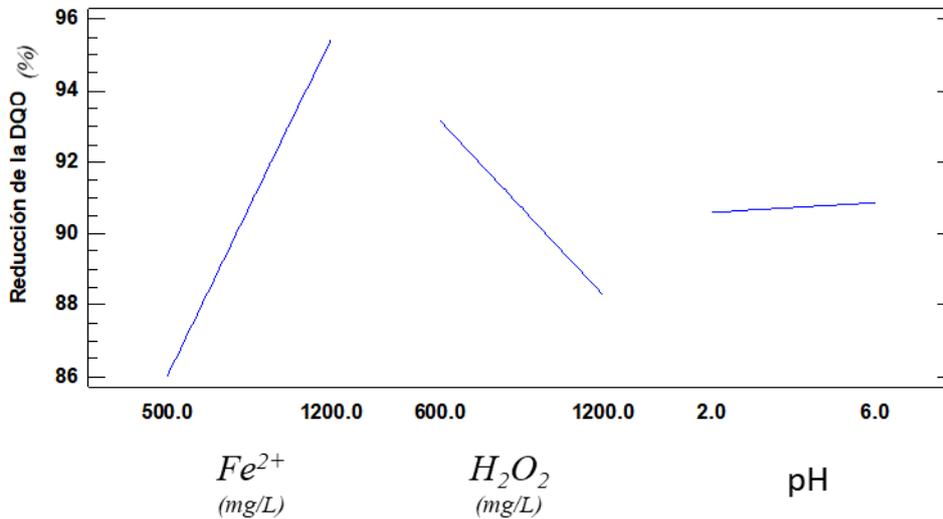
También podemos observar que, el  $\text{Fe}^{+2}$  tiene una influencia positiva, quiere decir que, si añadimos más  $\text{Fe}^{+2}$  tendremos más reducción de la DQO. Lo contrario pasa con el  $\text{H}_2\text{O}_2$  y la combinación de BC ( $\text{H}_2\text{O}_2$  y pH) que tienen una influencia negativa, quiere decir que, si añadimos más  $\text{H}_2\text{O}_2$  y aumentamos el pH, disminuirá el porcentaje (%) de reducción de la DQO.



#### 4.2.1.2. Gráfica de Efectos Principales para la Reducción de la DQO

Figura 39

Efectos principales para la reducción de la DQO



Así mismo, de la Figura 39, se hace el siguiente análisis:

El factor hierro ( $Fe^{2+}$ ) presenta una pendiente positiva pronunciada, quiere decir que, si añadimos mayor dosis de  $Fe^{2+}$  habrá un mayor porcentaje (%) de reducción de la DQO, por lo tanto, los resultados del modelo lineal indican que este efecto principal es el más significativo.

Lo contrario para el factor peróxido de hidrogeno ( $H_2O_2$ ), que presenta una pendiente negativa significativa, es decir, al incrementar la dosis de  $H_2O_2$  disminuye el porcentaje (%) de reducción de la DQO.

Mientras que, el factor pH presenta una línea horizontal paralela al eje X, lo que significa que no es un efecto principal, ya que la media de la respuesta es igual en nivel inferior (2) y nivel superior (6).

#### 4.2.2. Prueba de Rangos Múltiples

- Contraste Múltiple de Rangos para el porcentaje de reducción de la DQO por efecto del pH en aguas residuales del camal municipal de Calca



**Tabla 28**

*Prueba de rangos múltiples para la reducción de la DQO por el pH*

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-f	Valor-p
Efectos principales					
A: pH	69.9312	2	34.9656	0.78	0.4892
Residuos	357.292	8	44.6615		
Total (corregido)	427.223	10			

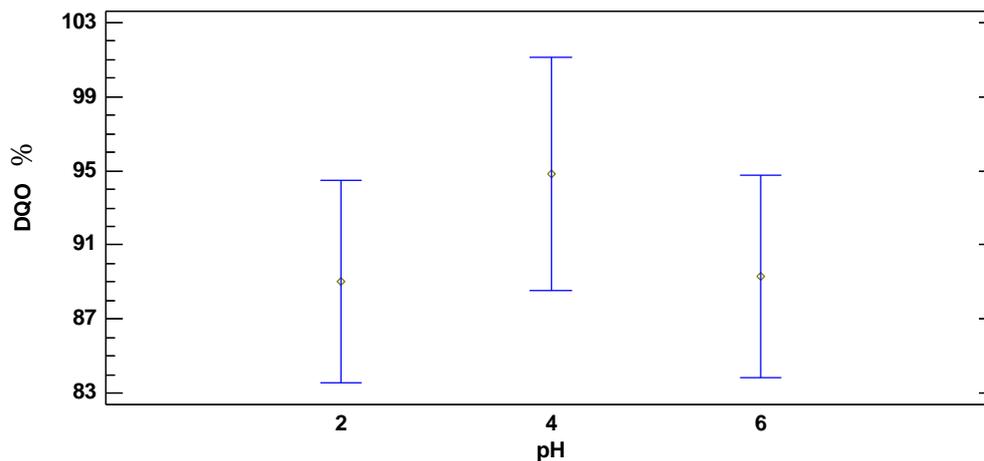
PRUEBA DE RANGOS MÚLTIPLES PARA LA REDUCCIÓN DE LA DQO POR EL pH				
pH	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos
2	4	89.045	3.34146	X
6	4	89.3175	3.34146	X
4	3	94.8367	3.85839	X

Contraste	Diferencias	Limites
2 - 4	-5.79167	11.7703
2 - 6	-0.2725	10.8971
4 - 6	5.51917	11.7703

**Figura 40**

*Medias y 95 % de confianza de Fisher LSD para la reducción de DQO por el pH*



En la Figura 40 y Tabla 28 se muestran la comparación de rangos múltiples para determinar cuál de las medias de los grupos de pH (2,4 y 6) son significativamente diferentes de otras, así mismo, en la columna “Media LS” se observa las medias estimadas para cada



grupo y los valores son relativamente próximos, entonces, se afirma que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los grupos respecto a la reducción de la DQO, con un nivel de confianza del 95 %, por ende, se presentan como grupos homogéneos.

- Contraste Múltiple de Rangos para el porcentaje de reducción de la DQO por  $Fe^{2+}$  en aguas residuales del camal municipal de Calca

**Tabla 29**

*Prueba de rangos múltiples para la reducción de la DQO por el  $Fe^{2+}$*

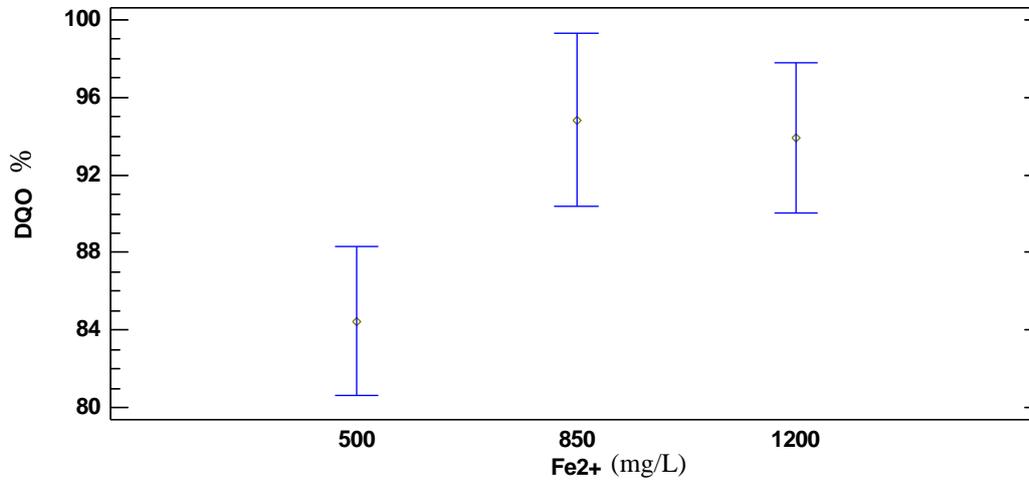
<b>ANÁLISIS DE VARIANZA</b>					
<b>Fuente</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Gl</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>Razón-f</b>	<b>Valor-p</b>
Efectos principales					
A: $Fe^{2+}$	247.538	2	123.769	5.51	0.0313
Residuos	179.685	8	22.4606		
Total	427.223	10			
(corregido)					
<b>PRUEBA DE RANGOS MÚLTIPLES PARA LA REDUCCIÓN DE LA DQO POR EL pH</b>					
<b><math>Fe^{2+}</math></b>	<b>Casos</b>	<b>Media LS</b>	<b>Sigma LS</b>	<b>Grupos Homogéneos</b>	
500	4	84.4675	2.36963	X	
1200	4	93.895	2.36963		X
850	3	94.8367	2.73622		X
<b>Contraste</b>	<b>Sig.</b>	<b>Diferencias</b>		<b>Limites</b>	
500 - 850	*	-10.3692		8.347	
500 - 1200	*	-9.4275		7.72782	
850 - 1200		0.941667		8.347	

*Nota. (\*) indica una diferencia significativa*



**Figura 41**

*Medias y 95 % de confianza de Fisher LSD para la reducción de DQO por el  $Fe^{2+}$*



Lo contrario en la Figura 41 y Tabla 29, las medias estimadas para cada grupo de  $Fe^{2+}$  (500 mg/L., 850 mg/L. y 1200 mg/L.), presentan valores con una diferencia estadísticamente significativa. Se observa que para las concentraciones de 500 mg/L. - 850 mg/L. al igual que las concentraciones 500 mg/L. - 1200 mg/L., tuvieron una diferencia de medias estadísticamente significativas con un nivel de confianza del 95 %, lo que quiere decir que a menor concentración de  $Fe^{2+}$  (500 mg/L.) tal y como se muestra en la Figura 41 se tendrá bajas reducciones de la DQO comparado con las concentraciones de 850 mg/L. y 1200 mg/L., así también, las concentraciones de 850 mg/L. - 1200 mg/L., se presentan como grupos homogéneos quiere decir que no presentan diferencias estadísticamente significativas en la reducción de la DQO.

- Contraste Múltiple de Rangos para el porcentaje de reducción de la DQO por  $H_2O_2$  en aguas residuales del camal municipal de Calca



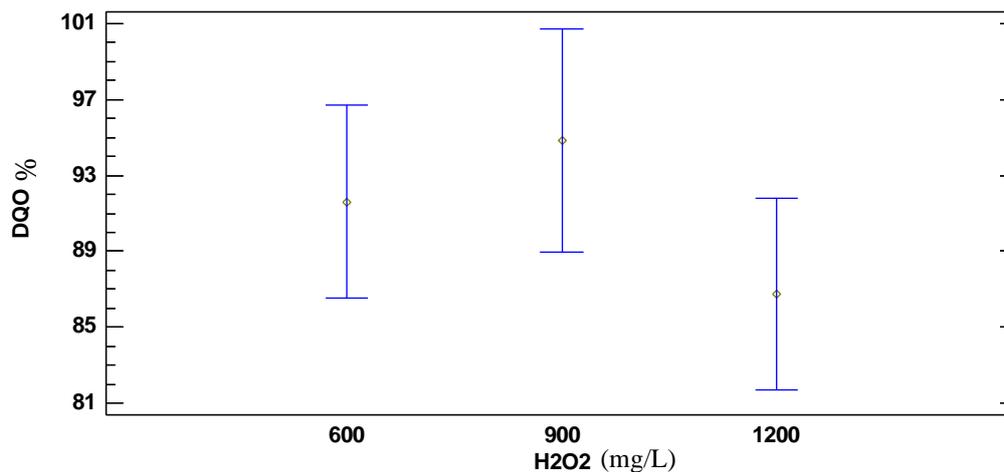
**Tabla 30**

*Prueba de rangos múltiples para la reducción de la DQO por el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*

ANÁLISIS DE VARIANZA					
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Razón-f	Valor-p
Efectos principales					
A:H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	117.168	2	58.5839	1.51	0.2774
Residuos	310.055	8	38.7569		
Total	427.223	10			
(corregido)					
PRUEBA DE RANGOS MÚLTIPLES PARA LA REDUCCIÓN DE LA DQO POR EL pH					
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Casos	Media LS	Sigma LS	Grupos Homogéneos	
1200	4	86.7475	3.11275	X	
600	4	91.615	3.11275	X	
900	3	94.8367	3.5943	X	
Contraste		Diferencias		Límites	
600 - 900		-3.22167		10.9646	
600 - 1200		4.8675		10.1513	
900 - 1200		8.08917		10.9646	

**Figura 42**

*Medias y 95 % de confianza de Fisher LSD para la reducción de DQO por el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>*



En la Figura 42 y Tabla 30 se muestran la comparación de rangos múltiples para determinar cuál de las medias de los grupos de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (600 mg/L., 900 mg/L. y 1200 mg/L.) son



significativamente diferentes de otras, así mismo, en la columna “Media LS” se observa las medias estimadas para cada grupo y los valores son relativamente próximos, entonces, se afirma que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los concentraciones de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> respecto a la reducción de la DQO, con un nivel de confianza del 95 %, por ende, se presentan como grupos homogéneos.

#### 4.2.3. Prueba de Hipótesis

Para contrastar la hipótesis primeramente se realizó la prueba de normalidad de Shapiro Wilks ( $n < 50$ ), con la finalidad de aplicar una estadística paramétrica o no paramétrica.

##### 4.2.3.1. Prueba de Normalidad de Shapiro Wilk

Se utilizó el software STATGRAPHICS Centurión para realizar la prueba de normalidad de Shapiro Wilk.

**Tabla 31**

*Prueba de normalidad para la DQO*

PRUEBA	ESTADÍSTICO	VALOR-P
Estadístico W de Shapiro-Wilk	0.844049	0.0365933

Según la prueba de normalidad de Shapiro Wilks evaluado para la DQO, se encontró que los datos de estudio no presentan distribución de normalidad, debido a que el Valor – P obtenido =  $0.04 < P = 0.05$ , por ende, se rechaza la idea de que la DQO proviene de una distribución normal con 95% de confianza.

**Tabla 32**

*Resumen estadístico para la reducción de la DQO*

EXPERIMENTO	N° EXP	MINIMO	MEDIA MUESTRAL	MAXIMO	MEDIA	DESVIACION ESTANDAR	DESVIACION ESTANDAR PUNTOS CENTRALES
Fenton	11	76.34 %	93.37%	97.36 %	90.72 %	6.5	0.013



En la Tabla 32 se puede observar que, se tienen 11 muestras cuya reducción máxima y mínima del porcentaje de reducción de la DQO corresponde al 97.36% y 76.34% respectivamente, con una desviación estándar de  $\pm 6.5$ , así mismo la desviación estándar de los puntos centrales es 0.013 este valor nos indica que la variabilidad es baja por lo tanto les da fiabilidad a los resultados obtenidos del experimento, no se puede afirmar si la diferencia de media es estadísticamente significativa. Por lo que, la prueba más adecuada para contrastar la hipótesis es la estadística no paramétrica de Rangos de Wilcoxon.

#### 4.2.3.2. Prueba de Rangos de Wilcoxon

La prueba compara la media de dos grupos dependientes antes y después, con la finalidad de contrastar si existe una diferencia significativa.

**Tabla 33**

*Prueba de rangos con signo de Wilcoxon*

EXPERIMENTO	N	MEDIA MUESTRAL	MEDIANA	RANGOS DE WILCOXON	
				Z	SIG. (BILATERAL)
DQO inicial	15	4713.94	4713.94	-2.934	0.003
DQO final	15	437.23	312.35		

Según la Tabla 33, el promedio de la DQO antes de aplicar el proceso fue de 4713.94 mg/L después del proceso con Fenton el promedio es de 437.23, al comparar las medidas del proceso Fenton antes y después mediante la prueba no paramétrica de Rangos de Wilcoxon se obtuvo una Sig. Bilateral (P) = 0.003.

Donde:

Si  $P < 0.05$ , se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_1$

Si  $P \geq 0.05$ , se acepta la  $H_0$  y se rechaza la  $H_1$

Entonces:



**H<sub>0</sub>:** Las aguas residuales del camal municipal de Calca no presentan una reducción significativa de la DQO aplicando el proceso Fenton

**H<sub>i</sub>:** Las aguas residuales del camal municipal de Calca presentan una reducción significativa de la DQO aplicando el proceso Fenton

Se acepta la hipótesis del investigador (H<sub>i</sub>) debido a que  $P = 0.003 < 0.05$ , entonces existen diferencias estadísticamente significativas en las medidas de DQO aplicando el proceso Fenton, por lo tanto, podemos afirmar que las aguas residuales tratadas mediante el proceso Fenton presenta una influencia alta en la reducción de la DQO.



## CAPITULO V: DISCUSIÓN

### 5.1. Descripción de los Hallazgos Más Relevantes y Significativos

#### 5.1.1. Hallazgo 1

El hallazgo más importante para esta investigación corresponde a los resultados alcanzados en el experimento N° 6 de la Tabla 25, obteniendo la mayor reducción de la DQO del 97.36% a condiciones de:  $\text{Fe}^{2+} = 1200 \text{ mg/L.}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2 = 600 \text{ mg/L.}$  y un nivel de  $\text{pH} = 6$ , llama la atención este hallazgo, debido a que, autores como (Medina et al., 2018; Páramo Vargas, 2015; Sharma et al., 2017) entre otros, indican que una mayor reducción de la DQO se da  $\text{pH}$  que oscilan entre 2.5 a 3.5.

#### 5.1.2. Hallazgo 2

En la etapa de experimentación, se tomaron datos de  $\text{pH}$  antes y después del tratamiento Fenton, los cuales fueron registrados en la ficha de reporte de laboratorio N° 1 (ver capítulo G.), es así como, se pudo evidenciar, que los niveles de  $\text{pH}$ , después de la reacción presentaron una variación con respecto a su  $\text{pH}$  inicial (2, 4 y 6), en rangos que oscilan entre 2.7 a 3.7. Como señala (Pignatello, 1992) puede atribuirse a la formación de complejos estables que inhiben la reactividad del  $\text{Fe}^{2+}$  frente al peróxido de hidrógeno o a la liberación de protones por hidrólisis del producto  $\text{Fe}^{3+}$ .

Entonces, para un control adecuado del  $\text{pH}$  debe tenerse en cuenta el tipo de solución tampón utilizada en el agua residual, debido a que, esta se acidifica inmediatamente al añadir los reactivos específicamente el  $\text{H}_2\text{O}_2$ , por lo tanto, en ambos casos de utilizar soluciones tampón o no, es necesaria una neutralización posterior al tratamiento. No obstante, al usar las soluciones tampón aumentarían los costes operativos.

Teniendo en cuenta este hallazgo, según la ficha de reporte de laboratorio N°1 para el experimento N° 6 de la tabla 26 el cual obtuvo la máxima reducción de la DQO, tuvo un  $\text{pH}$  final después terminar el proceso igual a 3, partiendo de una  $\text{pH}$  inicial igual a 6, este descenso



puede deberse a la adición de los reactivos del proceso Fenton y a la falta de utilizar una solución amortiguadora, por lo cual se debe investigar más detalladamente esta variación de pH.

### **5.1.3. Hallazgo 3**

De igual forma, la determinación del factor más significativo estadísticamente fue el hierro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) en el tratamiento del efluente de camal municipal de Calca aplicando el proceso Fenton, llama la atención, ya que usualmente el factor más significativo en este tipo de procesos es el pH.

### **5.1.4. Hallazgo 4**

En las visitas de campo realizadas al camal municipal de Calca específicamente al punto de muestreo, la coloración del efluente variaba en las siguientes tonalidades:

- Coloración roja constituidos principalmente por sangre proveniente de la operación de sangrado, izado y lavado de la carne.
- Coloración verde formados por contenido estomacal, pelos, orina, estiércol, etc. correspondiente a la operación de eviscerado.

### **5.1.5. Hallazgo 5**

En los experimentos N°3 y 7 de la Tabla 25, el tiempo de sedimentación fue más lenta y generó la flotación de lodos, esto se debe a que no hay una concentración de  $\text{Fe}^{2+}$  eficiente, ya que este acelera el proceso de sedimentación, así mismo, (Medina et al., 2018) indica que la flotación de lodos se debe a dosis altas de peróxido de hidrógeno.

## **5.2. Limitaciones del Estudio**

Para el desarrollo de la tesis, se presentaron diversas limitaciones, que retrasaron el desarrollo normal de las actividades programadas, se exponen a continuación:

- La carencia de reactivos de laboratorio conllevó a buscar la adquisición de los reactivos, es por ello que, se tuvo que recurrir a laboratorios que se encuentran



fuera de la provincia del Cusco, el cual demoró la adquisición y por ende el proceso de experimentación.

- La falta de calibración del multiparámetro de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, así como la carencia de equipos para análisis de la DQO, fueron una limitante, por ende, se tuvo que considerar laboratorios privados.
- No se pudo evaluar más parámetros fisicoquímicos inclusive biológicos o considerar la DBO como segunda variable de respuesta, debido a la falta de equipos de ensayo y análisis, por parte de la Universidad mediante la escuela profesional de Ingeniería Ambiental. Lo que supone un alto costo de análisis de laboratorio a considerar.

### **5.3. Comparación Crítica con la Literatura Existente**

#### **1. Comparación de las Características Fisicoquímicas de las aguas residuales de mataderos**

Los resultados obtenidos en la Tabla 19 respecto a la caracterización fisicoquímica de las aguas residuales del camal municipal de Calca, presentan valores altos de DQO y aceites y grasas, debido a estos valores, los efluentes no pueden ser descargados directamente a cuerpos hídricos receptores sin previo tratamiento.

A su vez, en los estudios de (Arteaga Cancino, 2020; Besharati Fard et al., 2020; Delgado Soto, 2019; Medina et al., 2018; Zavaleta Espinoza, 2022) como se observa en la Tabla 34, los valores de la DQO, T°, pH y conductividad son semejantes a las que se obtuvo en la presente investigación, indicando que existe similitud entre las características de los efluentes.

Así mismo, en el estudio de (Ticona, 2021) obtuvieron un valor de A y G = 200 mg/L. próximo al valor obtenido en la presente investigación (A y G = 116 mg/L.), sobrepasando las normativas nacionales e internacionales (Grupo del Banco Mundial, Ministerio del Ambiente



de Colombia “Resolución N°631-MINAMBIENTE Colombia” y Valores Máximos Admisibles (VMA) “Decreto Supremo N.º 010-2019-Vivienda” de Perú), poniendo en riesgo la contaminación del cuerpo receptor.

Los valores de pH obtenidos por (Arteaga Cancino, 2020; Besharati Fard et al., 2020; Delgado Soto, 2019; Ticona, 2021; Zavaleta Espinoza, 2022), así como en la presente investigación son cercanos a la escala neutra de pH (7), lo cual guarda concordancia con lo manifestado por (Salas C. & Cesario, 2008), quienes afirman que este tipo de aguas residuales tienen valores de neutros a ligeramente alcalinos debido a la presencia de sangre que actúa como un sistema buffer.



**Tabla 34**

*Comparación de la caracterización inicial fisicoquímica de las aguas residuales provenientes de mataderos*

PARÁMETRO	UNIDAD DE MEDIDA	VALORES								
		Camal municipal de Calca	INTERNACIONAL			NACIONAL			LOCAL	
			(Zárate Guzmán et al., 2021)	(Páramo Vargas, 2015)	(Besharati Fard et al., 2020)	(Medina et al., 2018)	(Delgado Soto, 2019)	(Arteaga Cancino, 2020)	(Ticona, 2021)	(Zavaleta Espinoza, 2022)
		Aguas residuales de matadero	Aguas residuales de porquerizas	Aguas residuales de matadero	Aguas residuales de matadero	Aguas residuales de matadero	Aguas residuales de matadero	Aguas residuales de matadero	Aguas residuales de matadero	Agua residual de matadero
<b>DQO</b>	mg/L.	7402.79	17449	1159	3360	4654.4	9813	4252	2620	2501
<b>pH</b>	Unidades de pH	7.4	-	-	7.44	7.6	6.7	6.8	6.7	7.32 – 7.77
<b>T°</b>	°C	17.8	-	-	24	18.3	-	-	12	16.20 - 18.88
<b>Conductividad</b>	µs/cm.	1036	-	-	5400	1560	1067	405	315	1224 - 1810
<b>Turbiedad</b>	NTU	7.55	-	-	180	327	400.7	1020	651	515 - 594.5
<b>Aceites y grasas</b>	mgAyG/L.	116	-	-	-	-	-	-	200	-
<b>Oxígeno disuelto</b>	mg/L.	6.7	-	-	-	1.22	-	-	-	0

Nota. (-) No analizado



## 2. Comparación de Condiciones Experimentales del Proceso Fenton y Porcentaje de Reducción de la DQO

En el estudio de (Medina et al., 2018) obtuvieron un valor inicial de DQO = 4654.4 mg/L. similar al valor analizado en la presente investigación (DQO = 4713.94 mg/L.), así mismo, consiguieron una reducción máxima del 78.81% de la DQO del efluente con las siguientes concentraciones: 1875 mg/L. de FeSO<sub>4</sub>, 1000 mg/L. de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y un pH = 3, en cuanto a la dosificación optimizada, alcanzaron una reducción de 80.28% de la DQO del efluente con las siguientes concentraciones: 2110.55 mg/L. de FeSO<sub>4</sub>, 1092.67 mg/L. de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y un pH = 3.22, siendo su mayor factor estadísticamente significativo el pH, por otro lado, la presente investigación logró obtener una mayor reducción de la DQO en un 97.36% mediante las siguientes condiciones: 1200 mg/L. de Fe<sup>2+</sup>, 709 mg/L. de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y un pH = 6, respecto a la dosificación optimizada se alcanzó un 97.58 % de reducción de la DQO con las siguientes condiciones: 1234 mg/L. de Fe<sup>2+</sup>, 709 mg/L. de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y un pH= 4.5, al contrario de (Medina et al., 2018) en el presente trabajo de investigación el factor significativo estadísticamente fue el Fe<sup>2+</sup> al igual que en la investigación de (Besharati Fard et al., 2020). Por lo general, la velocidad de degradación aumenta cuando se añade mayor cantidad de sales de hierro, además, un aumento excesivo de estos contribuirá a un incremento de sólidos disueltos totales (TDS) en la corriente del efluente (Babuponnusami & Muthukumar, 2014). En el estudio mencionado de (Medina et al., 2018) y en la presente investigación las concentraciones del reactivo catalizador son superiores a las del reactivo oxidante, lo que concuerda con lo estipulado por (Rubio Clemente et al., 2014) que afirma que el H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> necesita de grandes cantidades de Fe<sup>2+</sup> para formar radicales hidroxilos. (Zárate Guzmán et al., 2021) tuvo una reducción del 92% de la DQO combinando la sedimentación como pre tratamiento en un reactor y el proceso Fenton como post tratamiento, de igual manera, en la investigación de (Besharati Fard et al., 2020) alcanzó una reducción del 98.6 % de la DQO combinando dos tipos de tratamiento: biológico



(Reactor Anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos UASB) y químico (Proceso Fenton), no obstante, en la presente investigación se consiguió un porcentaje de reducción de la DQO del 97.36% sin ningún tipo de pre tratamiento.

En el estudio realizado por (Páramo Vargas, 2015) tuvo una reducción de DQO del 91.8 % partiendo de un valor inicial de 1159 mg/L. con los siguientes parámetros de experimentación:  $\text{Fe}^{2+} = 55.8\text{mg/L.}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2 = 200\text{ mg/L.}$  y  $\text{pH} = 3$ ; mientras que en la presente investigación por medio de la aplicación del proceso Fenton se obtuvo una reducción mayor de la DQO (97.58 %) partiendo de un valor inicial de 4713.94 mg/L. con condiciones experimentales de 1200 mg/L. de  $\text{Fe}^{2+}$ , 709 mg/L. de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y un  $\text{pH} = 6$ , podemos discutir que las dosis de los reactivos deben ajustarse a la concentración inicial de la DQO según sea el caso, por eso es importante conocer las características iniciales del efluente a tratar.

Según los resultados obtenidos por (Zavaleta Espinoza, 2022) respecto al proceso Fenton, con valores iniciales de  $\text{DBO} = 1207.89\text{ mg/L.}$  y  $\text{DQO} = 2501\text{ mg/L.}$ , demuestra una remoción del 93.96% de la DBO del efluente del camal municipal de Cusco con los siguientes parámetros de proceso  $\text{Fe}^{2+} = 240.85\text{ mg/L.}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2 = 900\text{ mg/L.}$  y  $\text{pH} = 2.5$ , con un tiempo de reacción de 1h a 150 RPM para posteriormente pasar por una operación de filtrado, por otro lado, la presente investigación logró obtener un 97.36% de reducción de la DQO con los siguientes condiciones: 1200 mg/L. de  $\text{Fe}^{2+}$ , 709 mg/L. de  $\text{H}_2\text{O}_2$  y un  $\text{pH} = 6$ , con un tiempo de contacto de 30 min a 120 RPM y un tiempo de sedimentación de 2h, a su vez, el pH en su investigación según el diagrama de Pareto, no fue una factor significativa al igual que en la presente investigación. En relación a la variable respuesta, una de las medidas más importante en la calidad de agua es la demanda de oxígeno, existen muchos métodos para evaluar, siendo así, depende de cada investigador la elección, para el caso del presente trabajo se seleccionó la DQO ya que se consideró un parámetro completo respecto a la DBO, debido a que, es un indicador de materia orgánica biodegradable y no biodegradable, además en la presente



investigación se tiene una concentración alta de A y G, que según (Romero Rojas, 2018) son difíciles de degradar e impiden que el agua se oxigene.

### **3. Comparación del Porcentaje de Reducción de la DQO en Efluentes Provenientes de otras Actividades Manufactureras**

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación se logró obtener un 97.36 % de reducción de la DQO, partiendo de una DQO = 4713.94 mg/L., en comparación con (Sharma et al., 2017) que alcanzó el 73.86% de reducción de la DQO de un efluente textil simulado, con una DQO inicial = 3894 mg/L. (valor semejante al efluente de la presente investigación), la dosis de hierro fue el factor más significativo para la reducción de la DQO, de igual manera, en el presente estudio el factor más significativo estadísticamente fue el  $Fe^{+2}$ , así mismo, en la investigación realizada por (Menéndez Escarcena, 2018) obtuvo un 78.93% de reducción a partir de una DQO inicial de 50.64 g/L. en aguas residuales de lactosuero, el proceso Fenton ha sido aplicado a diferentes tipos de efluentes con resultados favorables, en tal sentido, se infiere nuevamente la importancia de determinar las características de cada efluente, puesto que, influye en los porcentajes de reducción de la DQO.

### **4. Comparación de las Características Fisicoquímicas de las Aguas Residuales después de Aplicar el Proceso Fenton.**

En la Tabla 21 se puede observar los valores optimizados del proceso Fenton siendo el valor máximo de reducción del 97.58%, valor cercano a lo presagiado (98%), lo que conlleva a una mejoría de los parámetros del efluente del camal municipal de Calca aplicando el proceso Fenton optimizado, es así que, que al comparar los datos de la Tabla 19 (caracterización inicial) con los datos de la Tabla 24 (caracterización final), se puede observar la mejoría de los parámetros analizados como: Aceites y grasas = 96.90%, Turbiedad = 25.44 % y oxígeno disuelto = 73.83%, sin embargo, hubo un incremento en la conductividad en un 62.24% al igual que en la investigación de (Medina et al., 2018) que tuvo un incremento del 74%, acerca del



aumento de este parámetro puede deberse a la adición de ácido y sales de hierro que a pesar de ser eliminadas por medio de la sedimentación de lodos los iones en solución hace que este parámetro aumente (Medina et al., 2018, p. 86). De igual manera en los estudios de (Arteaga Cancino, 2020; Delgado Soto, 2019; Medina et al., 2018) se obtuvieron valores porcentuales respecto a la disminución de la turbiedad del 98%, 56.37% y 97% respectivamente.

En definitiva, el proceso Fenton se muestra optimista ya que los parámetros iniciales tuvieron una mejora significativa, específicamente la DQO y aceites y grasas las cuales se encuentran por debajo de los valores establecidos por el Grupo del Banco Mundial, Ministerio del Ambiente de Colombia y Valores Máximos Admisibles (VMA) de Perú (Ver Tabla 20).

#### **5.4. Implicancias del Estudio**

En la fase de campo para la obtención de la muestra compuesta de volumen fijo, se requiere estar capacitado para el muestreo de aguas residuales, así como también, en el manejo de equipos como el multiparámetro de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, así mismo, para la fase de laboratorio se debe tener el conocimiento necesario para manejar equipos y reactivos para una manipulación correcta.

Es necesario contar con experticia al momento de ajustar el pH de las muestras del efluente a la matriz de experimentación, debido a que el reactivo de ácido sulfúrico es considerado una sustancia peligrosa y controlada.



### C. CONCLUSIONES

- 1) El proceso Fenton presentó un 97.36% de reducción de la DQO en el efluente del camal municipal de Calca, siendo el experimento N°6 el de mayor eficiencia en relación al porcentaje de reducción de la DQO partiendo de un valor inicial de 4713.94 mg/L., así mismo, los parámetros del proceso fueron los siguientes:  $Fe^{2+} = 1200$  mg/L.,  $H_2O_2 = 600$  mg/L. a un nivel de  $pH = 6$ , quiere decir que el proceso Fenton puede ser una alternativa adecuada para el tratamiento de este efluente, así mismo, la reducción de la DQO se consiguió principalmente mediante la oxidación química.
- 2) La caracterización de las aguas residuales del camal municipal de Calca indicó valores de  $DQO = 7402.79$  mg/L.,  $pH = 7.40$ , conductividad = 1036  $\mu s/cm$ , turbiedad = 7.55 NTU, aceites y grasas = 116 mg/L. y oxígeno disuelto = 3.37 mg/L., los cuales exceden las normativas del Grupo del Banco Mundial (Normas de medio ambiente, salud y seguridad para Procesado de la carne); Ministerio del Ambiente de Colombia (RESOLUCIÓN N°631-MINAMBIENTE COLOMBIA- Parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público - Artículo 9 - Ganadería) y los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (DECRETO SUPREMO N.º 010-2019-VIVIENDA) de Perú, lo que refleja el nivel de contaminación que sufren las aguas del río Vilcanota al ser vertidas sin ningún tipo de tratamiento.
- 3) La aplicación del proceso Fenton en aguas residuales del camal de municipal de Calca mediante la herramienta estadística camino al máximo ascenso y gráficos de superficie de respuesta indican que las concentraciones óptimas del agente



catalizador ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y el agente oxidante ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) son de 1234.55 mg/L y 709.65 mg/L respectivamente, el nivel de pH óptimo fue de 4.5; para un tiempo de contacto de 30 minutos y una sedimentación de 2h observándose una excelente mejora en el color y olor, así como también, en la reducción de la DQO.

- 4) Las muestras de las aguas residuales del camal municipal de Calca después de la aplicación del proceso Fenton optimizado mostraron una mejoría respecto a los siguientes parámetros: DQO = 97.60% (178.84 mg/L.), turbiedad = 25.44% (5.63 NTU), aceites y grasas = 96.90% (3.60 mg/L.) y oxígeno disuelto = 73.83% (12.88 mg/L.), físicamente se observó una mejora de color y olor significativa, estos valores, cumplen con la normativa del Grupo del Banco Mundial (Normas de medio ambiente, salud y seguridad para el procesamiento de la carne); Ministerio del Ambiente de Colombia (RESOLUCIÓN N°631-MINAMBIENTE COLOMBIA - Parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público - Artículo 9 - Ganadería) . y los Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (DECRETO SUPREMO N.º 010-2019-VIVIENDA) de Perú.



#### D. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para futuras investigaciones, usar una solución tampón o amortiguadora para mantener un pH constante durante toda la reacción, autores como (Babuponnusami & Muthukumar, 2014) sugieren el tampón de ácido acético-acetato ya que proporciona la máxima eficiencia en el proceso de oxidación.
- Se recomienda a futuros investigadores, respecto a la caracterización, analizar los sólidos disueltos totales (SDT) antes y después del tratamiento en los efluentes ya que, podrían ser indicadores de un exceso de iones de  $\text{Fe}^{2+}$ .
- Se recomienda a futuros investigadores evaluar la cinética de descomposición de la DQO mediante la aplicación del proceso Fenton en los efluentes del camal municipal de Calca.
- Se recomienda a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Andina del Cusco implementar un laboratorio de aguas, con la finalidad de facilitar investigaciones futuras.



## E. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdullah Bagaber, S., & Chin Hwa, L. (2019). *Assessment of some factors influencing the travel distance of balloon car*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13078.19520>
- Ahmadian, M., Reshadat, S., Yousefi, N., Mirhossieni, S. H., Zare, M. R., Ghasemi, S. R., Rajabi Gilan, N., Khamutian, R., & Fatehizadeh, A. (2013). Municipal leachate treatment by Fenton process: Effect of some variable and kinetics. *Journal of Environmental and Public Health*, 2013. <https://doi.org/10.1155/2013/169682>
- Ameta, S. C. (2018). Introduction. *Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: Emerging Green Chemical Technology*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-810499-6.00001-2>
- Arteaga Cancino, O. T. (2020). *Remoción de la turbiedad del efluente del camal municipal empleando proceso oxidativo avanzado Fenton en el distrito de Cutervo - Cajamarca*. Universidad Nacional de Jaen.
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. In *Autoridad Nacional del Agua*. <http://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/209>
- Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2015). Calidad de agua en cuencas hidrográficas a nivel nacional. *Autoridad Nacional Del Agua*. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/2673>
- Azabache, Y., Murrieta, E., Garcia, P., Ayala, M., Caceres, G., & Garcia, M. (2020). *Tratamiento del agua residual de un matadero: Eficiencia del proceso de coagulación - floculación*. 10(1), 23–27.
- Babuponnusami, A., & Muthukumar, K. (2014). A review on Fenton and improvements to the Fenton process for wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1), 557–572. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2013.10.011>



- Bagal, M. V., & Gogate, P. R. (2014). Wastewater treatment using hybrid treatment schemes based on cavitation and Fenton chemistry: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 21(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2013.07.009>
- Bermúdez, L. A., Pascual, J. M., Martínez, M. D. M. M., & Capilla, J. M. P. (2021). Effectiveness of advanced oxidation processes in wastewater treatment: State of the art. In *Water (Switzerland)* (Vol. 13, Issue 15). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/w13152094>
- Besharati Fard, M., Mirbagheri, S. A., & Pendashteh, A. (2020). Removal of TCOD and phosphate from slaughterhouse wastewater using Fenton as a post-treatment of an UASB reactor. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18(2), 413–422. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00469-w>
- Bustillo Lecompte, C. F., & Mehrvar, M. (2015, September 5). Slaughterhouse wastewater characteristics, treatment, and management in the meat processing industry: a review on trends and advances. *Journal of Environmental Management*, 161, 287–302. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.07.008>
- Capó Martí, M. A. (2007). Principios de ecotoxicología: diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. In *Tebar* (Editorial Tébar, S.L).
- Contraloría. (2018). *Informe de acción simultánea N° 570-2018-CG/GRCU.AS*.
- Delgado Soto, J. A. (2019). *Eficiencia de remoción de tres parámetros fisicoquímicos del efluente líquido del camal “Régulo Bernal Torres” utilizando proceso de oxidación avanzado Fenton*.
- Deng, Y., & Zhao, R. (2015). Advanced Oxidation Processes (AOPs) in Wastewater Treatment. In *Current Pollution Reports* (Vol. 1, Issue 3, pp. 167–176). Springer. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0015-z>



- Domènech, X., & Peral, J. (2012). *Química ambiental de sistemas terrestres*. Editorial Reverté.
- Environmental Protection Agency (EPA). (2004, September 8). *Effluent Limitations Guidelines and New Source Performance Standards for the Meat and Poultry Products Point Source Category*. <https://www.federalregister.gov/documents/2004/09/08/04-12017/effluent-limitations-guidelines-and-new-source-performance-standards-for-the-meat-and-poultry>
- Fenton, H. J. H. (1894). Oxidation of tartaric acid in presence of iron. *Journal of the Chemical Society*, 65, 899–910.
- García Leiva, B. (2016). *Degradación de xantato en efluentes por oxidación con peróxido de hidrógeno, procesos Fenton e foto-Fenton*.  
[http://renati.sunedu.gob.pe/bitstream/sunedu/155333/1/Garcia\\_Leiva\\_Bruno\\_M.pdf](http://renati.sunedu.gob.pe/bitstream/sunedu/155333/1/Garcia_Leiva_Bruno_M.pdf)
- Gligorovski, S., Strekowski, R., Barbati, S., & Vione, D. (2015). Environmental Implications of Hydroxyl Radicals ( $\bullet\text{OH}$ ). *Chemical Reviews*, 115(24), 13051–13092.  
<https://doi.org/10.1021/cr500310b>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). McGrawHill.
- Kiely, Gerard., & Veza, J. M. (1999). *Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión: Vol. II*. McGraw-Hill Interamericana de España.
- Medina, C., Uriarte, W., Orrego, S., & Montero, E. (2018). *Aplicación del proceso fenton para degradar aguas residuales del camal de Chota*. 111.
- Menéndez Escarcena, A. (2018). *Reducción de la Demanda Química de Oxígeno en lactosuero mediante el proceso Fenton*.
- Miklos, D. B., Remy, C., Jekel, M., Linden, K. G., Drewes, J. E., & Hübner, U. (2018). Evaluation of advanced oxidation processes for water and wastewater treatment – A



critical review. In *Water Research* (Vol. 139, pp. 118–131). Elsevier Ltd.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.042>

Ministerio de Vivienda, C. y S. (2019). D.S. N° 010-2019 DS que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. *El Peruano*, 20.

<https://busquedas.elperuano.pe/download/url/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento-de-valores-maximos-decreto-supremo-n-010-2019-vivienda-1748339-3>

Ñaupas, H., Marcelino, P., Valdivia, R., Jesús, D., Palacios, J., Hugo, V., & Delgado, E. R. (2018). *Metodología de la investigación Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de la Tesis* (Ediciones de la U, Ed.; 5a ed.).

Nogueira, R. F. P., Trovó, A. G., Da Silva, R. A., & Villa, R. D. (2007). Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton. In *Quim. Nova* (Vol. 30, Issue 2).

Núñez Tinoco, A. N., & Bustamante López, V. (2012). *Evaluación y propuesta de tratamiento de efluentes residuales del camal municipal de la ciudad de Moyobamba*.

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*.

Orozco, A. (2005). *Bioingeniería de Aguas Residuales - Google Libros*. 1–411.

[https://books.google.com/books/about/Bioingenieria\\_de\\_Aguas\\_Residuales.html?hl=es&id=t5w5EZf1VhMC](https://books.google.com/books/about/Bioingenieria_de_Aguas_Residuales.html?hl=es&id=t5w5EZf1VhMC)

Pacco Illa, Y., & Reyes Rojas, L. P. (2020). *Evaluación del proceso de oxidación avanzada de agua contaminada con sangre en un reactor batch de burbujeo*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Páramo Vargas, J. (2015). *Tratamiento del efluente de un rastro municipal mediante procesos de oxidación avanzada tipo Fenton*. CIATEC.



- Pignatello, J. J. (1992). Dark and Photoassisted Fe<sup>3+</sup>-Catalyzed Degradation of Chlorophenoxy Herbicides by Hydrogen Peroxide. In *Environ. Sci. Technol* (Vol. 26).
- Pignatello, J. J., Oliveros, E., & MacKay, A. (2006). Advanced oxidation processes for organic contaminant destruction based on the fenton reaction and related chemistry. In *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* (Vol. 36, Issue 1, pp. 1–84).  
<https://doi.org/10.1080/10643380500326564>
- Piego, G., Zazo, J. A., Garcia-Muñoz, P., Munoz, M., Casas, J. A., & Rodriguez, J. J. (2015). Trends in the Intensification of the Fenton Process for Wastewater Treatment: An Overview. In *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* (Vol. 45, Issue 24, pp. 2611–2692). Taylor and Francis Inc.  
<https://doi.org/10.1080/10643389.2015.1025646>
- Poyatos, J. M., Muño, M. M., Almecija, M. C., Torres, J. C., Hontoria, E., & Osorio, F. (2010). Advanced oxidation processes for wastewater treatment: State of the art. *Water, Air, and Soil Pollution*, 205(1–4), 187–204. <https://doi.org/10.1007/s11270-009-0065-1>
- Ribeiro, J. P., & Nunes, M. I. (2021). Recent trends and developments in Fenton processes for industrial wastewater treatment – A critical review. In *Environmental Research* (Vol. 197). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110957>
- Romero Rojas, J. A. (2018). *Aguares residuales industriales* (1st ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rubio Clemente, A., Chica, E. L., & Peñuela, G. A. (2014). Aplicación del proceso Fenton en el tratamiento de aguas residuales de origen petroquímico. *Ingeniería Y Competitividad*, 16(2), 211–223. <https://doi.org/10.25100/iyc.v16i2.3696>
- Salas C., G., & Cesario, C. C. (2008). Tratamiento De Las Aguas Residuales De Un Centro De Beneficio O Matadero De Ganado. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 11(1), 29–35.



SENASA. (2014). *Guía De Buenas Prácticas De Faenado De Animales De Abasto*. 87.

[https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2002708/Faenado animales abasto.pdf](https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2002708/Faenado_animales_abasto.pdf)

Sharma, S., Kapoor, S., & Christian, R. A. (2017). Effect of Fenton process on treatment of simulated textile wastewater: optimization using response surface methodology.

*International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(8), 1665–1678.

<https://doi.org/10.1007/s13762-017-1253-y>

Ticona, J. (2021). *Tratamiento electroquímico de aguas residuales procedentes del Camal Municipal de Anta, Cusco - 2021*.

UNESCO. (2012). *Guardarenas: Adaptarse al cambio climático y educar para el des...* - Google Books.

[https://www.google.com.pe/books/edition/Guardarenas\\_Sandwatch\\_Adaptarse\\_al\\_cambi/b7wrlcDkLUsC?hl=es&gbpv=1&dq=Demanda+Quimica+de+Oxígeno+en+Aguas+Residuales+como+indicador&pg=PA71&printsec=frontcover](https://www.google.com.pe/books/edition/Guardarenas_Sandwatch_Adaptarse_al_cambi/b7wrlcDkLUsC?hl=es&gbpv=1&dq=Demanda+Quimica+de+Oxígeno+en+Aguas+Residuales+como+indicador&pg=PA71&printsec=frontcover)

UNESCO. (2017). *Aguas residuales el recurso desaprovechado*. [www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en](http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en)

Wu, Y., Zhou, S., Qin, F., Ye, X., & Zheng, K. (2010). Modeling physical and oxidative removal properties of Fenton process for treatment of landfill leachate using response surface methodology (RSM). *Journal of Hazardous Materials*, 180(1–3), 456–465.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.04.052>

Zárate Guzmán, A. I., Warren Vega, W. M., Romero Cano, L. A., & Cárdenas Mijangos, J. (2021). Scale-up Fenton process: study and optimization in piggery wastewater treatment. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 96(2), 341–348.

<https://doi.org/10.1002/jctb.6546>



Zavaleta Espinoza, S. (2022). *Eficiencia de los procesos Fenton y fotofenton en la remoción de la DBO5 del efluente del camal municipal Cusco-2021*. Universidad Andina del Cusco.

Zhang, M. hui, Dong, H., Zhao, L., Wang, D. xi, & Meng, D. (2019). A review on Fenton process for organic wastewater treatment based on optimization perspective. In *Science of the Total Environment* (Vol. 670, pp. 110–121). Elsevier B.V.

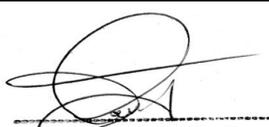
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.180>



F. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

		FICHA DE REPORTE DE LABORATORIO PROCESO FENTON N°1							
		"REDUCCIÓN DE LA DQO APLICANDO EL PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA - CUSCO							
Fecha		Volumen de Alicuota (mL)		Lugar					
Hora		Temperatura (°C)		Responsable	Manuel Martin Zuñiga Molina				
Experimento	pH inicial	Dosificación		Ajuste de pH	Tiempo de contacto	pH final	Tiempo de sedimentación	Observaciones	
		FeSO <sub>4</sub> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)						
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									

**Validación de Instrumento:**



-----  
Annete Miluska Aguilar Lopez  
Ing. QUIMICO  
CIP N° 132520



-----  
Ing. Rocio M. Asención Córdova  
Reg. C.I.P. 90875



	FICHA DE REPORTE DE LABORATORIO PROCESO FENTON (OPTIMIZACIÓN) N°2							
	"REDUCCIÓN DE LA DQO APLICANDO EL PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA - CUSCO"							
Fecha		Volumen de Alicuota (mL)		Lugar				
Hora		Temperatura (°C)		Responsable	Manuel Martin Zuñiga Molina			
Experimento	pH inicial	Dosificación		Ajuste de pH	Tiempo de contacto	pH final	Tiempo de sedimentación	Observaciones
		FeSO <sub>4</sub> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)					
1								
2								
3								
4								
<b>Validación de Instrumento:</b>								
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">               -----  <b>Anate Miluska Aguilar Lopez</b>              Ing. QUÍMICO              CIP N° 132520           </div> <div style="text-align: center;">               -----  <b>Ing. Eocio M. Asencion Cordova</b>              Reg. C.I.P. 90875           </div> </div>								



	REGISTRO DE DATOS EN CAMPO PARA LA TOMA DE MUESTRA COMPUESTA DE VOLUMEN FIJO N°1			
	REDUCCIÓN DE LA DQO APLICANDO EL PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA - CUSCO			
Fecha		Lugar		
Hora		Coordenadas	Este (X)	Norte (Y)
Responsable	Manuel Martin Zuñiga Molina			
Tipo de muestra				
Muestra	Tiempo (minutos)	Volumen (mL)	Observaciones	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
TOTAL				
<b>Validación de Instrumento:</b>				
 <hr/> <b>Anate Miluska Aguilar Lopez</b> Ing. QUÍMICO CIP N° 132520				
 <hr/> <b>Ing. Rocío M. Asención Córdova</b> Reg. C.I.P. 90875				



	BITÁCORA DE OBSERVACIÓN DE LAS OPERACIONES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA N°1		
	REDUCCIÓN DE LA DQO APLICANDO EL PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA - CUSCO		
Fecha		Lugar	
Hora		Coordenadas	Este (X)
Responsable	Manuel Martin Zuñiga Molina		Norte (Y)
Hora	Operaciones Observadas		Evidencia Fotográfica
	 Inge. Miluska Aguilar Lopez Ing. QUIMICO CIP N° 132520		 Inge. Eocio M. Asención Córdova Reg. C.I.P. 90875



	<b>FORMATO DE HOJA DE CÁLCULO N°1</b>		
	<b>REDUCCIÓN DE LA DQO APLICANDO EL PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA - CUSCO</b>		
<b>Responsable</b>	Manuel Martin Zuñiga Molina		
<b>Fórmula de porcentaje de remoción de la DQO:</b>			
$\% \text{ de remoción de DQO} = \frac{DQO_{Inicial} - DQO_{Final}}{DQO_{Inicial}} \times 100$			
Experimento	DQO inicial (mg/L)	DQO final (mg/L)	% de remoción de DQO
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
<b>Validación de Instrumento:</b>			
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">               Anne Miliuska Aguilar Lopez              Ing. QUÍMICO              CIP N° 132520           </div> <div style="text-align: center;">               Ing. Eocio M. Asención Córdova              Reg. C.I.P. 90875           </div> </div>			





**G. VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS**

	BITÁCORA DE OBSERVACIÓN DE LAS OPERACIONES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA N°1		
	REDUCCIÓN DE LA DQO APLICANDO EL PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA - CUSCO		
<b>Fecha</b>	2/09/2021	<b>Lugar</b>	Camal Municipal de Calca
<b>Hora</b>	8:00 a.m.	<b>Coordenadas</b>	<b>Este (X)</b>
<b>Responsable</b>	Manuel Martin Zuñiga Molina		179623
			8525498
<b>Hora</b>	<b>Operaciones Observadas</b>	<b>Evidencia Fotográfica</b>	
8:00 a.m.	Recepción de vacuno		
8:20 a.m.	Puntillado		



	BITÁCORA DE OBSERVACIÓN DE LAS OPERACIONES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA N°1			
	REDUCCIÓN DE LA DQO APLICANDO EL PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA - CUSCO			
Fecha	2/09/2021	Lugar	Camal Municipal de Calca	
Hora	8:00 a.m.	Coordenadas	Este (X)	Norte (Y)
Responsable	Manuel Martin Zuñiga Molina		179623	8525498
Hora	Operaciones Observadas	Evidencia Fotográfica		
8:45 a.m.	Sangrado			
9:45 a.m.	Izado y Desollado			

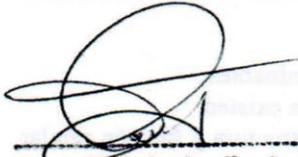


	BITÁCORA DE OBSERVACIÓN DE LAS OPERACIONES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA N°1			
	REDUCCIÓN DE LA DQO APLICANDO EL PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA - CUSCO			
Fecha	2/09/2021	Lugar	Camal Municipal de Calca	
Hora	8:00 a.m.	Coordenadas	Este (X)	Norte (Y)
Responsable	Manuel Martin Zuñiga Molina		Este (X)	179623
Hora	Operaciones Observadas	Evidencia Fotográfica		
10:45 a.m.	Eviscerado y Trozado	 		
11:45 a.m.	Lavado	 		



	BITÁCORA DE OBSERVACIÓN DE LAS OPERACIONES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA N°1			
	REDUCCIÓN DE LA DQO APLICANDO EL PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA - CUSCO			
<b>Fecha</b>	2/09/2021	<b>Lugar</b>	Camal Municipal de Calca	
<b>Hora</b>	8:00 a.m.	<b>Coordenadas</b>	<b>Este (X)</b>	<b>Norte (Y)</b>
<b>Responsable</b>	Manuel Martin Zuñiga Molina		179623	8525498
<b>Hora</b>	<b>Operaciones Observadas</b>		<b>Evidencia Fotográfica</b>	
12:00 p.m.	Oreado y almacenamiento			
<b>Validación de Instrumento:</b>				
 <b>Anide Miluska Aguilar Lopez</b> Ing. QUÍMICO CIP N° 132520				
 <b>Ing. Ercio M. Asención Córdova</b> Reg. C.I.P. 90875				



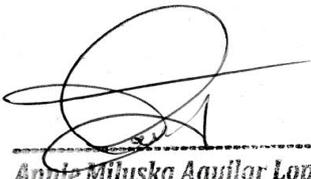
		REGISTRO DE DATOS EN CAMPO PARA LA TOMA DE MUESTRA COMPUESTA DE VOLUMEN FIJO N°1			
		REDUCCIÓN DE LA DQO APLICANDO EL PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA - CUSCO			
Fecha	13/03/2023	Lugar	Camal Municipal de Calca		
Hora	9:00 am	Coordenadas	Este (X)	Norte (Y)	
Responsable	Manuel Martin Zuñiga Molina		179623	8525498	
Tipo de muestra		Compuesta de Volumen fijo			
Muestra	Tiempo (minutos)	Volumen (mL)	Observaciones		
1	9:00 am	1000	-		
2	9:30 am	1000	-		
3	10:00 am	1000	-		
4	10:30 am	1000	-		
5	11:00 am	1000	-		
6	11:30 am	1000	-		
7	12:00 pm	1000	-		
8	12:30 pm	1000	-		
9	13:00 pm	1000	-		
10	13:30 pm	1000	-		
11	14:00 pm	1000	-		
12	14:30 pm	1000	-		
TOTAL		12 Litros	-		
<b>Validación de Instrumento:</b>					
 Anate Mhuska Aguilar Lopez Ing. QUÍMICO CIP N° 132520					
 Ing. Rocío M. Asención Córdova Reg. C.I.P. 90875					





		FICHA DE REPORTE DE LABORATORIO PROCESO FENTON N°1						
		"REDUCCIÓN DE LA DQO APLICANDO EL PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA - CUSCO"						
Fecha	14/03/2023	Volumen de Alicuota (mL)	500	Lugar	Universidad Andina de Cusco			
Hora	9:00 a.m.	Temperatura (°C)	17°C	Responsable	Manuel Martin Zuñiga Molina			
Experimento	pH inicial	Dosificación		Ajuste de pH	Tiempo de contacto	pH final	Tiempo de sedimentación	Observaciones
		FeSO <sub>4</sub> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)					
1	7.4	500	600	2	30 min	2.5	2 horas	Coloración de agua amarilla
2	7.4	1200	600	2	30 min	2.6	2 horas	
3	7.4	500	1200	2	30 min	2.5	2 horas	Flotación de Lodos
4	7.4	1200	1200	2	30 min	2.7	2 horas	
5	7.4	500	600	6	30 min	3	2 horas	
6	7.4	1200	600	6	30 min	3	2 horas	
7	7.4	500	1200	6	30 min	3.2	2 horas	Flotación de Lodos
8	7.4	1200	1200	6	30 min	3.1	2 horas	
9	7.4	850	900	4	30 min	3.5	2 horas	
10	7.4	850	900	4	30 min	3.5	2 horas	
11	7.4	850	900	4	30 min	3.5	2 horas	
<b>Validación de Instrumento:</b>								
 Anneli Miuska Aguilar Lopez Ing. QUÍMICO CIP N° 132520								
 Ing. Rocío M. Asención Córdova Reg. C.I.P. 90875								



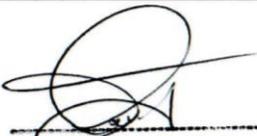
	<b>FORMATO DE HOJA DE CÁLCULO N°1</b>			
	<b>REDUCCIÓN DE LA DQO APLICANDO EL PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA - CUSCO</b>			
<b>Responsable</b>	Manuel Martin Zuñiga Molina			
<b>Fórmula de porcentaje de remoción de la DQO:</b>				
$\% \text{ de remoción de DQO} = \frac{DQO_{Inicial} - DQO_{Final}}{DQO_{Inicial}} \times 100$				
Experimento	DQO inicial (mg/L)	DQO final (mg/L)	% de remoción de DQO	
1	4713.94	828.69	82.42%	
2	4713.94	312.35	93.37%	
3	4713.94	669.32	85.80%	
4	4713.94	254.98	94.59%	
5	4713.94	315.54	93.31%	
6	4713.94	124.30	97.36%	
7	4713.94	1115.54	76.34%	
8	4713.94	458.96	90.26%	
9	4713.94	172.11	96.35%	
10	4713.94	286.85	93.91%	
11	4713.94	270.92	94.25%	
<b>Validación de Instrumento:</b>				
 <b>Anide Miluska Aguilar Lopez</b> Ing. QUÍMICO CIP N° 132520				
 <b>Ing. Rocío M. Asencion Córdova</b> Reg. C.I.P. 90875				



		<b>REGISTRO DE DATOS EN CAMPO PARA LA TOMA DE MUESTRA COMPUESTA DE VOLUMEN FIJO N°1</b>			
		<b>REDUCCIÓN DE LA DQO APLICANDO EL PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA - CUSCO</b>			
Fecha	17/04/2023	Lugar	Camal Municipal de Calca		
Hora	9:00 am	Coordenadas	Este (X)	Norte (Y)	
Responsable	Manuel Martin Zuñiga Molina		179623	8525 498	
Tipo de muestra		Compuesta de volumen fijo			
Muestra	Tiempo (minutos)	Volumen (mL)	Observaciones		
1	9:00 am	1000	-		
2	9:30 am	1000	-		
3	10:00 am	1000	-		
4	10:30 am	1000	-		
5	11:00 am	1000	-		
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
<b>TOTAL</b>		5000 mL			
<b>Validación de Instrumento:</b>					
 <b>Anate Mihuska Aguilar Lopez</b> Ing. QUIMICO CIP N° 132520					
 <b>Ing. Rocío M. Asención Córdova</b> Reg. C.I.P. 90875					





		FICHA DE REPORTE DE LABORATORIO PROCESO FENTON (OPTIMIZACIÓN) N°2						
		"REDUCCIÓN DE LA DQO APLICANDO EL PROCESO FENTON EN LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DE CALCA - CUSCO"						
Fecha	18/04/2023	Volumen de Alicuota (mL)	500	Lugar	Universidad Andina de Cusco			
Hora	9:00 am	Temperatura (°C)	17	Responsable	Manuel Martin Zuñiga Molina			
Experimento	pH inicial	Dosificación		Ajuste de pH	Tiempo de contacto	pH final	Tiempo de sedimentación	Observaciones
		FeSO <sub>4</sub> (mg/L)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/L)					
1	7.8	1234	709.65	4.5	30 min	3.6	2 horas	coloración de agua totalmente clara
2	7.8	1234	709.65	4.5	30 min	3.6	2 horas	coloración de agua totalmente clara
3	7.8	1234	-	4.5	30 min	-	2 horas	Ligera sedimentación igual color y olor
4	7.8	-	-	-	-	7.8	24 horas	
<b>Validación de Instrumento:</b>								
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">               Ana Miluska Aguilar Lopez              Ing. QUÍMICO              CIP N° 132520           </div> <div style="text-align: center;">               Ing. Rocío M. Asencion Córdova              Reg. C.I.P. 90875           </div> </div>								



# Certificado



**INACAL**

Instituto Nacional  
de Calidad

Acreditación

La Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad - INACAL, en el marco de la Ley N° 30224, **OTORGA** el presente Certificado de Renovación de la Acreditación a:

## **LABORATORIO LOUIS PASTEUR S.R.LTDA.**

**Laboratorio de Ensayo**

En su sede ubicada en: Urb. Velasco Astete D-18-B, distrito de Wanchaq, provincia y departamento de Cusco.

Con base en la norma

**NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración**

Facultándolo a emitir Informes de Ensayo con Símbolo de Acreditación. En el alcance de la acreditación otorgada que se detalla en el DA-acr-06P-21F que forma parte integral del presente certificado llevando el mismo número del registro indicado líneas abajo.

Fecha de Renovación: 23 de mayo de 2023

Fecha de Vencimiento: 22 de mayo de 2027



LABORATORIOS ACREDITADOS EN AGUA RESIDUAL - DS 010-2019-VIVIENDA

N°	LABORATORIO	SEDE	Correo de contacto	Telefono de contacto	Anexo 1 - DS 010-2019-VIVIENDA										Anexo 2 - DS 010-2019-VIVIENDA										TOTAL DE METODOS	
					(DBO5)	(DQO)	Acetatos y grasas	SST	Temp	pH	SS	Cr+6	CN-	SO4-2	S-2	NH4+	Al	As	B	Cd	Cu	Cr	H/h	Hg		Ni
1	AGO PERU S.A.C.	Av. Luis Jose de Obregon N° 350, Urb. El Pino, distrito de San Luis, Lima.	lsalazar@agolabs.com	710 2700	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
2	ALS LS PERU S.A.C.	Av. Republica Argentina 1859, Cercado de Lima - Lima.	Denisse.LLeon@ALSGlobal.com	01 - 4889500 Anexo 110 / 149	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
3	ALS LS PERU S.A.C.	Av. Dolores N° 167 - José Luis Bustamante y Rivero - Arequipa.	Natali.Moncada@ALSGlobal.com	054 - 424570 Anexo 404	X	X		X		X			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	18
4	ALEX STEWART (INTERNATIONAL) DEL PERU S.R.L.	Calle Los Negocios N° 420-A, 420-B, 422, Surquillo - Lima	aszerencia@alexstewart.com.pe	6524650	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
5	ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.	Av. Guardia Chalaca N°1877, Bellavista - Callao.	gerencia@alab.com.pe	4531389	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
6	BHIOS LABORATORIOS S.R.L.	Av. Quiriones B-6 (2do. Piso) - Yanahuara - Arequipa.	calldar@bhioslabs.com	054 273320	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	22
7	CERTIFICACIONES DEL PERU SA - CERPER	Av. Santa Rosa N° 801 - La Perla - Callao.	info@cerper.com	319 9000 420 4145	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
8	CERTIFICACIONES DEL PERU SA - CERPER	Calle Teniente Rodriguez N° 1415, Distrito de Miraflores, Arequipa.	info@cerper.com	319 9000 420 4145	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
9	CERTIFICAL-CERTIFICACIONES Y CALIDAD S.A.C.	Av. Sucre N° 1361 Pueblo Libre - Lima Oficina: Av. Sucre N° 1340 - Magdalena del Mar	informes@certifical.com.pe	461 1036	X	X	X	X	X	X			X	X	X											10
10	CERTIMIN S.A.	Av. Las Vegas 845 - San Juan de Miraflores - Lima.	certimin@certimin.pe	205 5656	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
11	CERTINTEX	Av. Grau 476 Santa Clara, Ate - Lima.	labs@certintex.com	356 0140	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
12	COLECCI S.A.C	Urb. Buenos Aires Mz A, Lote 7, Ira. Elapa - Nuevo Chimbote - Ancash	colecchi@sneedy.com.pe	043 31 0752 998 293 974	X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X	X					17
13	ECOLAB S.R.L.	Av. Garcilazo de la Vega N° 297 - Callao	lab@ecolab.com.pe	(511) 691-8270 - Anexo 109	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
14	ESAI ENVIRONMENTAL SERVICES FOR INDUSTRIES	Calle Los Plateros N°113, Urb. Los Artesanos, distrito de Ate, Lima	juana.yavay@esaimr.com	759-6567					X	X							X	X	X	X	X	X	X	X	X	13
15	ENVIRONMENTAL QUALITY ANALYTICAL SERVICES SA - EQUAS SA.	Panamericana Norte Km. 28.5 Mz. 1 Lte 74, Urb. Naranjito, Puente Piedra - Lima	info@equas.com.pe	548 4976 349-4050 349-4111	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
16	ENVIRONMENTAL TESTING LABORATORY S.A.C. - ENVIROTEST S.A.C.	Calle B Mz. C Lt. 40, Urb. Habitación Industrial Panamericana Norte - San Martín de Porres - Lima	info@envirotest.com.pe	523-1828 523-3758	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
17	GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA - LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA	J. Luis Alberto Sanchez s/h Urb. El Bosque - Cajamarca - Cajamarca.	laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe	076-599000 Anexo 1140	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
18	GREENLAB PERU S.A.C.	Calle Santa Angélica Nro 285, Urb. Santa Luisa, San Martín de Porres, Lima.	w_simon@greenlabperu.com	492 9497		X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	21
19	HIDROLAB PERU S.A.C.	Av. Nicolás Aylón SN - Mz. A Lote 06 Asoc. Nuestra Señora de la Merced. Ate - Lima	raquel.rosales@hidrolab.pe	356 0230 991525169	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
20	INSPECTION & TESTING SERVICES DEL PERU	Av. Fernando Wiesse N° 3840, 1er Piso, Mz D-1, Lt 27 Asoc. Comercial Industrial y Artes, San Juan de Lurigancho - Lima	itsperu@itsperu.com.pe	01 - 4680802 999 378 162	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
21	INSPECTORATE SERVICES PERU S.A.C.	Av. Elmer Faucett Nro. 444 - Callao.	raquel.aguero@inspectorate.com.pe insperu@inspectorate.com.pe	613 8080	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
22	INTERTEK TESTING SERVICES PERU S.A.	Jr. Mariscal José de La Mar, N° 200, Urb. El Pino, San Luis - Lima	vanessa.gonzales@intertek.com	3990940	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
23	KANAY S.A.C.	Quebrada Chulana km. 4.2, altura de Carretera Panamericana Sur km. 59.5, Chilca 15701 - Lima.	g.cazuri@spechegroup.com	01 207 3500	X	X									X											5
24	L & L LAB SOLUTION S.A.C.	Calle Camarín N° 267, Urb. Miramar, distrito de San Manuel - Lima	info@lalsolution.com.pe	258 9189	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										10
25	LABECO ANALISIS AMBIENTALES S.R.L.	Av. Victor Alzamora N°348 - Surquillo - Lima	labeco@labecoperu.com	444 8987	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X	X	X	20
26	LABORATORIOS ANALITICOS DEL SUR E.I.R.L.	Parque Industrial Rio Seco Mz. C Lote 1 Cerro Colorado - Arequipa.	las@laboratoriosanaliticosdelsur.com	054 443294	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	23
27	LABORATORIOS ANALITICOS J Y R S.A.C.	Av. Conquistadores 850 3° Piso, San Isidro - Lima.	laboratoriosanaliticosjyrv@yahoo.es	221 9161	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										11
28	LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD - SEDALIB S.A.	Av. Federico Villarreal 1300, Urb. El Bosque, distrito de Trujillo, La Libertad	araujo@sedalib.com.pe	044 482351	X	X	X	X																		4
29	LABORATORIO LOAYZA MURAKAMI S.A.C.	Via Estarriero N° 7 Km. 577 Lt 7 - A3 Piso 3 - Huanachaco, Trujillo, La Libertad	responsabledecalidadlvm@gmail.com	(044) 250043				X	X	X	X															4
30	LABORATORIO LOUIS PASTEUR S.R.L.	Urb. Velasco Astete D-10 - B, Wanchaq, Cusco.	laboratoriolouispasteur@yahoo.es	(5184) 234727	X	X	X	X		X																5
31	LABORATORIOS AMBIENTALES MIPAD	Mz C-10 Lt 8, Urb. Parque Industrial, distrito La	calidad@labmipad.com	011 462600	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	22



H. ANEXOS

ANEXO 1: CADENAS DE CUSTODIA – LABORATORIO LOUIS PASTEUR

**Laboratorio Louis Pasteur s.r.l.** Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq  
 Celular: 975 713500 - 974787151  
 laboratorio@louispasteur@yahoo.es  
 www.louispasteur.pe

### CADENA DE CUSTODIA

Datos del cliente (A nombre de quien debe salir los resultados): Manuel Martín Zuñiga Molina

Razón social: \_\_\_\_\_ RUC: \_\_\_\_\_  
 Dirección: Av. Los jardines S/N Calca Teléfono: 984184605  
 Contacto: \_\_\_\_\_  
 Muestreo realizado por: Personal del laboratorio  Cliente   
 Fecha de toma de muestreo: 22/02/2023 (\*) Cotización N°: 83-02-2023 SO: \_\_\_\_\_

Nro.	HORA	NOMBRE DE LA MUESTRA	MATRIZ	UBICACION	ANALISIS DE LABORATORIO
1	2:05pm	agua residual de camal		Laboratorio UAC	DOO
2	2:10pm	agua residual de camal		Laboratorio UAC	DOO
		ambas con Tratamiento Fenton			

**OBSERVACIONES EN EL MUESTREO:**  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**PARAMETROS IN SITU:**  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**DATOS ADICIONALES:**  
Av. Los Jardines  
 \_\_\_\_\_

**NOMBRE DEL MUESTREO:** \_\_\_\_\_

Condiciones de Traslado y Preservación de muestras a responsabilidad del muestreador hasta su ingreso al laboratorio. (Llenado en el laboratorio)	
Temperatura ambiente	SI ( ) NO ( )
Refrigerado (Entre 0 – 4°C alimentos y ≤ 6°C aguas)	SI ( ) NO ( )
Temperatura de Ingreso a Laboratorio	
<b>Condición de Recepción de la Muestra (Para uso del laboratorio marcar con una (x))</b>	
En buen estado/cantidad adecuada	SI ( ) NO ( )
Recipiente apropiado	SI ( ) NO ( )
Preservadas	SI ( ) NO ( )
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> c ( )
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:1 ( )
	HCL 1:1 ( )
	Tiosulfato 3% ( )
	Tiosulfato 10% ( )
Dentro del tiempo de conservación	SI ( ) NO ( )

Nombre y apellido del cliente que entrega la muestra: Manuel Martín Zuñiga Molina  
 Fecha y hora de entrega: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_  
 Nombre(s) y Apellidos(s) del Responsable del muestreo: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_  
 Fecha y hora de muestreo: \_\_\_\_\_  
 Personal que Recepciona las muestras:  
 Fecha y hora de recepción: \_\_\_\_\_

(\*) De existir una cotización aprobada, deben consignar el número de cotización  
 LLP-MP14-F04 VER12 AGOSTO 2021

**MATRIZ:**  
 ALIMENTOS PREPARADOS= AP  
 AGUAS SUPERFICIALES= AS  
 ALIMENTOS COCIDOS DE RECONSTITUCION INSTANTANEA= ACR1  
 CEREALES Y DERIVADOS= CD  
 AGUA DE MANANTIAL= AM  
 ENRIQUECIDO LACTEO= EL  
 LECHE Y PRODUCTOS LACTEOS= LPL  
 AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL= ARI  
 MEZCLA FORTIFICADA = MF  
 AGUA POTABLE= AG  
 BIZCOCHOS= B  
 CEREALES Y MENESTRAS = CM  
 AGUA RESIDUAL= AR

1



**Laboratorio Louis Pasteur S.R.L.**

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq  
Celular: 975 713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es  
www.lablouispasteur.pe

### CADENA DE CUSTODIA

Datos del cliente (A nombre de quien debe salir los resultados): Manuel Zuniga Molina

Razón social: \_\_\_\_\_ RUC: \_\_\_\_\_

Dirección: \_\_\_\_\_ Teléfono: \_\_\_\_\_

Contacto: \_\_\_\_\_

Muestreo realizado por: Personal del laboratorio  Cliente

Fecha de toma de muestreo: 15/09/2023 (\*) Cotización N°: 20-03-2023 SO: 0304-2023

Nro.	HORA	NOMBRE DE LA MUESTRA	MATRIZ	UBICACION	ANALISIS DE LABORATORIO
01	16:30	AR Tratada - Frasco n°2	AR	Laboratorio UAC	DQO
02	16:32	AR Tratada - Frasco n°3	AR	Laboratorio UAC	DQO
03	16:34	AR Tratada - Frasco n°4	AR	Laboratorio UAC	DQO
04	16:36	AR Tratada - Frasco n°5	AR	Laboratorio UAC	DQO
05	16:38	AR Tratada - Frasco n°6	AR	Laboratorio UAC	DQO
06	16:40	AR Tratada - Frasco n°7	AR	Laboratorio UAC	DQO
07	16:42	AR Tratada - Frasco n°8	AR	Laboratorio UAC	DQO
08	16:44	AR Tratada - Frasco n°9	AR	Laboratorio UAC	DQO
09	16:46	AR Tratada - Frasco n°10	AR	Laboratorio UAC	DQO
10	16:48	AR Tratada - Frasco n°11	ARI	Laboratorio UAC	DQO

**OBSERVACIONES EN EL MUESTREO:**

Agua residual tratada mediante proceso genlon (efluente de camall)

**PARAMETROS IN SITU:**

**DATOS ADICIONALES:**

**NOMBRE DEL MUESTREO:**

Condiciones de Traslado y Preservación de muestras a responsabilidad del muestreador hasta su ingreso al laboratorio. (Llenado en el laboratorio)

Temperatura ambiente SI ( ) NO (X)

Refrigerado (Entre 0 - 4°C alimentos y ≤ 6°C aguas) SI (X) NO ( )

Temperatura de Ingreso a Laboratorio SI ( ) NO ( )

Condición de Recepción de la Muestra (Para uso del laboratorio marcar con una (x))

En buen estado/cantidad adecuada SI (X) NO ( )

Recipiente apropiado SI (X) NO ( )

Preservadas Agua residual tratada Frasco n°8 SI ( ) NO ( )

Agua residual tratada Frasco n°9 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> c ( )

Agua residual tratada Frasco n°10 H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 1:1 (X)

Agua residual tratada Frasco n°11 HCL 1:1 ( )

Tiosulfato 3% ( )

Tiosulfato 10% ( )

Dentro del tiempo de conservación SI (X) NO ( )

Nombre y apellido del cliente que entrega la muestra: Manuel Zuniga Molina

Fecha y hora de entrega: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo: Manuel Zuniga Molina

Fecha y hora de muestreo: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

Personal que Recepciona las muestras:

Fecha y hora de recepción: \_\_\_\_\_

(\*) De existir una cotización aprobada, deben consignar el número de cotización

LLP-MP14-F04 VER12 AGOSTO 2021

**MATRIZ:**

ALIMENTOS PREPARADOS= AP

AGUAS SUPERFICIALES= AS

ALIMENTOS COCIDOS DE RECONSTITUCION INSTANTANEA= ACR1

CEREALES Y DERIVADOS= CD

AGUA DE MANANTIAL= AM

ENRIQUECIDO LACTEO= EL

LECHE Y PRODUCTOS LACTEOS = LPL

AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL= ARI

MEZCLA FORTIFICADA = MF

AGUA POTABLE= AG

BIZCOCHOS= B

CEREALES Y MENESTRAS = CM

AGUA RESIDUAL= AR



**Laboratorio Louis Pasteur S.R.L.**

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq  
Celular: 975 713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es  
www.lablouispasteur.pe

### CADENA DE CUSTODIA

Datos del cliente (A nombre de quien debe salir los resultados): Manuel Zuniga Molina

Razón social: \_\_\_\_\_ RUC: \_\_\_\_\_

Dirección: Manuel Zuniga Molina Teléfono: \_\_\_\_\_

Contacto: \_\_\_\_\_

Muestreo realizado por: Personal del laboratorio  Cliente

Fecha de toma de muestreo: 15/03/2023 (\*) Cotización N°: 70-03-2023 SO: 0304-2023

Nro.	HORA	NOMBRE DE LA MUESTRA	MATRIZ	UBICACION	ANALISIS DE LABORATORIO
11	16:50	AR tratada - frascos	AR	Laboratorio UAC	DOO
01	16:50	AR tratada - frascos	AR	Laboratorio UAC	DOO
02	16:50	AR tratada - frascos	AR	Laboratorio UAC	DOO
03	16:50	AR tratada - frascos	AR	Laboratorio UAC	DOO
04	16:50	AR tratada - frascos	AR	Laboratorio UAC	DOO
05	16:50	AR tratada - frascos	AR	Laboratorio UAC	DOO
06	16:50	AR tratada - frascos	AR	Laboratorio UAC	DOO
07	16:50	AR tratada - frascos	AR	Laboratorio UAC	DOO
08	16:50	AR tratada - frascos	AR	Laboratorio UAC	DOO
09	16:50	AR tratada - frascos	AR	Laboratorio UAC	DOO
10	16:50	AR tratada - frascos	AR	Laboratorio UAC	DOO

OBSERVACIONES EN EL MUESTREO:  
Agua residual tratada mediante proceso fenton (efluente de camalí)

PARAMETROS IN SITU: \_\_\_\_\_

DATOS ADICIONALES: \_\_\_\_\_

NOMBRE DEL MUESTREO: \_\_\_\_\_

Condiciones de Traslado y Preservación de muestras a responsabilidad del muestreador hasta su ingreso al laboratorio. (Llenado en el laboratorio)	
Temperatura ambiente	SI ( ) NO (X)
Refrigerado (Entre 0 - 4°C alimentos y ≤ 6°C aguas)	SI (X) NO ( )
Temperatura de Ingreso a Laboratorio	SI ( ) NO ( )
Condición de Recepción de la Muestra (Para uso del laboratorio marcar con una (x))	
En buen estado/cantidad adecuada	SI ( ) NO ( )
Recipiente apropiado	SI (X) NO ( )
Preservadas	SI ( ) NO ( )
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> c ( )
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 1:1 (X)
	HCL 1:1 ( )
	Tiosulfato 3% ( )
	Tiosulfato 10% ( )
Dentro del tiempo de conservación	SI ( ) NO ( )

Nombre y apellido del cliente que entrega la muestra: Manuel Zuniga Molina

Fecha y hora de entrega: \_\_\_\_\_ Firma: Manuel

Nombre(s) y Apellidos(s) del Responsable del muestreo: Manuel Zuniga Molina

Fecha y hora de muestreo: \_\_\_\_\_ Firma: Manuel

Personal que Recepciona las muestras: \_\_\_\_\_

Fecha y hora de recepción: \_\_\_\_\_

(\*) De existir una cotización aprobada, deben consignar el número de cotización  
LLP-MP14-F04 VER12 AGOSTO 2021

**MATRIZ:**  
ALIMENTOS PREPARADOS= AP  
AGUAS SUPERFICIALES= AS  
ALIMENTOS COCIDOS DE RECONSTITUCION INSTANTANEA= ACRI  
CEREALES Y DERIVADOS= CD  
AGUA DE MANANTIAL= AM  
ENRIQUECIDO LACTEO= EL  
LECHE Y PRODUCTOS LACTEOS = LPL  
AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL= ARI  
MEZCLA FORTIFICADA = MF  
AGUA POTABLE= AG  
BIZCOCHOS= B  
CEREALES Y MENESTRAS = CM  
AGUA RESIDUAL= AR



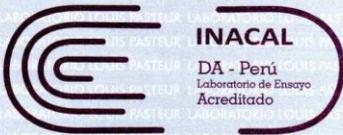
## ANEXO 2 – INFORMES DE ENAYO DE RESULTADOS– LABORATORIO LOUIS PASTEUR

- CARACTERIZACIÓN INICIAL



**LABORATORIO LOUIS PASTEUR**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-042



**INACAL**  
DĀ - Perú  
Laboratorio de Ensayo Acreditado

Registro N°LE - 042

### INFORME DE ENSAYO

#### LLP-1066-2023

#### SO-0296-2023

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**  
**Solicitante:** Manuel Martin Zuniga Molina  
**Dirección Legal:** Av. Los Jardines S/N - Calca

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**  
**Nombre del Producto:** Agua residual de camal  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/03/13  
**Fecha de Ensayo:** 2023/03/13  
**Nro Cotización:** 70-03-2023

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**  
**Muestreo realizado por:** Manuel Martin Zuniga Molina  
**Muestreo fue realizado según el instructivo:**  
 LLP-MP14-106: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico  
**Fecha de Muestreo:** 2023/03/13  
**Hora de Muestreo:** 11:17  
**Procedencia de la Muestra:** Camal Municipal de Calca.  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de polietileno de 250ml; transportado en cadena de frío.

**REPORTE DE RESULTADOS**  
**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/03/20

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

RESULTADOS QUÍMICOS		
Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	4713,94

**Métodos de Referencia:**  
 Demanda Química de Oxígeno (DQO) SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)



Bina Mercedes Mariya Quispe Florez  
C. B. P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere unicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 10 MAYO 2021

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151  
 laboratorioulouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



**Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.**

Urb. Velasco Astete D-18-B  
Wanchaq - Cusco - Perú  
Telefax: 084-234727  
Celular: 975 713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es  
www.lablouispasteur.pe



**OPINIONES E INTERPRETACIONES**

**INFORME DE ENSAYO  
LLP-1066-2023**

Pág. 1 de 1

**DECRETO SUPREMO N° 010-2019-VIVIENDA–Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.**

Determinaciones	Unidad de Medida	Límite Máximo permisible	Valores Hallados	Cumple o No con la Norma
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1000	4713,94	No

**Conclusión:**

**No cumple con los límites establecidos por el DECRETO SUPREMO N° 010-2019-VIVIENDA – Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.**



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-042



INACAL  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-1785-2023**  
**SO-0497-2023**

Registro N° LE - 042

Pág. 1 de 3

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Manuel Zuñiga Molina  
**Dirección Legal:** Av. Los Jardines S/N – Calca.

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

**Nombre del Producto:** Agua residual  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/04/17  
**Fecha de Ensayo:** 2023/04/17  
**Nro Cotización:** 103-04-2023

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

**Muestreo realizado por:** Manuel Zuñiga Molina  
**Muestreo realizado según el instructivo:**  
LLP-MP14-I06: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico.  
**Fecha de Muestreo:** 2023/04/17  
**Hora de toma de muestra:** 11:30  
**Procedencia de la Muestra:** Camal Municipal de Calca.  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de vidrio de 1L, frascos de polietileno de 1L, 500ml y 250ml; transportado en cadena de frío.

**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/04/24

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
pH <sup>R</sup>	Unidades de pH	7,40
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	7402,79
Aceites y grasas	mgAyG/L	116,00
Turbiedad (*)	NTU	7,55
Conductividad (*)	us/cm	1036,00
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	6,7

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL – DA.

<sup>R</sup> Resultado referencial por superar el tiempo establecido por el método para su determinación.

**Métodos de Referencia:**

Demanda Química de Oxígeno (DQO) SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)  
Aceites y Grasas SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 D, 23rd Ed. (2017)  
pH SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. (2017)  
Turbidez 2017 Standard Methods for the examination of Water and Wastewater 23rd EDITION. Part. 2130 Turbidity. B. Nephelometric Method Pag. 2-13 23rd EDITION. Part. 2340 Hardness C. EDTA Titrimetric Method Pag. 2-44  
Conductividad 2017 Standard Methods for the examination of Water and Wastewater 23rd EDITION. Conductivity Part. 2510. B. Laboratory Method Pag. 2-54  
Oxígeno disuelto 2012 Standard Methods for the examination of Water and Wastewater 22ND EDITION. Part. 4500- O Oxygen (Dissolved) C. Azide Modification Pag. 4-139

  
B. Mercedes Matiza Quispe Florez  
C. B. P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 11 MARZO 2023

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco  
Teléfono: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151  
laboratorioulouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



• PRUEBAS EXPERIMENTALES



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N°LE - 042

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-1137-2023**  
**SO-0304-2023**

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Dirección Legal:** Av. los Jardines S/N Calca

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

**Nombre del Producto:** Agua residual tratada – Frasco N° 2  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/03/15  
**Fecha de Ensayo:** 2023/03/15  
**Nro Cotización:** 70-03-2023

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

**Muestreo realizado por:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Muestreo fue realizado según el instructivo:**  
LLP-MP14-I06: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico  
**Fecha de Muestreo:** 2023/03/15  
**Hora de Muestreo:** 16:30  
**Procedencia de la Muestra:** Laboratorio UAC – Agua residual tratada mediante proceso fenton (efluente de camal).  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de polietileno de 250ml; transportado en cadena de frío.

**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/03/20

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	828,69

**Métodos de Referencia:**

**Demanda Química de Oxígeno (DQO)** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)

  
Btga. Mercedes Mariya Quispe Florez  
C. B. P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



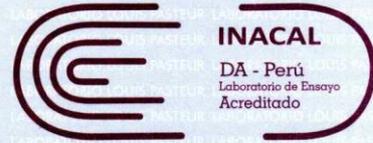
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 10 MAYO 2021

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco  
Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151  
laboratorioulouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N°LE - 042

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-1138-2023**  
**SO-0304-2023**

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Dirección Legal:** Av. los Jardines S/N Calca

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

**Nombre del Producto:** Agua residual tratada – Frasco N° 3  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/03/15  
**Fecha de Ensayo:** 2023/03/15  
**Nro Cotización:** 70-03-2023

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

**Muestreo realizado por:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Muestreo fue realizado según el instructivo:**  
LLP-MP14-106: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico  
**Fecha de Muestreo:** 2023/03/15  
**Hora de Muestreo:** 16:32  
**Procedencia de la Muestra:** Laboratorio UAC – Agua residual tratada mediante proceso fenton (efluente de camal).  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de polietileno de 250ml; transportado en cadena de frío.

**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/03/20

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	312,35

**Métodos de Referencia:**

**Demanda Química de Oxígeno (DQO)** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)

  
Biga Mercedes Maritza Quispe Flórez  
C. B. P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 10 MAYO 2021

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco  
Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N° LE - 042

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-1139-2023**  
**SO-0304-2023**

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Dirección Legal:** Av. los Jardines S/N Calca

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

**Nombre del Producto:** Agua residual tratada – Frasco N° 4  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/03/15  
**Fecha de Ensayo:** 2023/03/15  
**Nro Cotización:** 70-03-2023

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

**Muestreo realizado por:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Muestreo fue realizado según el instructivo:**  
LLP-MP14-106: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico  
**Fecha de Muestreo:** 2023/03/15  
**Hora de Muestreo:** 16:34  
**Procedencia de la Muestra:** Laboratorio UAC – Agua residual tratada mediante proceso fenton (efluente de camal).  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de polietileno de 250ml; transportado en cadena de frío.

**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/03/20

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	669,32

**Métodos de Referencia:**

**Demanda Química de Oxígeno (DQO)** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)

  
Biga Mercedes Maritza Quispe Flores  
C. B. P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 10 MAYO 2021

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco  
Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N°LE - 042

## INFORME DE ENSAYO LLP-1140-2023 SO-0304-2023

Pág. 1 de 1

### INFORMACIÓN DEL CLIENTE

**Solicitante:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Dirección Legal:** Av. los Jardines S/N Calca

### IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

**Nombre del Producto:** Agua residual tratada – Frasco N° 5  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/03/15  
**Fecha de Ensayo:** 2023/03/15  
**Nro Cotización:** 70-03-2023

### INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):

**Muestreo realizado por:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Muestreo fue realizado según el instructivo:**  
LLP-MP14-106: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico  
**Fecha de Muestreo:** 2023/03/15  
**Hora de Muestreo:** 16:36  
**Procedencia de la Muestra:** Laboratorio UAC – Agua residual tratada mediante proceso fenton (efluente de camal).  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de polietileno de 250ml; transportado en cadena de frío.

### REPORTE DE RESULTADOS

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/03/20

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

### RESULTADOS QUÍMICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	254,98

### Métodos de Referencia:

**Demanda Química de Oxígeno (DQO)** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)

  
Blga. Mercedes Maritza Quispe Florez  
C. B. P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



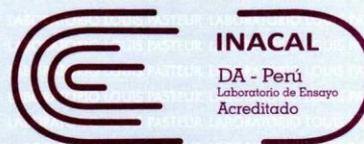
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 10 MAYO 2021

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco  
Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N°LE - 042

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-1141-2023**  
**SO-0304-2023**

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Dirección Legal:** Av. los Jardines S/N Calca

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

**Nombre del Producto:** Agua residual tratada – Frasco N° 6  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/03/15  
**Fecha de Ensayo:** 2023/03/15  
**Nro Cotización:** 70-03-2023

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

**Muestreo realizado por:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Muestreo fue realizado según el instructivo:**  
LLP-MP14-106: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico  
**Fecha de Muestreo:** 2023/03/15  
**Hora de Muestreo:** 16:38  
**Procedencia de la Muestra:** Laboratorio UAC – Agua residual tratada mediante proceso fenton (efluente de camal).  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de polietileno de 250ml; transportado en cadena de frío.

**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/03/20

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	315,54

**Métodos de Referencia:**

**Demanda Química de Oxígeno (DQO)** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)

  
Biga Mercedes Maritza Quispe Florez  
C. B. P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



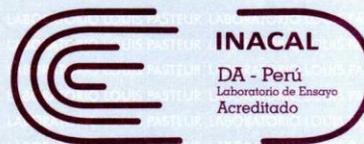
Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 10 MAYO 2021

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco  
Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N° LE - 042

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-1142-2023**  
**SO-0304-2023**

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Manuel Martin Zuñiga Molina  
**Dirección Legal:** Av. los Jardines S/N Calca

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

**Nombre del Producto:** Agua residual tratada – Frasco N° 7  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/03/15  
**Fecha de Ensayo:** 2023/03/15  
**Nro Cotización:** 70-03-2023

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

**Muestreo realizado por:** Manuel Martin Zuñiga Molina  
**Muestreo fue realizado según el instructivo:**  
LLP-MP14-106: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico  
**Fecha de Muestreo:** 2023/03/15  
**Hora de Muestreo:** 16:40  
**Procedencia de la Muestra:** Laboratorio UAC – Agua residual tratada mediante proceso fenton (efluente de camal).  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de polietileno de 250ml; transportado en cadena de frío.

**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/03/20

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	124,30

**Métodos de Referencia:**

**Demanda Química de Oxígeno (DQO)** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)

  
Blga. Mercedes Maritza Quispe Flórez  
C. B. P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 10 MAYO 2021

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco  
Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N°LE - 042

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-1143-2023**  
**SO-0304-2023**

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Dirección Legal:** Av. los Jardines S/N Calca

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

**Nombre del Producto:** Agua residual tratada – Frasco N° 8  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/03/15  
**Fecha de Ensayo:** 2023/03/15  
**Nro Cotización:** 70-03-2023

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

**Muestreo realizado por:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Muestreo fue realizado según el instructivo:**  
LLP-MP14-106: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico  
**Fecha de Muestreo:** 2023/03/15  
**Hora de Muestreo:** 16:42  
**Procedencia de la Muestra:** Laboratorio UAC – Agua residual tratada mediante proceso fenton (efluente de camal).  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de polietileno de 250ml; transportado en cadena de frío.

**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/03/20

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	1115,54

**Métodos de Referencia:**

**Demanda Química de Oxígeno (DQO)** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)

  
Blga. Mercedes Manta Quispe Fiorez  
C. B. P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 10 MAYO 2021

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N°LE - 042

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-1144-2023**  
**SO-0304-2023**

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Dirección Legal:** Av. los Jardines S/N Calca

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

**Nombre del Producto:** Agua residual tratada – Frasco N° 9  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/03/15  
**Fecha de Ensayo:** 2023/03/15  
**Nro Cotización:** 70-03-2023

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

**Muestreo realizado por:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Muestreo fue realizado según el instructivo:**  
LLP-MP14-106: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico  
**Fecha de Muestreo:** 2023/03/15  
**Hora de Muestreo:** 16:44  
**Procedencia de la Muestra:** Laboratorio UAC – Agua residual tratada mediante proceso fenton (efluente de camal).  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de polietileno de 250ml; transportado en cadena de frío.

**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/03/20

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	458,96

**Métodos de Referencia:**

**Demanda Química de Oxígeno (DQO)** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)

  
Blga. Mercedes Maniza Quispe Fiorez  
C. B. P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 10 MAYO 2021

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N°LE - 042

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-1145-2023**  
**SO-0304-2023**

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Dirección Legal:** Av. los Jardines S/N Calca

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

**Nombre del Producto:** Agua residual tratada – Frasco N° 10  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/03/15  
**Fecha de Ensayo:** 2023/03/15  
**Nro Cotización:** 70-03-2023

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

**Muestreo realizado por:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Muestreo fue realizado según el instructivo:**  
LLP-MP14-106: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico  
**Fecha de Muestreo:** 2023/03/15  
**Hora de Muestreo:** 16:46  
**Procedencia de la Muestra:** Laboratorio UAC – Agua residual tratada mediante proceso fenton (efluente de camal).  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de polietileno de 250ml; transportado en cadena de frío.

**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/03/20

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	172,11

**Métodos de Referencia:**

**Demanda Química de Oxígeno (DQO)** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)

  
Blga. Mercedes Maritza Quispe Fiorez  
C. B. P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 10 MAYO 2021

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N° LE - 042

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-1146-2023**  
**SO-0304-2023**

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Dirección Legal:** Av. los Jardines S/N Calca

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

**Nombre del Producto:** Agua residual tratada – Frasco N° 11  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/03/15  
**Fecha de Ensayo:** 2023/03/15  
**Nro Cotización:** 70-03-2023

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

**Muestreo realizado por:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Muestreo fue realizado según el instructivo:**  
LLP-MP14-106: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico  
**Fecha de Muestreo:** 2023/03/15  
**Hora de Muestreo:** 16:48  
**Procedencia de la Muestra:** Laboratorio UAC – Agua residual tratada mediante proceso fenton (efluente de camal).  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de polietileno de 250ml; transportado en cadena de frío.

**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/03/20

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	286,85

**Métodos de Referencia:**

Demanda Química de Oxígeno (DQO) SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)

  
Biga Mercedes Maritza Quispe Flores  
C. B / P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 10 MAYO 2021

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco  
Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N° LE - 042

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-1147-2023**  
**SO-0304-2023**

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Dirección Legal:** Av. los Jardines S/N Calca

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

**Nombre del Producto:** Agua residual tratada – Frasco N° 12  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/03/15  
**Fecha de Ensayo:** 2023/03/15  
**Nro Cotización:** 70-03-2023

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

**Muestreo realizado por:** Manuel Martín Zuñiga Molina  
**Muestreo fue realizado según el instructivo:**  
LLP-MP14-106: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico  
**Fecha de Muestreo:** 2023/03/15  
**Hora de Muestreo:** 16:50  
**Procedencia de la Muestra:** Laboratorio UAC – Agua residual tratada mediante proceso fenton (efluente de camal).  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de polietileno de 250ml; transportado en cadena de frío.

**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/03/20

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	270,92

**Métodos de Referencia:**

**Demanda Química de Oxígeno (DQO)** SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)

  
Blga. Mercedes Malizza Quispe Flores  
C. B. P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 10 MAYO 2021

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco  
Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



• **CARACTERIZACIÓN FINAL**



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-042



Registro N°LE - 042

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-1066-2023**  
**SO-0296-2023**

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Manuel Martin Zuniga Molina  
**Dirección Legal:** Av. Los Jardines S/N - Calca

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

**Nombre del Producto:** Agua residual de camal  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/03/13  
**Fecha de Ensayo:** 2023/03/13  
**Nro Cotización:** 70-03-2023

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

**Muestreo realizado por:** Manuel Martin Zuniga Molina  
**Muestreo fue realizado según el instructivo:**  
LLP-MP14-I06: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico  
**Fecha de Muestreo:** 2023/03/13  
**Hora de Muestreo:** 11:17  
**Procedencia de la Muestra:** Camal Municipal de Calca.  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de polietileno de 250ml; transportado en cadena de frío.

**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/03/20

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	4713,94

**Métodos de Referencia:**

Demanda Química de Oxígeno (DQO) SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)

  
Blga. Mercedes Marija Quispe Florez  
C. B. P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 10 MAYO 2021

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



**Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.**

Urb. Velasco Astete D-18-B  
Wanchaq - Cusco - Perú  
Telefax: 084-234727  
Celular: 975 713500 - 974787151  
laboratoriolouispasteur@yahoo.es  
www.lablouispasteur.pe



**OPINIONES E INTERPRETACIONES**

**INFORME DE ENSAYO  
LLP-1066-2023**

Pág. 1 de 1

**DECRETO SUPREMO N° 010-2019-VIVIENDA–Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.**

Determinaciones	Unidad de Medida	Límite Máximo permisible	Valores Hallados	Cumple o No con la Norma
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1000	4713,94	No

**Conclusión:**

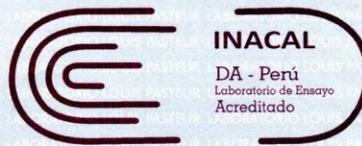
**No cumple con los límites establecidos por el DECRETO SUPREMO N° 010-2019-VIVIENDA – Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.**



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados . El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-042



INACAL  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-1785-2023**  
**SO-0497-2023**

Registro N° LE - 042

Pág. 1 de 3

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**

**Solicitante:** Manuel Zuñiga Molina  
**Dirección Legal:** Av. Los Jardines S/N – Calca.

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**

**Nombre del Producto:** Agua residual  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/04/17  
**Fecha de Ensayo:** 2023/04/17  
**Nro Cotización:** 103-04-2023

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**

**Muestreo realizado por:** Manuel Zuñiga Molina  
**Muestreo realizado según el instructivo:**  
LLP-MP14-I06: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico.  
**Fecha de Muestreo:** 2023/04/17  
**Hora de toma de muestra:** 11:30  
**Procedencia de la Muestra:** Camal Municipal de Calca.  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de vidrio de 1L, frascos de polietileno de 1L, 500ml y 250ml; transportado en cadena de frío.

**REPORTE DE RESULTADOS**

**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/04/24

**Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.**

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
pH <sup>R</sup>	Unidades de pH	7,40
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	7402,79
Aceites y grasas	mgAyG/L	116,00
Turbiedad (*)	NTU	7,55
Conductividad (*)	us/cm	1036,00
Oxígeno disuelto (*)	mg/L	6,7

(\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL – DA.  
<sup>R</sup> Resultado referencial por superar el tiempo establecido por el método para su determinación.

**Métodos de Referencia:**

Demanda Química de Oxígeno (DQO) SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)  
Aceites y Grasas SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 D, 23rd Ed. (2017)  
pH SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. (2017)  
Turbidez 2017 Standard Methods for the examination of Water and Wastewater 23rd EDITION. Part. 2130 Turbidity. B. Nephelometric Method Pag. 2-13 23rd EDITION. Part. 2340 Hardness C. EDTA Titrimetric Method Pag. 2-44  
Conductividad 2017 Standard Methods for the examination of Water and Wastewater 23rd EDITION. Conductivity Part. 2510. B. Laboratory Method Pag. 2-54  
Oxígeno disuelto 2012 Standard Methods for the examination of Water and Wastewater 22ND EDITION. Part. 4500- O Oxygen (Dissolved) C. Azide Modification Pag. 4-139

  
B. Mercedes Matiza Quispe Florez  
C. B. P. 4917  
DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 11 MARZO 2023

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco  
Teléfono: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151  
laboratorioulouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe



• COAGULACIÓN



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-042



INACAL DA - Perú Laboratorio de Ensayo Acreditado

INFORME DE ENSAYO LLP-1845-2023 SO-0505-2023

Registro N°LE - 042

Pág. 1 de 1

INFORMACIÓN DEL CLIENTE

Solicitante: Manuel Zuñiga Molina Dirección Legal: Av. los Jardines S/N Calca

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

Nombre del Producto: Agua residual tratada Frasco N° 2 Matriz química: Agua residual Fecha de Ingreso de Muestra: 2023/04/18 Fecha de Ensayo: 2023/04/18 Nro Cotización: 103-04-2023

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):

Muestreo realizado por: Manuel Zuñiga Molina Muestreo fue realizado según el instructivo: LLP-MP14-106: Instructivo Toma - Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico Fecha de Muestreo: 2023/04/17 Procedencia de la Muestra: Laboratorio UAC. Cantidad y Descripción de la Muestra: 01 frasco de polietileno de 250ml; transportado en cadena de frío.

REPORTE DE RESULTADOS

Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2023/04/25

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.

RESULTADOS QUÍMICOS

Table with 3 columns: Ensayo(s), Unidad, Resultado(s). Row 1: DQO, mg O2/L, 3267,07

Métodos de Referencia:

Demanda Química de Oxígeno (DQO) SMEVWV-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)

Handwritten signature and stamp of the Director of Quality System: Bigl. Mercedes Maritza Quispe Flórez C.B.P. 4917 DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 11 MARZO 2023

Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151 laboratoriolouispasteur@yahoo.es www.lablouispasteur.pe

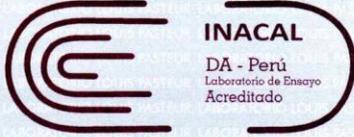


- BLANCO 24 horas



**LABORATORIO LOUIS PASTEUR**

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE-042



**INACAL**  
DA - Perú  
Laboratorio de Ensayo  
Acreditado

**INFORME DE ENSAYO**  
**LLP-1849-2023**  
**SO-0506-2023**

Registro N°LE - 042

Pág. 1 de 1

**INFORMACIÓN DEL CLIENTE**  
**Solicitante:** Manuel Zuñiga Molina  
**Dirección Legal:** Av. los Jardines S/N Calca

**IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA**  
**Nombre del Producto:** Agua residual tratada Frasco N° 1  
**Matriz química:** Agua residual  
**Fecha de Ingreso de Muestra:** 2023/04/18  
**Fecha de Ensayo:** 2023/04/18  
**Nro Cotización:** 103-04-2023

**INFORMACIÓN DE LA MUESTRA (Datos declarados por el cliente):**  
**Muestreo realizado por:** Manuel Zuñiga Molina  
**Muestreo fue realizado según el instructivo:**  
 LLP-MP14-106: Instructivo Toma – Preservación de Muestras de Aguas - Laboratorio Químico  
**Fecha de Muestreo:** 2023/04/18  
**Procedencia de la Muestra:** Laboratorio de UAC.  
**Cantidad y Descripción de la Muestra:** 01 frasco de polietileno de 250ml; transportado en cadena de frío.

**REPORTE DE RESULTADOS**  
**Fecha de Emisión de Informe de Ensayo:** 2023/04/25

*Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió de acuerdo a los datos declarados por el cliente.*

**RESULTADOS QUÍMICOS**

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	6610,78

**Métodos de Referencia:**  
 Demanda Química de Oxígeno (DQO)      SMEVWV-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)



Mercedes Mariela Quispe Flórez  
C. B. 4917  
**DIRECTOR DE SISTEMA DE CALIDAD**



Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados. El presente informe de ensayo se refiere únicamente a la muestra analizada.

LLP-MP17-F02 VER 11 MARZO 2023

**Urb. Velasco Astete D-18-B Wanchaq - Cusco** **Telefax: 084-234727 - Cel. 975713500 - 974787151**  
**laboratoriolouispasteur@yahoo.es    www.lablouispasteur.pe**



### ANEXO 3 – PANEL FOTOGRAFICO

- METODOLOGÍA EMPELADA EN LA TOMA DE MUESTRA





- APLICACIÓN DEL PROCESO FENTON PARA LA REDUCCIÓN DE LA DQO

