

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**INFLUENCIA DEL EFLUENTE DEL MATADERO DE LA CIUDAD DE TOCACHE
EN LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA PUCAYACU, 2024**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

LEIDY MARIEL POMAHUALI SEVILLANO

Tingo María – Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 016-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 15 de noviembre 2024, a horas 1:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“INFLUENCIA DEL EFLUENTE DEL MATADERO DE LA CIUDAD DE TOCACHE EN
LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA PUCAYACU, 2024”**

Presentado por la Bachiller: **LEIDY MARIEL POMAHUALI SEVILLANO**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.


En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 21 de enero de 2025


Ing. MSc. **FRANKLIN DIONISIO MONTALVO**
PRESIDENTE


Ing. MSc. **ABBY SOLANGE DA CRUZ RODRIGUEZ**
MIEMBRO




Ing. MSc. **SANDRA LORENA ZAVALA GUERRERO**
MIEMBRO


Dr. **VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO**
ASESOR



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS

Correo: repositorio@unas.edu.pe



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 041 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
INFLUENCIA DEL EFLUENTE DEL MATADERO DE LA CIUDAD DE TOCACHE EN LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA PUCAYACU, 2024	LEIDY MARIEL POMAHUALI SEVILLANO	12 % Doce

Tingo María, 30 de enero de 2025

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomas Méndez M. Qui

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



INFLUENCIA DEL EFLUENTE DEL MATADERO DE LA CIUDAD DE TOCACHE
EN LA CALIDAD DEL AGUA DE LA QUEBRADA PUCAYACU, 2024

Autor : Pomahuali Sevillano, Leidy Mariel

Asesor : Dr. Víctor Manuel Beteta Alvarado

Programa de investigación : Ciencia y Tecnologías Ambientales

Línea de investigación : Tratamiento de Agua

Eje Temático : Desarrollo de técnicas y mejoras en el tratamiento de agua

Lugar de ejecución : Tocache

Duración del trabajo : 14 de febrero 2024
15 de noviembre 2024

Financiamiento : Propio

Presupuesto : S/ 2641,1

Tingo María – Perú, 2024

DEDICATORIA

A Dios, por iluminar mi camino en cada en cada paso de esta aventura. Su fuerza y sabiduría me han brindado la determinación para superar los desafíos y alcanzar esta meta.

A mis padres: Walter y Armandina, por su apoyo constante y su confianza puesta en mí. Este logro es un testimonio del valor de sus enseñanzas.

A mis queridas hermanas: Tatiana y Mayte, por ser mi fuente de alegría y fortaleza. Su apoyo y comprensión han hecho que esto sea más llevadero y significativo.

A mis queridas mascotas: Masha, Oso, Jisoo y Filo, por su leal compañía y su capacidad única de brindar alegría en los días más duros.

Les dedico a cada uno de ustedes por ser parte fundamental de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales para que esto fuera posible.

Primero y ante todo a mi familia por su constante apoyo y aliento durante mi vida profesional.

A Jesús Dario por brindarme su comprensión, apoyo, tiempo y experiencia para la ejecución de mi proyecto.

A mi asesor el Dr. Víctor Manuel Beteta Alvarado, por su guía experta y paciencia. Su apoyo académico y profesional han sido cruciales para el desarrollo y culminación de esta investigación.

A los miembros de jurado de mi tesis por sus exhaustivas revisiones y sugerencias que han sido fundamentales para mejorar la calidad de esta investigación.

A los encargados y practicantes del Laboratorio de Calidad del agua y Laboratorio de Microbiología Ambiental, por brindarme su tiempo y experiencia para la ejecución de mi proyecto.

ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general	2
1.1.1. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Estado del arte	3
2.1.1. A nivel internacional	3
2.1.2. A nivel Nacional	5
2.2. Marco teórico	6
2.2.1. Mataderos	6
2.2.2. Estándar de Calidad Ambiental.....	19
2.2.3. Límite Máximo Permisible	20
2.2.4. Índice de calidad de agua (ICA).....	20
2.2.5. Parámetros de estudio	21
III. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Lugar de ejecución	27
3.1.1. Ubicación política	27
3.1.2. Ubicación geográfica del área de monitoreo.....	27
3.1.3. Aspectos sociales y ambientales de la zona	28
3.2. Materiales y equipos.....	33
3.2.1. Materiales	33
3.2.2. Reactivos y medios de cultivo.....	33
3.2.3. Equipos.....	33
3.2.4. Programas.....	33
3.3. Métodos.....	34
3.3.1. Tipo de investigación	34

3.3.2.	Variables de estudio	34
3.3.3.	Diseño de investigación	34
3.4.	Metodología.....	35
3.4.1.	Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la quebrada Pucayacu	35
3.4.2.	Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente del matadero de la ciudad de Tocache	38
3.4.3.	Determinación de la influencia del efluente del matadero en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu.....	39
3.4.4.	Identificación de alternativas para reducir los contaminantes presentes en el efluente del matadero de la ciudad de Tocache.....	41
3.5.	Análisis estadístico	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1.	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la quebrada Pucayacu.....	42
4.1.1.	Parámetros fisicoquímicos	42
4.1.2.	Parámetros microbiológicos.....	53
4.2.	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente del matadero de la ciudad de Tocache	55
4.2.1.	Parámetros fisicoquímicos	55
4.2.2.	Parámetros microbiológicos.....	63
4.3.	Influencia del efluente del matadero en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu.....	64
4.4.	Alternativas para reducir los contaminantes presentes en el efluente del matadero de la ciudad de Tocache	66
V.	CONCLUSIÓN	72
VI.	PROPUESTAS A FUTURO	73
VII.	REFERENCIAS	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Características del agua residual de un matadero.....	9
2. Ventajas y desventajas del ultrasonido.....	10
3. Ventajas y desventajas de la filtración por aire disuelto.	11
4. Ventajas y desventajas de la electrocoagulación.....	11
5. Ventajas y desventajas del proceso fenton.	12
6. Ventajas y desventajas de los filtros anaeróbicos.	14
7. Ventajas y desventajas de los humedales artificiales.	14
8. Ventajas y desventajas de la digestión anaeróbica.	15
9. Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR domésticas o municipales.....	20
10. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo.	27
11. Temperatura promedio mensual multianual (°C) de febrero a mayo del 2021 al 2024. ...	28
12. Humedad relativa (%) y precipitación promedio (mm/día) de febrero a mayo del 2024. ...	28
13. Distancia, tipo y estado de la carretera hasta la quebrada Pucayacu.....	29
14. Cantidad de animales faenados en 5 días durante febrero a mayo del 2024.	30
15. Recolección y destino final de los residuos orgánicos del matadero.	32
16. Estándar de Calidad Ambiental para agua de la categoría 3.	38
17. Rango y calificación del índice de calidad del agua.....	40
18. Prueba t de Student para muestras relacionadas en los puntos 1, 3 y 4.....	66
19. Alternativa de procedimiento de recolección de residuos orgánicos de mataderos.	66
20. Alternativas de aprovechamiento de residuos orgánicos de mataderos.	67
21. Tratamientos fisicoquímicos aplicados a aguas residuales de mataderos.	69
22. Tratamientos biológicos aplicados a aguas residuales de mataderos.	70
23. Datos de campo para calcular el caudal	94
24. Caudal (m ³ /s) por cada mes de monitoreo de la quebrada Pucayacu.	95
25. Caudal del efluente del matadero de la ciudad de Tocache.	96
26. Medidas de tendencia central del caudal de la quebrada Pucayacu.	97
27. Medidas de tendencia central del pH en los puntos 1,3 y 4.	97
28. Medidas de tendencia central de temperatura (°C) en los puntos 1,3 y 4.	98
29. Medidas de tendencia central de conductividad eléctrica (µS/cm) en los puntos 1,3 y 4. ...	98
30. Medidas de tendencia central del DBO ₅ (mg/L) en los puntos 1,3 y 4.	99
31. Medidas de tendencia central del DQO (mg/L) en los puntos 1,3 y 4.	99

32. Medidas de tendencia central de coliformes termo tolerantes (NMP/ 100 mL) en los puntos 1,3 y 4.	100
33. Medidas de tendencia central del caudal del punto 2.	100
34. Medidas de tendencia central del pH del punto 2.	100
35. Medidas de tendencia central de la temperatura (°C) del punto 2.....	101
36. Medidas de tendencia central de la conductividad eléctrica (µS/cm) del punto 2.	101
37. Medidas de tendencia central del DBO ₅ (mg/L) del punto 2.	101
38. Medidas de tendencia central del DQO (mg/L) del punto 2.	101
39. Medidas de tendencia central de los coliformes termo tolerantes (NMP/100 mL) del punto 2.....	101
40. Medidas de tendencia central del índice de calidad del agua en los puntos 1,3 y 4.....	102
41. Generación de residuos orgánicos por animal faenado en el matadero.....	103
42. Generación de residuos orgánicos en 5 días de faenado.	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Entrada y salida de residuos orgánicos del matadero.....	30
2. Generación de residuos orgánicos por animal faenado.....	31
3. Generación de residuos orgánicos en 5 días de faenado.....	31
4. Diseño de investigación.....	34
5. Caudal promedio (m ³ /s) de la quebrada Pucayacu.....	42
6. Límite del estándar de pH referente al valor promedio en los puntos 1,3 y 4.....	43
7. Límite del estándar de temperatura (°C) referente al valor promedio en los puntos 1, 3 y 4.....	45
8. Límite del estándar de conductividad eléctrica (µS/cm) referente al valor promedio en los puntos 1,3 y 4.....	48
9. Límite del estándar de DBO ₅ (mg/L) referente al valor promedio en los puntos 1,3 y 4.	50
10. Límite del estándar de DQO (mg/L) referente al valor promedio en los puntos 1,3 y 4...52	
11. Límite del estándar de coliformes termo tolerantes (NMP/ 100 mL) referente al valor promedio en los puntos 1,3 y 4.....	53
12. Caudal promedio (m ³ /s) del efluente del matadero de la ciudad de Tocache.....	55
13. Límite permisible de pH referente al valor promedio en el Punto 2.....	57
14. Límite permisible de temperatura (°C) referente al valor promedio en el Punto 2.....	58
15. Conductividad eléctrica (µS/cm) del Punto 2.....	59
16. Límite permisible de DBO ₅ (mg/L) referente al valor promedio en el Punto 2.....	60
17. Límite permisible de DQO (mg/L) referente al valor promedio en el Punto 2.....	62
18. Límite permisible de coliformes termo tolerantes (NMP/ 100 mL) referente al valor promedio en el Punto 2.....	63
19. Índice de calidad del agua (ICA- PE) en los puntos 1,3 y 4 de la quebrada Pucayacu.....	64
20. Ubicación de los puntos de monitoreo de la quebrada Pucayacu y del matadero de la ciudad de Tocache.....	104
21. Representación de la calidad de agua (ICA – PE) de los puntos de monitoreo.....	105
22. Difusión de los resultados obtenidos en la investigación, dirigida a la Municipalidad Provincial de Tocache.....	106
23. Solicitud de uso del laboratorio de calidad de agua.....	107
24. Solicitud de uso del laboratorio de microbiología ambiental.....	108
25. Notificación de aceptación para el ingreso al matadero de la ciudad de Tocache.....	109

26. Solicitud de préstamo de equipo para medición de parámetros in situ.	110
27. Medición del tiempo de llegada del flotador.	111
28. Medición del ancho de la quebrada Pucayacu.	111
29. Medición de parámetros in situ del punto 1.	112
30. Medición de parámetros in situ del punto 3.	112
31. Recolección de muestra del punto 4.	113
32. Recolección de muestra del punto 2 para el análisis de DBO ₅	113
33. Recolección de muestra del punto 2 para el análisis de DQO.	114
34. Pesaje del Caldo EC para determinar la presencia de coliformes termo tolerantes.	114
35. Inoculación en los tubos para determinar la presencia de coliformes termo tolerantes. .	115
36. Coloración verde en los viales del punto 2 después de pasar por el espectofotómetro. .	115
37. Supervisión del miembro de jurado.	116
38. División de las áreas a lo largo del ancho de la quebrada.	116
39. Pesado de las vísceras no comestibles.	117
40. Sangre recolectada en recipientes sin tapa.	117
41. Residuos orgánicos del proceso de faenado de bovinos y porcinos.	118
42. Residuos orgánicos del proceso de faenado de bovinos y porcinos.	118
43. Proceso de desangrado de los porcinos.	119
44. Charla de difusión de los resultados obtenidos en la investigación, dirigida a los trabajadores del matadero.	119
45. Lista de participantes a la charla de difusión.	120

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo determinar la influencia del efluente del matadero de la ciudad de Tocache en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu. Se determinaron parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a 20 m antes, 150 y 200 m después del efluente, y en el mismo efluente; luego se determinó la influencia del efluente en la calidad del agua de la quebrada aplicando el índice de calidad de agua de Perú (ICA-PE). Los resultados indicaron que, durante épocas de precipitaciones la quebrada presentó un caudal de $0,53 \text{ m}^3/\text{s}$, superando los valores de pH, temperatura, DBO_5 y DQO establecidos en los estándares de calidad del agua para riego de vegetales y bebida de animales. Respecto al efluente, se obtuvo un caudal de $0,004 \text{ m}^3/\text{s}$ superando los límites máximos de DBO_5 y DQO establecidos para efluentes de PTAR domésticas o municipales. Según el ICA-PE, la calidad del agua de la quebrada a 20 m antes del efluente fue de 97,9 (excelente); mientras que a 150 y 200 m después, disminuyó a 88,05 y 89,06 (bueno), respectivamente. Además, se identificaron como alternativas viables para reducir DBO_5 y DQO la valorización de los residuos orgánicos mediante digestión anaeróbica y el tratamiento de aguas residuales con un sistema combinado de filtro anaeróbico y humedal artificial, garantizando una remoción eficiente y sostenible de contaminantes. Concluyendo así que el efluente del matadero influye significativamente en la calidad del agua de la quebrada, produciendo una disminución en su calidad a 150 y 200 m después del efluente.

Palabras claves: Agua residual, índice de calidad del agua, faenado.

ABSTRACT

The objective of this research was to determine the influence of the effluent from the slaughterhouse in the city of Tocache on the quality of the water in the Pucayacu ravine. The physicochemical and microbiological parameters were determined at 20 m before, 150 and 200 m after the effluent, and in the effluent; later the influence of the effluent on the quality of the water in the ravine was determined by applying the Peruvian water quality index (ICA-PE; acronym in Spanish). The results indicated that during the rainy season the ravine presented a flow of 0,53 m³/s, surpassing the pH, temperature, BOD₅ (DBO₅) and COD (DQO) values established for the water quality standards for watering vegetables and for animals to drink. With respect to the effluent, a flow of 0,004 m³/s was obtained, surpassing the maximum limits for the BOD₅ and COD that are established for domestic and municipal WWTP (PTAR) effluents. According to the ICA-PE, the water quality from the ravine at 20 m before the effluent, was 97,9 (excellent); meanwhile at 150 and 200 m after, it decreased to 88,05 and 89,06 (good), respectively. Moreover, the valorization of organic waste through anaerobic digestion and the treatment of waste water with a system combined from anaerobic filtration and artificial wetlands were identified as viable alternatives for reducing the BOD₅ and COD; guaranteeing an efficient and sustainable removal of contaminants. Thus, it was concluded that the effluent from the slaughterhouse significantly influenced the quality of the water in the ravine, producing a decrease in its quality at 150 and 200 m after the effluent.

Keywords: waste water, water quality index, slaughtered

I. INTRODUCCIÓN

Los mataderos son establecimientos que generan grandes volúmenes de aguas residuales con elevadas concentraciones de materia orgánica, nutrientes y patógenos. Si estas aguas no reciben tratamiento antes de ser descargados a aguas superficiales, pueden alterar la calidad del agua, comprometer la biodiversidad de los ecosistemas acuáticos y afectar la salud de la población local.

En Perú, aunque noventa y seis mataderos entre privados y municipales cuentan con autorización sanitaria de funcionamiento (Servicio Nacional de Sanidad Agraria, 2023), muchos de ellos continúan vertiendo sus aguas residuales sin tratamiento. Esta situación se agrava debido a la falta de regulación efectiva y de recursos para el tratamiento de sus efluentes, lo que contribuye a la contaminación de los cuerpos de agua en diversas regiones del país.

La ciudad de Tocache no es ajena a esta problemática, puesto que el matadero vierte sus aguas residuales sin tratamiento a la quebrada Pucayacu y aguas abajo son utilizadas por la población local para el riego de sus sembríos y bebida de sus animales. Este problema se agrava debido a las inadecuadas condiciones técnicas y sanitarias que presenta este matadero. Por lo tanto, es esencial contar con información sobre la calidad del agua de la quebrada Pucayacu, el cual permitirá la aplicación de propuestas futuras para la protección de este recurso, teniendo en cuenta el aspecto socioeconómico y cultural de sus habitantes.

Es así que, se pretende determinar la influencia del efluente del matadero de la ciudad de Tocache en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu, formulándose la siguiente interrogante: ¿Cómo influye el efluente del matadero de la ciudad de Tocache en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu, 2024?, teniendo como hipótesis que: el efluente del matadero de la ciudad de Tocache influye significativamente en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu, produciendo una disminución en su calidad.

1.1. Objetivo general

Determinar la influencia del efluente del matadero de la ciudad de Tocache en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu.

1.1.1. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la quebrada Pucayacu.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente del matadero de la ciudad de Tocache.
- Determinar la influencia del efluente del matadero en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu.
- Identificar alternativas para reducir los contaminantes presentes en el efluente del matadero de la ciudad de Tocache.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Estado del arte

2.1.1. A nivel internacional

Kbibch et al. (2024) en Marruecos analizaron las características fisicoquímicas del efluente de un matadero para recomendar un tratamiento adecuado. Obtuvieron que el efluente presenta un pH de 7,57; conductividad eléctrica de 2 690 $\mu\text{S}/\text{cm}$, DBO_5 de 186 mg/L y DQO de 280 mg/L. Concluyeron que el agua residual del matadero presenta una elevada carga orgánica biodegradable, por lo que puede ser tratado biológicamente.

Kenechukwu et al. (2023), en Nigeria estudiaron el impacto de los efluentes residuales de un matadero en el río Ezu. Obtuvieron que el efluente presenta un pH de 7,78; conductividad eléctrica de 274,76 $\mu\text{S}/\text{cm}$, DBO_5 de 280 mg/L, DQO de 234,70 mg/L y coliformes termo tolerantes de $3,4 \times 10^3$ NMP/ 100 mL. Además, 40 m antes del efluente, 30, 60 y 80 m después del efluente, el río presenta una conductividad eléctrica de 149,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 150,20 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 149,30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 148,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$, DBO_5 de 181,30 mg/L, 137,60 mg/L, 124,20 mg/L y 117,80 mg/L, DQO de 77,33 mg/L, 52,30 mg/L, 50,10 mg/L y 48 mg/L y coliformes termo tolerantes de $4,1 \times 10^3$ NMP/100 mL, $3,8 \times 10^4$ NMP/100 mL; $3,4 \times 10^2$ NMP/100 mL y $2,3 \times 10^2$ NMP/100 mL, respectivamente. Concluyeron que el agua del río presenta riesgos a la salud si es consumida sin un previo tratamiento y el matadero

Ndukwe et al. (2023), en Nigeria analizaron el efecto de agua residual de un matadero en la calidad del agua del río Iwofe. Para ello recolectaron muestras antes y después del efluente y obtuvieron un pH de 7,19 y 7,36, una temperatura de 28,50 °C y 29,30 °C, DBO_5 de 0,42 mg/L y 3,08 mg/L, DQO de 5,90 mg/L y 18,50 mg/L. Concluyeron que la descarga sin tratamiento del efluente del matadero contribuye a la mala calidad de los ríos, requiriendo de una adecuada gestión y eliminación de sus residuos.

Aniobi et al. (2022), en Nigeria evaluaron el impacto ambiental de los efluentes de un matadero en la calidad del agua de pozos. Obtuvieron que el agua de los pozos ubicados a 5, 10, 15 y 140 m, presentan un pH de 6,64; 6,82; 7,07 y 6,88, conductividad eléctrica

de 117,32 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 104,11 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 96,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 71 ,02 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y DBO_5 de 2,88 mg/L, 2,09 mg/L, 1,35 mg/L y 1,04 mg/L, respectivamente. Concluyeron que la proximidad al efluente del matadero afecta la calidad del agua disponible para consumo.

Hassimi et al. (2022) en India estudiaron el impacto del vertido de residuos líquidos y sólidos al río Níger y para ello, cuantificaron los residuos sólidos y luego analizaron las características del efluente. Obtuvieron que los residuos sólidos que el matadero libera son estiércol, plástico, trozos de piel y restos del estómago e intestinos. Además, obtuvieron que el efluente del matadero presenta un pH de 7,08; temperatura de 28,60 °C, conductividad eléctrica de 985 $\mu\text{S}/\text{cm}$, DBO_5 de 5 338,50 mg/L y DQO de 12 860 mg/L. Concluyeron que el efluente presenta un riesgo de contaminación ambiental y debe de tratarse antes de su descarga.

Abdouni et al. (2021), en Marruecos caracterizaron el agua residual de un matadero en la salida de su planta de tratamiento. Obtuvieron que el agua residual antes y después del tratamiento presentan un pH 7,47 y 6,97, temperatura de 19,8 °C y 21,1 °C, DBO_5 de 740 mg/L y 220 mg/L y DQO de 1 280 mg/L y 449 mg/L, respectivamente. Concluyeron que la planta de tratamiento opera eficientemente, cumpliendo con las normativas marroquíes.

Ocheje et al. (2021), en Nigeria estudiaron las características fisicoquímicas de los efluentes de tres mataderos y su descarga en tres ríos diferentes. Obteniendo que el primero, segundo y tercer efluente presentan un pH de 7,56; 7,34 y 7,34; una conductividad eléctrica de 513 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 281 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, un DBO_5 de 73, 50 mg/L; 76 mg/L y 54,90 mg/L y un DQO de 5 305 mg/L; 4 351 mg/L y 3 450 mg/L, respectivamente. Además, obtuvieron que el primer río antes y después del efluente presenta un pH de 7,09 y 7,34; una conductividad eléctrica de 247 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 501 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y DBO_5 de 14 mg/L a 55,40 mg/L, respectivamente. El segundo río antes y después del efluente presenta un pH de 7,22 y 7,31; una conductividad eléctrica de 221 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 269 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y DBO_5 de 12 mg/L y 56,80 mg/L, respectivamente. El tercer río antes y después del efluente presenta un pH de 7,09 y 7,56, una conductividad eléctrica de 245 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 512,00 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y DBO_5 de 13 mg/L y 75 mg/L. Concluyeron que los mataderos deben estar ubicados lejos de zonas residenciales y los efluentes deben de tratarse antes de su descarga a aguas superficiales.

Aleksic et al. (2020), en Serbia estudiaron el estado actual de los mataderos en relación al consumo de agua y a las características de las aguas residuales generadas. Para ello, analizaron cuarenta y un mataderos y obtuvieron que del total del consumo

de agua el 45 % es utilizado durante la limpieza de las instalaciones, seguido del sacrificio, sangrado y eviscerado con 22 %. Además, obtuvieron en promedio que el efluente presenta un pH de 7,24; DBO₅ de 434,36 mg/L y DQO de 977,54 mg/L. Concluyeron que las características y volumen del agua residual dependerán de la cantidad de animales faenados, tipo de animales faenados, formación del personal, procedimientos operativos y estado de los equipos que se utilizan.

Atikpo y Okonofua (2020) en Nigeria evaluaron el impacto del efluente de un matadero en el oxígeno disuelto del río Ikpoba. Para ello, determinaron que las aguas residuales son descargadas al río con un caudal promedio de 0,43 m³/s y DBO₅ de 108,4 mg/L y antes y después del efluente con DBO₅ de 2,2 mg/L y 4,6 mg/L, respectivamente. Concluyeron que el efluente impacta en el oxígeno disuelto del río; sin embargo, la capacidad de autodepuración del río es mayor y recomienda el tratamiento de estos efluentes.

Eze et al. (2020), en Nigeria estudiaron el efluente de un matadero y el riesgo a la salud y obtuvieron que el efluente presenta un pH de 7,20; temperatura de 27,60 °C, conductividad eléctrica de 8 825 µS/cm, DBO₅ de 171,75 mg/L y DQO de 511 mg/L. Además, las enfermedades comunes registradas fueron tifoidea, infecciones gastrointestinales, disentería y picazón en la piel. Concluyeron que el efluente del matadero expone a la gente a enfermedades transmitidas por el agua y sugiere su tratamiento antes de su descarga al río.

Idisi y Uguru (2020), en Nigeria evaluaron el impacto del efluente de un matadero en el río Brass. Obtuvieron que el efluente presentó un efecto significativo en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del río, incumpliendo las normativas establecidas. Concluyeron que la descarga sin tratamiento de efluentes del matadero disminuye la calidad del agua del río Brass y recomiendan que reciba un tratamiento adecuado antes de su vertido a aguas superficiales.

2.1.2. A nivel Nacional

Mendoza (2023), determinó el efecto de los efluentes de un matadero de Puno en la calidad del agua del río Ilave. Para ello, determinó los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente de la planta de tratamiento del matadero y del río, antes y después del efluente. Obteniendo que el efluente presenta un caudal promedio de 0,45 L/s producto del faenado de 95,50 animales/día, un pH de 7,62, temperatura de 16 °C, conductividad eléctrica de 3 387 µS/cm, DBO₅ de 167,25 mg/L y DQO de 418,25 mg/L. Además, obtuvo que el caudal

del río fue 4,90 m³/s, antes y después del efluente obtuvo un pH de 7,84 y 8,37, una temperatura de 10,80 °C y 11,50 °C, una conductividad eléctrica de 895 µS/cm y 878,75 µS/cm, DBO₅ de 21,30 mg/L y 13,90 mg/L, DQO de 53,25 mg/L y 34,75 mg/L y coliformes termo tolerantes de 64,50 NMP/100 mL y 26 NMP/ 100 mL, respectivamente. También, antes y después del efluente del matadero obtuvo un índice simplificado de la calidad de agua de 44,4 y 51,50; respectivamente. Concluyeron que no se evidencia efecto del efluente en el ISQA del río Ilave.

Richarnov (2022) determinó el impacto de las aguas residuales y residuos orgánicos de un matadero en la contaminación del río Huallaga. Obtuvo que las hembras generan mayor cantidad de material fecal, sangre, vísceras, pelos, pezuñas y cuernos e identificaron que el vertedero de agua residual principal y secundario presentan un caudal promedio de 5,60 L/s producto del faenado de 44 animales/día, pH de 6,89 y 7,20; temperaturas de 23 °C, DBO₅ de 89 mg/L y 67 mg/L, DQO de 89 mg/L y 131 mg/L y coliformes termo tolerantes de 107 022 NMP/ 100 mL y 78 127 NMP/ 100 mL; respectivamente. Además, obtuvo que el río antes y después del efluente presenta una conductividad eléctrica de 246 µS/cm y 271 µS/cm, DBO₅ de 23 mg/L y 45 mg/L, DQO de 42 mg/L y 79 mg/L y coliformes termo tolerantes de 2 159 NMP/100 mL y 10 702 NMP/100 mL. Existiendo una diferencia significativa entre los resultados obtenidos antes y después del efluente, concluyeron que el efluente del matadero influye en la contaminación del río Huallaga.

Sánchez y Quispe (2019), determinaron el impacto de los efluentes de un matadero de Chachapoyas en la calidad del agua del colector Santa Lucia. Obtuvieron que el efluente del matadero presenta un pH de 7,69, temperatura de 16,50 °C, DBO₅ de 264,97 mg/L, DQO de 373,10 mg/L y coliformes termo tolerantes > 160 000 NMP/ 100 mL. Además, el agua del colector antes y después del efluente presenta un pH de 7,62 y 7,75; temperatura de 15,8 °C y 15,9 °C, DBO₅ de 249,05 mg/L y después 258,20 mg/L y coliformes termo tolerantes > 160 000 NMP/ 100 en ambos puntos, respectivamente. Concluyeron que el efluente del matadero es descargado sin tratamiento impactando negativamente al colector Santa Lucia.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Mataderos

Son establecimientos donde sacrifican animales para producir carne y menudencias que garanticen su salubridad y satisfacer la demanda humana (Chowdhury et al., 2022; Ndukwe et al., 2023; Servicio Nacional de Sanidad Agraria [SENASA], 2021).

Según el Decreto Supremo N° 015-2012-AG, los mataderos se clasifican en categoría 1, aquellos que tienen la capacidad de faenar diariamente hasta diez bovinos, veinte porcinos o camélidos y treinta ovinos o caprinos y su carne está destinada para el mercado local; categoría 2, si la capacidad de faenado es mayor a la categoría 1 y está destinado para consumo nacional y categoría 3 destinado para consumo nacional y exportación.

2.2.1.1. Procesos del faenado

- **Ingreso del animal:** Consiste en la recepción de los animales, donde son pesados y posteriormente separados para su ubicación en los corrales de recepción (Huarachi, 2020; SENASA, 2021) durante 12 a 24 h con la finalidad de liberar el estrés y reducir la descarga de adrenalina producto del transporte (Kharat, 2019; Soto et al., 2020).
- **Inspección ante mortem:** El médico veterinario del matadero verifica el estado de salud del animal y autoriza su posterior sacrificio (Huarachi, 2020; Soto et al., 2020). Sin embargo, si el animal presenta algún síntoma visible de sospecha de alguna enfermedad, este animal es separado, sacrificado y quemado (SENASA, 2021).
- **Lavado ante mortem:** Consiste en bañar a los animales antes del sacrificio para eliminar impurezas y evitar la contaminación de la carcasa (Huarachi, 2020).
- **Aturdimiento:** Consiste en el bloqueo del sistema nervioso central mediante procedimientos mecánicos o eléctricos, causando la pérdida inmediata del conocimiento del animal (Ragasri y Sabumon, 2023; SENASA, 2021).
- **Izado del animal:** Consiste en colgar de la extremidad trasera izquierda a un riel (Huarachi, 2020; SENASA, 2021).
- **Degüello y sangrado:** Consiste en cortar las arterias carótidas para su desangrado hasta la muerte, durante 3 a 5 minutos como mínimo (Huarachi, 2020; SENASA, 2021, Soto et al., 2020).
- **Escaldado (Porcinos):** Consiste en sumergir las carcasas de los cerdos en agua caliente durante unos minutos para el retiro del pelo (Soto et al., 2020; Zeng et al., 2021).
- **Desuello (bovinos):** Consiste en separar la piel, cortar las patas, cabeza y extraer las ubres y pene con ayuda de cuchillos lavados y desinfectados, evitando la contaminación cruzada (Huarachi, 2020; Ragasri y Sabumon, 2023; SENASA, 2021, Soto et al., 2020).

- **Raspado (porcinos):** Consiste en separar la primera capa de la piel, cortar las patas y órganos sexuales con ayuda de cuchillos lavados y desinfectados, evitando la contaminación cruzada (Huarachi, 2020; SENASA, 2021).
- **Eviscerado:** Consiste en cortar el pecho, dividiendo el esternón de arriba hacia abajo y se extrae las vísceras de la cavidad abdominal y los órganos de la cavidad torácica (Huarachi, 2020; Ragasri y Sabumon, 2023; SENASA, 2021).
- **Inspección post mortem:** Consiste en la inspección de las carcasas, vísceras y órganos con la finalidad de determinar si son aptos para ser transportadas a los puestos de distribución (Huarachi, 2020; SENASA, 2021).
- **Limpieza, pesado y comercialización:** Consiste en el retiro de los excesos de grasa y el lavado de carcasa, luego el pesado y oreo para su comercialización (Huarachi, 2020; SENASA, 2021).

2.1.2.1. Agua residual de matadero

El agua residual de matadero es aquella que se genera durante el proceso de faenado de los animales, y sus características y volumen varían según la cantidad y tipo de animales faenados, formación del personal, procedimientos operativos y estado de los equipos utilizados (Aleksic et al., 2020; Kothari et al., 2024).

- Características del agua residual de matadero

El agua residual de matadero contiene estiércol, sangre, grasa, desinfectantes y productos químicos procedentes de los procesos de limpieza (Kothari et al., 2024; Ragasri y Sabumon, 2023).

Además, la alta carga orgánica del agua residual de los mataderos (Diarra et al., 2023, Kothari et al., 2024) puede incrementar el pH (Anh et al., 2023, Kothari et al., 2024) e influir significativamente en el incremento de la conductividad eléctrica del agua (Kbibch et al., 2024).

En la Tabla 1 se muestra las características del agua residual de un matadero.

Tabla 1. Características del agua residual de un matadero.

pH	Temperatura (°C)	Conductividad eléctrica (µS/cm)	DBO₅ (mg/L)	DQO (mg/L)	Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	Referencia
7,47	19,80	SD	740	1 280	SD	Abdouni et al. (2021)
7,24	SD	SD	434,36	977,54	SD	Aleksic et al. (2020)
7,20	27,60	8 825	171,75	511	SD	Eze et al. (2020)
7,57	SD	2 690	186	280	SD	Kbibch et al. (2024)
7,08	28,60	985	5 338,50	12 860	SD	Hassimi et al. (2022)
7,56	SD	513,00	73,50	5 305	SD	Ocheje et al. (2021)
7,34	SD	281,00	76,00	4 351	SD	
7,34	SD	500,00	54,90	3 450	SD	
6,89	23	SD	89,00	89,00	107 022	Richarnov (2022)
7,20	23	SD	67,00	131,00	78 127	
7,69	16,50	SD	264,97	373,10	> 160 000	Sánchez y Quispe (2019)

*SD: Parámetro no evaluado por los autores.

Fuente: Abdouni et al. (2021) Aleksic et al. (2020), Eze et al. (2020), Kbibch e et al. (2024), Hassimi et al. (2022), Ocheje et al. (2021), Richarnov (2022), Sánchez y Quispe (2019).

2.1.2.2. Tratamiento de aguas residuales de mataderos

El tratamiento de aguas residuales de mataderos es necesario debido a la alta carga de materia orgánica (Chowdhury et al., 2022; Kothari et al., 2024).

a. Tratamientos fisicoquímicos

- Ultrasonido

El ultrasonido utiliza fuerzas de corte hidromecánicas y compuestos tóxicos mediante transductores para generar ondas ultrasónicas de alta frecuencia, formando burbujas de vapor que colapsan al aumentar la presión, desintegrando los contaminantes del agua residual (Dehghani et al., 2019, Fetyan y Attia, 2020; Joao et al., 2020).

En la Tabla 2 se muestra las ventajas y desventajas del ultrasonido para tratar aguas residuales de mataderos.

Tabla 2. Ventajas y desventajas del ultrasonido.

Ventajas	Desventajas	Referencias
<ul style="list-style-type: none"> - Su operación es simple. - Eficiente para eliminar DBO₅ y microorganismos. - El proceso es rápido. 	<ul style="list-style-type: none"> - La eficiencia depende de la selección de los electrodos. - Altos costos de operación y mantenimiento relacionados al uso de productos químicos y sondas electrónicas. - Alta demanda de energía. - Aumenta la turbidez del agua. - Producción de lodos. - Requiere de un tratamiento antes y después. 	<p>Fetyan y Attia (2020)</p>

Fuente: Fetyan y Attia (2020).

- Flotación por aire disuelto

Consiste en introducir aire desde el fondo del sistema para promover la formación de burbujas que se adhieren a partículas sólidas haciéndolas menos densas y floten hacia la superficie formando un manto de lodos (Musa y Idrus, 2021).

En la Tabla 3 se muestra las ventajas y desventajas de la filtración por aire disuelto para tratar aguas residuales de mataderos.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de la filtración por aire disuelto.

Ventajas	Desventajas	Referencias
- Eficiente para eliminar carga orgánica de moderada a alta.	- Alto consumo de energía. - Altos costos de operación y mantenimiento. - Fallos frecuentes del sistema. - Generación de lodos.	Musa y Idrus (2021)

Fuente: Musa y Idrus (2021).

- **Electrocoagulación**

Mediante electrodos se produce corriente eléctrica para la coagulación, formando flóculos de gran tamaño que inducen a la eliminación de contaminantes (Mousazadeh et al., 2021; Sandoval et al., 2022), sin la adición de productos químicos, lo que limita la contaminación secundaria (Ngobeni et al., 2021).

En la Tabla 4 se muestra las ventajas y desventajas de electrocoagulación para tratar aguas residuales de mataderos.

Tabla 4. Ventajas y desventajas de la electrocoagulación.

Ventajas	Desventajas	Referencias
- Alta eficiencia de eliminación de DQO y aceites y grasas > 90 %.	- Altos costos de instalación, operación y mantenimiento. - Control continuo del pH.	Musa y Idrus (2021); Ngobeni et al. (2022)
- No requiere el uso de productos químicos.	- No es aplicable a gran escala.	

Fuente: Musa y Idrus (2021); Ngobeni et al. (2022).

- **Proceso fenton**

Consiste cuando el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) reacciona con un catalizador, produciendo radicales hidroxilos que oxidan los contaminantes (Ribeiro y Nunes, 2021).

En la Tabla 5 se muestra las ventajas y desventajas del proceso fenton para tratar aguas residuales de mataderos.

Tabla 5. Ventajas y desventajas del proceso fenton.

Ventajas	Desventajas	Referencias
<ul style="list-style-type: none"> - Alta eficiencia de eliminación de materia orgánica. - El proceso es rápido. - Se puede integrar a otras operaciones como coagulación, filtración y oxidación biológica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Es difícil establecer la dosis correcta de H₂O₂, iones Fe²⁺ y el tipo de catalizador. - Dosis excesiva de H₂O₂ puede aumentar la concentración de DQO. - Requiere control del pH. - No es aplicable a gran escala debido a altos costos de operación. - Requiere de un pos tratamiento. 	<p>Ribeiro y Nunes, (2021), Ziembowicz y Kida (2022), L. Wang et al. (2019)</p>

Fuente: Ribeiro y Nunes, (2021), Ziembowicz y Kida (2022), L. Wang et al. (2019).

A continuación, se presentan estudios aplicados al tratamiento fisicoquímico de agua residuales de mataderos:

- Abdelhay et al. (2020) evaluaron la eficiencia de la irradiación ultrasónica con H₂O₂ para la eliminación de DQO presente en aguas residuales de un matadero de aves de corral. Obtuvieron eficiencias del 50 % en un tiempo de irradiación de 180 min, una densidad de potencia de 1 200 W/L y a una frecuencia de 578 kHz. Además, observaron que el aumento del pH de 7 a 9 reduce la eficiencia a 13 %. Concluyeron que el sistema ultrasónico combinado con H₂O₂ puede ser una herramienta efectiva para el pre tratamiento de aguas residuales de mataderos.

- Baker et al. (2020) indican que la elección de un método de tratamiento depende de las características específicas del efluente, los costos asociados y el cumplimiento de las normativas vigentes. Evaluaron la flotación por aire disuelto y obtuvieron eficiencias de 98,60 % de DBO₅ y 97,9 % de DQO.

- Emara et al. (2019), evaluaron la eficiencia del proceso de electrocoagulación mediante electrodos mixtos de aluminio y hierro con una densidad de corriente de 20 mA/cm² y un tiempo de retención de 40 min. Obtuvieron una remoción de DQO y DBO₅ de 96,6 % y 96 %, respectivamente.
- Joao et al. (2020) estudiaron el uso el proceso fenton asistido con ultrasonido y hierro reciclado (clavos) para tratar aguas residuales de mataderos porcinos. Obtuvieron eficiencia de DQO de 98,40% y DBO₅ de 98 %, en condiciones de un pH de 3, H₂O₂ a 90 mg/L y 1 clavo reciclado de construcción de 2,70 g. Demostraron que es una opción efectiva para tratar aguas residuales de mataderos porcinos en menor tiempo que los sistemas biológicos tradicionales, teniendo en cuenta que la eficiencia de eliminación disminuye al aumentar el pH.
- Zuñiga (2023) evaluó el proceso fenton para reducir el DQO de aguas residuales de un matadero y obtuvieron que las concentraciones optimas de Fe⁺² es 1 234 mg/L, de H₂O₂ es 709,65 mg/L y un pH de 4,5; alcanzando eficiencias del 97,36 % de DQO y concluyeron que es efectivo para altas cargas orgánicas.

b. Tratamientos microbiológicos

Las proporciones de DBO₅ y DQO son indicadores de la biodegradabilidad de las aguas residuales (Hassimi et al., 2022). Si la relación entre estos dos parámetros es mayor a 0,6; el agua residual es completamente biodegradable y puede aplicarse de manera efectiva un tratamiento biológico (Abdouni et al., 2021, Kbibch et al., 2024; Njoya et al., 2019).

Los tratamientos biológicos son alternativas prometedoras ambiental y económica que elimina contaminantes de manera eficiente y produce productos con valor agregado como biogás que contribuye a la recuperación de energía (Kothari et al., 2024).

- Filtros anaeróbicos

Consiste en un reactor con ausencia de oxígeno y medios filtrantes como piedras, ceniza, grava u otro material donde se retienen partículas y materia orgánica degradado por microorganismos anaerobios (Musa y Idrus, 2021).

En la Tabla 6 se muestra las ventajas y desventajas de los filtros anaeróbicos para tratar de aguas residuales de mataderos.

Tabla 6. Ventajas y desventajas de los filtros anaeróbicos.

Ventajas	Desventajas	Referencias
<ul style="list-style-type: none"> - Alta eficiencia para eliminar materia orgánica. - Funciona mediante el flujo ascendente, por lo que no se requiere de una mezcla mecánica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere una temperatura relativamente alta. - El proceso es lento. - Hay sedimentación de lodos. - Se utiliza como tratamiento secundario para lograr una alta eliminación de sólidos y producción de biogás. - Los filtros pueden obstruirse fácilmente. 	Musa y Idrus (2021)

Fuente: Musa y Idrus (2021).

- **Humedal artificial**

Su operación se basa en la acción combinada de plantas, suelo, microorganismos y atmósfera (Biswal y Balasubramanian, 2022; Liao et al., 2020), produciendo procesos de sedimentación, filtración, biodegradación, metabolismo y otros, que permite la eliminación de contaminantes (Aziz et al., 2019).

En la Tabla 7 se muestra las ventajas y desventajas de los humedales artificiales para tratar aguas residuales de mataderos.

Tabla 7. Ventajas y desventajas de los humedales artificiales.

Ventajas	Desventajas	Referencias
<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo de capital - Bajo consumo de energía. - Eliminación eficaz de materia orgánica. 	<ul style="list-style-type: none"> - La selección de la planta emergente, sustrato, las condiciones ambientales e hidráulicas afectan la eficiencia. - El proceso es lento. - Generación de olores. 	Kothari et al. (2024), Ramdani et al. (2019), H. Wu et al. (2023)

Fuente: Kothari et al. (2024), Ramdani et al. (2019), H. Wu et al. (2023).

- Digestión anaeróbica

Consiste en la descomposición de la materia orgánica mediados por microorganismos en un ambiente anaeróbico, mediante las etapas de hidrólisis, ácido glicólico y metano glicólico, produciendo biogás y digestato (Lema, 2024).

En la Tabla 8 se muestra las ventajas y desventajas de digestión anaeróbica para tratar aguas residuales de mataderos.

Tabla 8. Ventajas y desventajas de la digestión anaeróbica.

Ventajas	Desventajas	Referencias
- Alta recuperación de energía.	- El proceso es lento.	Vaishnav et al. (2023)
- Eliminación eficaz de patógenos.	- Alto costo de capital.	
- Producción de biogás y digestato.		

Fuente: Vaishnav et al. (2023).

Asimismo, a continuación, se presentan estudios aplicados al tratamiento microbiológico de agua residuales de mataderos:

- Bizarra y Portillo (2021) evaluaron la eficiencia de un humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales de un matadero municipal. Obtuvieron eficiencias del DQO de 85,2%, DBO₅ de 93,1% y coliformes termo tolerantes de 35,6%. Concluyeron que el humedal artificial vertical es efectivo para el tratamiento de aguas residuales de mataderos.

- Guillermo et al. (2022) en Cuba evaluaron la eficiencia de un humedal artificial activado con microorganismos eficientes para tratar aguas residuales de un matadero. Obtuvieron mayores eficiencias en el humedal constituido por gravilla de zeolita, arena y suelo, con un tiempo de retención de 94 h y con la planta *Cyperus alternifolius*, alcanzando eficiencias de DQO de 96 % y DBO₅ de 96,4 %.

- Javier y toscano (2023) evaluaron la eficiencia de humedales artificiales con las especies *Eichhornia crassipes*, *Nasturtium officinale* y *Typha latifolia* para el tratamiento de aguas residuales de un matadero pre tratados por desbaste y sedimentación, obtuvieron mayores eficiencias con la especie *Typha latifolia*, con 70% en DQO y DBO₅ del 89.1%.

- Ramdani et al. (2019) en Indonesia determinaron la eficiencia de humedales artificiales con *Typha latifolia*, *Chrysopogon zizanioides* y *Cyperus alternifolius*, para la remoción de DQO de aguas residuales de mataderos de pollos. Obtuvieron que las plantas presentaron un buen desempeño en el tratamiento y la mayor eficiencia de remoción se presentó con *Cyperus alternifolius* con 85 %.
- Sinsuw et al. (2021) en Indonesia investigaron el modelo Symnergy para el desarrollo de comunidades rurales mediante una planta piloto de biogás. El estudio reveló que las aguas residuales del matadero tienen un valor significativo para la planta que usa residuos orgánicos de 25 a 30 vacas para producir biogás. La planta genera 1,3 m³ de biogás al día, reemplazando el uso de combustibles fósiles. Concluyeron que el modelo Symnergy es efectivo para promover la autosuficiencia en comunidades rurales.
- Suwerda et al. (2022) en Indonesia evaluaron la eficiencia de un sistema combinado de un filtro anaeróbico más un humedal artificial. Obtuvieron reducciones de DBO₅ en 88,90 % y DQO en 92,90 % con un tiempo de retención hidráulico de 4,20 h y concluyeron que el sistema es efectivo.
- Tsegaye y Leta (2023) evaluaron el rendimiento en dos fases de la digestión anaeróbica para tratar aguas residuales de mataderos, para ello conectaron dos biorreactores galvanizados conectados consecutivamente y obtuvieron eficiencias de remoción de DQO de 82,87 % y DBO₅ de 93,32 %, produciendo 189,45 ml/día de biogás. Concluyeron que el tratamiento elimina materia orgánica y produce biogás.

2.2.1.2. Residuos orgánicos de mataderos

Los residuos orgánicos de mataderos representan el 45 % del peso corporal del animal faenado (Bhunja et al., 2023), conformados por grasa, estiércol, sangre, vísceras no comestibles y otros (Afoley y Sarpong, 2023; Chowdhury et al., 2022; Kothari et al., 2024). Asimismo, su adecuada gestión, contribuye a mitigar la contaminación de cuerpos de agua y mejorar las condiciones ambientales en áreas cercanas a los mataderos (Afoley y Sarpong, 2023). Y se puede lograr mediante la economía circular que promueve la utilización responsable de los recursos y fomenta prácticas sostenibles (Moraga et al., 2019, Ragasri y Sabumon, 2023), pero está limitado por factores económicos, socioculturales e institucionales (Rashid y Shahzad, 2021). Asimismo, para su adecuada implementación se requiere la capacitación de los trabajadores y la mejora de la infraestructura (Chukwuma et al., 2020).

a. Recolección de residuos orgánicos de mataderos

La correcta recolección de los residuos orgánicos del matadero evita la contaminación cruzada (Ragasri y Sabumon, 2023). Para ello, la recolección de la sangre se debe realizar con una incisión en la vena yugular con cuchillos de succión conectado a un recipiente cerrado (Coenen et al.; 2022; Ragasri y Sabumon, 2023; SENASA 2018). El estiércol debe de recolectarse en seco mediante escobas y raspadores, y las vísceras no comestibles y otros residuos orgánicos deben de recolectarse en recipientes etiquetados y limpios, previa inspección del médico veterinario para garantizar que se encuentren libres de contaminantes o enfermedades y (Kothari et al., 2024; SENASA 2021).

b. Tratamiento de residuos orgánicos de mataderos

Los residuos orgánicos de mataderos, pueden tratarse mediante incineración; rendering, digestión anaeróbica y compostaje (Bhunja et al., 2021).

- Incineración

Convierte los residuos en calor, gas, cenizas y vapor; presentando desafíos en términos de contaminación (Limeneh et al, 2022), debido a que durante el proceso se libera gases de efecto invernadero (Izydorczyk et al., 2022).

- Rendering

Según el Decreto Supremo N° 015-2012-AG consiste en la cocción a una temperatura mínima de 133 °C durante 20 min como mínimo. Mediante este proceso se obtiene harina que puede ser utilizado como alimento balanceado y fertilizante orgánico (Shaji et al., 2021).

Asimismo, según Pazmiño y Ramírez (2021) quienes analizaron la sostenibilidad ambiental de los residuos orgánicos de un matadero mediante el análisis de ciclo de vida y concluyeron que la valorización de los residuos mediante una planta de rendering es el manejo más eficiente económica y ambientalmente, frente al vertimiento a un botadero de cielo abierto. También, Zagklis et al. (2020) indican que el rendering es una opción superior y económica para tratar residuos orgánicos en comparación con la incineración, compostaje y la digestión anaeróbica.

- **Digestión anaeróbica**

La digestión anaeróbica disminuye la carga orgánica, las emisiones de gases de efecto invernadero, ayuda a mitigar los problemas de gestión de residuos de mataderos, produce biogás y fertilizantes orgánicos (Afotey y Sarpong, 2023; Chowdhury et al., 2022; Kefalew y Lami, 2021; Mofijur et al., 2021), siendo una alternativa económica y eficiente para el manejo de residuos (Bhunia et al., 2023).

La sangre contiene proteínas y hierro adecuados para la producción de fertilizantes ricos en nutrientes. Sin embargo, la digestión anaeróbica de la sangre puede ser complicada debido a la amonificación, por lo que se prefiere su uso combinado con otros residuos (Shaji et al., 2021; Bhunia et al., 2021).

Asimismo, según S. Wang et al. (2021), indican que la digestión anaeróbica es la mejor alternativa frente al rendering para el tratamiento de residuos de mataderos, en términos de uso de energía y emisiones de gases de efecto invernadero. También, Gonzales (2023), propone implementar una planta de digestión anaeróbica para tratar 17 782 kg mensual de estiércol porcino, obteniendo 733,83 m³ de biogás y cubriendo el 94,2 % de demanda energética con un retorno de capital después de 3,2 meses.

- **Compostaje**

Consiste en la descomposición de los residuos mediante la acción de microorganismos en un medio aerobio, transformándose en compost rico en nutrientes que puede utilizarse como fertilizante beneficioso para el desarrollo de las plantas (Mozhiarasi y Natarajan, 2022). Es un método rentable que ayuda a reducir el volumen de los residuos y es una opción menos destructiva que la incineración y el vertido en vertederos (Limeneh et al., 2022).

2.2.1.3. Aprovechamiento de los residuos orgánicos de mataderos

- **Alimento balanceado**

La sangre animal es un subproducto nutritivo rico en proteínas y hierro, con potencial para mejorar la dieta en países con deficiencia proteica (Leroy et al., 2023). Según Romisoncco (2022), el uso de harina derivado de residuos orgánicos de mataderos puede sustituir a la harina de pescado para el engorde de *Cavia porcellus*.

- **Fertilizante orgánico**

Actualmente, la sangre de ganado secada y convertida en polvo, conocida como harina de sangre se utiliza como un fertilizante importante en la agricultura orgánica (Shaji et al., 2021) convirtiéndola en una alternativa de valorización (Izydorczyk et al., 2022). Además, la adecuada aplicación de harina de residuos de mataderos mejora la concentración de carbono en el suelo y promueve la actividad microbiana, presentando una ventaja en términos de costo beneficio respecto a los fertilizantes químicos, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (Bhunja et al., 2023), mejora la calidad del producto y ofrece una mayor rentabilidad al agricultor (Ozdemir y Yetilmezsoy, 2019).

- **Electricidad**

La transformación de desechos de mataderos en electricidad es una alternativa que puede mejorar la sostenibilidad energética (Gupta et al., 2024). Según Kefalew y Lami (2021), una cantidad de 688 755 kg de residuos orgánicos de mataderos produce 566,10 m³/día de biogás, con un potencial eléctrico anual de 371 927,7 Kw.

2.2.2. Estándar de Calidad Ambiental

Según la Ley General del Ambiente N° 28611, el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) es la medida que establece la concentración de los parámetros fisicoquímicos y biológicos, presentes en un cuerpo receptor que no presenten un riesgo a la salud y al ambiente.

Según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, el ECA para agua dependerá de la categoría de uso del recurso hídrico a evaluar y son los siguientes:

- **Categoría 1:** Recursos hídricos destinado para uso poblacional (producción de agua potable) y recreacional.
- **Categoría 2:** Recursos hídricos destinado para extracción, cultivo y otras actividades marino costeras y continentales.
- **Categoría 3:** Recursos hídricos destinado para riego de vegetales y bebidas de animales.
- **Categoría 4:** Recursos hídricos para conservación del medio ambiente acuático.

2.2.3. Límite Máximo Permisible

Según la Ley General del Ambiente N° 28611, el Límite Máximo Permisible (LMP) es la medida que establece la concentración de los parámetros fisicoquímicos y biológicos de un efluente o emisión que no presenten un riesgo a la salud y al ambiente.

Actualmente, aún no está establecido los LMP para efluentes de matadero, solo existe como acción priorizada (Reyes, 2024). Sin embargo, Mendoza (2023) y Richarnov (2022) compararon con los LMP para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) domésticas o municipales del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (Tabla 9).

Tabla 9. Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR domésticas o municipales.

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
pH	Unidad	6,50-8,50
Temperatura	°C	< 35
DBO ₅	mg/L	100
DQO	mg/L	200
Aceites y grasas	mg/L	20
Sólidos totales en suspensión	mL/L	150
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 mL	10 000

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

2.2.4. Índice de calidad de agua (ICA)

El índice de calidad representa el estado de la calidad del agua (Noori et al., 2019; Sajib et al., 2024) mediante la combinación de los parámetros físicos, químicos y biológicos (Asadollah et al., 2021), brindando un valor único que mejora la comprensión de la calidad del agua (Roy et al., 2024).

Es una herramienta matemática que transforma datos de diferentes parámetros a una escala de medición (Autoridad Nacional del Agua [ANA], 2018).

Los números de muestreos, condiciones ecológicas y factores antropogénicos pueden variar la calidad durante un período de tiempo pequeño y causar incertidumbre en el modelo (Aldrees et al., 2024; Roy et al., 2024).

2.2.4.1. ICA- Perú

Según el ANA (2018), el ICA-Perú es la adaptación de la formula canadiense para el Perú y se aplica el siguiente procedimiento:

- **Identificación del área de estudio:** Se determina el objetivo y los puntos de muestreo del cuerpo de agua.
- **Recopilación de información necesaria:** Se identifica la clasificación o categoría del cuerpo de agua, según el ANA y se selecciona los parámetros a evaluar. Luego, los valores se comparan con los ECA agua, según la categoría que corresponde el cuerpo de agua.
- **Cálculo del ICA-PE:** Se calculan los factores de alcance, frecuencia y amplitud, luego se aplica la diferencia de 100 con la raíz cuadrada del promedio de los cuadrados de los factores, el resultado tendrá un valor de 0 a 100, el cual representará el estado de calidad del agua.

2.2.5. Parámetros de estudio

2.2.5.1. Parámetros fisicoquímicos

Los parámetros fisicoquímicos que se determinaron en este estudio, son:

- **Caudal**

Es el flujo volumétrico de agua pasa por un punto del río en cualquier instante de tiempo (Gleason y Durand, 2020) y su variación está relacionado a la interacción de factores humanos y naturales (Mahmood, 2022).

Por factores naturales se consideran los cambios de temperatura, humedad relativa, precipitación (Makarieva et al., 2019; Putman et al., 2024; P. Wang et al., 2021) y la capacidad de regulación hídrica, que permite que el agua proveniente de las lluvias se almacene en los cuerpos de agua, constante en el tiempo (Martínez et al., 2020).

Por factores humanos, se incluye a la ejecución de obras de encauzamiento, permitiendo el aumento de la sección hidráulica y la reducción del coeficiente de rugosidad para que el agua fluya con mayor velocidad y sin obstrucciones (Abdella y Mekuanent, 2021). Además, la deforestación permite mayor erosión hídrica, generando mayor escorrentía superficial hacia los ríos, que permite el incremento de sus caudales en épocas de lluvias, generando riesgos de desbordes (Borja et al., 2020).

Las bajas precipitaciones generan un bajo caudal que no permite la dilución de contaminantes (Anh et al., 2023; Peña et al., 2020). Es así que, el caudal influye directamente en la variación de otros parámetros como la concentración de contaminantes orgánicos (Mancilla et al., 2022).

Además, la extracción de agua, afecta los patrones de flujo natural disminuyendo el caudal de los ríos (Condon y Maxwell, 2019; Q. Wang et al., 2023) y con la existencia de fuentes puntuales de contaminación permiten la acumulación de contaminantes que afectan la calidad del agua (Coble et al., 2020; Wei et al., 2024).

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

El pH determina la concentración de iones de hidrógeno presentes en el agua, indicando su acidez o alcalinidad (Yehia y Said, 2021).

La variación del pH puede deberse al resultado de interacciones de procesos biológicos e hidrológicos (Maleki et al., 2024), como la baja tasa fotosintética (Grzywna y Bronowicka, 2020) y la alta descomposición de materia orgánica (Hamid et al., 2019), regulado por la temperatura (Dey et al., 2021); puesto que, cuando la radiación solar es mayor, aumenta la temperatura del agua y los microorganismos producto de la descomposición de materia orgánica liberan mayor cantidad de CO₂ (Song et al., 2022), permitiendo la disminución del pH.

Asimismo, el pH puede disminuir debido a las descargas de aguas residuales que contienen compuestos orgánicos y productos químicos utilizados en los hogares (Roy et al., 2024). Mientras que el incremento puede deberse a las cantidades significativas de materia orgánica (Anh et al., 2023; Kothari et al., 2024), que pueden promover el crecimiento de plantas acuáticas y mediante la fotosíntesis, consumir el CO₂ y liberar oxígeno, aumentando el pH (Boyd, 2019; Maleki et al., 2024; Zerveas et al., 2021).

Además, la vegetación ribereña como la *Bambusa sp.* proporciona sombra que disminuye la temperatura del agua, reduciendo la tasa de descomposición de materia orgánica, contribuyendo al aumento del pH (Findlay, 2021). También, contribuye a reducir la erosión, lo que minimiza la entrada de sedimentos ácidos y no permite la reducción del pH (Ahmed, 2023). Los bambús presentan un denso sistema de raíces que estabilizan el suelo, que previene la erosión hídrica (Ahmed, 2023) y regulan la calidad del agua (Dunea et al., 2021). Las briofitas actúan como barrera física que atrapan nutrientes y materia orgánica, reduciendo la tasa de descomposición (Lesiv et al., 2020).

- **Temperatura**

La temperatura del agua depende de las características geológicas, cubierta vegetal, profundidad del agua, la radiación solar directa, el momento del muestreo (Bhatt, 2024), grado de mezcla en la columna de agua (MacIntyre y Hamilton, 2024) y a la temperatura de aguas residuales (Briciu et al., 2020).

Asimismo, la temperatura disminuye al mezclar el agua producto de las corrientes redistribuye el calor de manera homogénea, mientras que la evaporación enfría la superficie del agua (MacIntyre y Hamilton, 2024). El incremento del caudal facilita la redistribución del calor y la mezcla del agua (Anh et al., 2023). Además, la vegetación ribereña puede mitigar parcialmente el calentamiento y mantener los hábitats de agua fría (Fuller et al., 2022). La vegetación ribereña puede proporcionar sombra y reducir la cantidad de radiación solar directa al agua (Daniels y Danner, 2021). También, las variaciones morfológicas de los cuerpos de agua pueden crear micro hábitats con diferentes condiciones térmicas (Piatka et al., 2021). Un ancho inferior a 10 m se enfría con mayor frecuencia en presencia de vegetación ribereña (Fuller et al., 2022).

Por otro lado, la temperatura aumenta con el incremento de la radiación solar durante el día (Findlay, 2021). Además, aguas menos profundas son más propensas a ser calentadas por la radiación solar (Briciu et al., 2020). También, la falta de árboles permite mayor penetración de la radiación solar en el agua, aumentando su temperatura (Jackson et al., 2021).

Además, la temperatura de un efluente influye en la temperatura del agua de un río, evidenciando la presencia de contaminantes biodegradables y reduciendo su capacidad de autodepuración (Prabagar, 2023). Estas fluctuaciones pueden alterar el crecimiento, fecundidad, comportamiento alimentario y abundancia de los animales acuáticos (Prakash.,

2021), puede afectar la velocidad de varios procesos químicos y biológicos (Prabagar 2023), incrementa la generación de olores (Alisawi, 2020) y genera condiciones favorables para el crecimiento microbiano (Mondal, 2020; Seo, Cho, et al., 2019).

- **Conductividad eléctrica**

Este parámetro indica la presencia de solutos iónicos que se encuentran disueltos en el agua (Ahmadianfar et al. 2020; Idisi y Uguru, 2020).

Asimismo, la disminución de la conductividad eléctrica está relacionada al caudal, que permite la dilución de la concentración de iones y otros compuestos disueltos (Anh et al. 2023; Idisi y Uguru, 2020) y a la sedimentación, reduciendo los niveles de contaminación (Ejaz et al., 2024).

Mientras que el incremento está influenciado por el aumento de temperatura, el cual produce la reducción de la viscosidad debido a que los enlaces de las moléculas se vuelven débiles, aumentando la movilidad de los iones (Anh et al., 2023; Gutiérrez, 2020; Orr y Buchwalter, 2020). Según Hidalgo y Veintimilla (2024), el aumento de la temperatura incrementa las actividades biológicas y químicas, permitiendo la disolución de iones. Además, la escorrentía y la baja densidad de vegetación ribereña permiten el ingreso de iones a los cuerpos de agua (Evangelista et al., 2021; Hidalgo y Veintimilla, 2024; Mainali y Chang, 2021).

También, el incremento de este parámetro puede indicar la contaminación de una fuente (Ahmadianfar et al. 2020; Mainali y Chang, 2021) e influir en el desarrollo de las plantas y reducir la calidad del agua (Ahmadianfar et al., 2020).

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)**

Este parámetro mide la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en 5 días (Hang, 2024).

Asimismo, la disminución de DBO₅ está influenciado por las profundidades y pendientes que generan turbulencias que permiten la aireación natural de un cuerpo de agua, (Giao et al., 2021; Mainali y Chang, 2021; Piatka et al., 2021) y su posterior auto purificación (Chapra et al., 2021). Además, la vegetación ribereña no permite el ingreso de materia orgánica y contaminantes a los cuerpos de agua (Evangelista et al., 2021).

Por otro lado, el incremento de DBO_5 indica la presencia de alta cantidad de compuestos biodegradables (Kenechukwu et al., 2023) y de bacterias que requieren de una mayor demanda bioquímica de oxígeno en el agua (Hasan et al., 2019), disminuyendo su concentración y generando un estrés en la fauna acuática (Bhatt, 2024) y afectando el desarrollo de las mismas (Santacruz, 2019). El incremento está relacionado a la descomposición de materia orgánica por el aumento de temperatura, descargas de aguas residuales y al bajo flujo del agua (Crossman et al. 2021). La temperatura del agua favorece la descomposición de materia orgánica realizado por los microorganismos aerobios, incrementando la demanda de oxígeno (Anh et al., 2023, Hasan et al., 2019). Además, con el aumento de la temperatura también se incrementa la saturación de oxígeno disuelto; sin embargo, la oxidación se produce con mayor rapidez (Chapra et al., 2021).

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

Este parámetro indica la cantidad de oxígeno que se demanda para oxidar la materia orgánica biodegradable y no biodegradable presente en el agua (Hang, 2024; Ma et al., 2020; Pimparkar et al., 2023; Rangasamy y Muniyandi, 2024). Además, el DQO influye significativamente en la concentración de DBO_5 (Abagale, 2021).

Asimismo, la disminución de DQO refleja el progreso de la oxidación (Wojnárovits et al., 2024). Mientras que el incremento está relacionado con el aumento de temperatura que acelera las reacciones de los procesos biológicos y químicos (Alisawi, 2020; Thaysen et al., 2021).

2.2.5.2. Parámetros microbiológicos

- **Coliformes termo tolerantes**

Estas bacterias se encuentran en heces de animales de sangre caliente (Vásquez et al., 2019) y su presencia en aguas superficiales puede contaminar los productos vegetales y volverlos insalubres para el consumo humano (Amuah et al., 2022) causando enfermedades como gastroenteritis y diarrea (Seo, Lee, et al., 2019).

Los factores que afectan la presencia de coliformes termo tolerantes son la depredación, contenido de materia orgánica, pH, presencia de toxinas, antibióticos, propiedades hidráulicas y factores climáticos como la temperatura, velocidad del viento y radiación solar (Weiskerger et al., 2019).

Asimismo, el incremento de coliformes termo tolerantes puede relacionarse al aumento de temperatura que incrementa su tasa metabólica y favorece su reproducción y crecimiento (Mondal, 2020; Seo, Cho, et al., 2019). Además, puede deberse a la contaminación no puntual producto de la escorrentía (Evangelista et al., 2021; Seo, Cho, et al., 2019).

También, los coliformes termo tolerantes pueden adherirse al lecho fluvial, material orgánico, minerales arcillosos formando envolturas como medios de protección (Fomina y Skorochod, 2020; Weiskerger et al., 2019; T. Wu et al., 2019). La adhesión al lecho fluvial les proporciona protección contra depredadores, temperatura, luz solar, toxinas y mayor disponibilidad de nutrientes mejorando su supervivencia y persistencia en comparación a otros que se encuentran libres en el agua (Conti et al., 2021; Seo Lee et al., 2019).

Por otro lado, la presencia de macrófitos eliminan a los coliformes termo tolerantes mediante la secreción y secuestro radicular (J. Wang et al., 2021).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

3.1.1. Ubicación política

El estudio se realizó en la quebrada Pucayacu y en el matadero de la ciudad de Tocache, políticamente ubicados en el departamento de San Martín, provincia y distrito de Tocache.

3.1.2. Ubicación geográfica del área de monitoreo

Según la Resolución Jefatural N° 010-2016- ANA, los puntos de monitoreo deben ubicarse antes y después de una fuente de contaminación, teniendo en cuenta que sean de acceso seguro, donde no hay presencia de una densa vegetación y fangos, y lejos de la zona de mezcla; siendo la distancia referencial de 50 m y 200 m antes y después del efluente, respectivamente.

Por lo mencionado anteriormente, el punto 1 estuvo ubicado a 20 m antes del efluente del matadero, el punto 2 en el efluente y los puntos 3 y 4 a 150 y 200 m después del efluente, respectivamente (Tabla 10). Asimismo, los puntos 1, 3 y 4 estuvieron identificados con sus respectivas estacas y se garantizó la presencia de sólo una fuente de contaminación, el cual fue el efluente del matadero (ver Anexo E, Figura 20).

Tabla 10. Ubicación geográfica de los puntos de monitoreo.

Punto de monitoreo	Este	Norte
P1	332468	9095312
P2	332483	9095327
P3	332559	9095415
P4	332602	9095419

*[P1]: 50 m antes del efluente del matadero, [P2]: efluente del matadero, [P3]: 150 m después del efluente del matadero, [P4]: 200 m después del efluente del matadero.

3.1.3. Aspectos sociales y ambientales de la zona

3.1.3.1. Aspecto climático

En la tabla 11 se muestra la temperatura promedio mensual multianual de la provincia de Tocache durante febrero a mayo del 2021 al 2024 con un máximo en abril con 26,13 ° C y un mínimo en marzo con 26,13 ° C (Servicio Nacional de Meteorología e hidrología [SENAMHI], 2024).

Tabla 11. Temperatura promedio mensual multianual (°C) de febrero a mayo del 2021 al 2024.

Año	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
2021	27,13	26,00	26,32	26,30
2022	25,48	24,46	26,22	25,94
2023	25,91	26,31	26,67	26,36
2024	27,22	27,75	27,80	27,42
Promedio mensual multianual (°C)	26,43	26,13	26,75	26,50

Fuente: SENAMHI (2024).

Presenta una humedad relativa anual del 80 %, con máximas precipitaciones de octubre a marzo y mínimas en julio y agosto (SENAMHI, 2024).

En la tabla 12 se muestra la humedad relativa y precipitación promedio mensual de febrero a mayo del 2024 de la provincia de Tocache.

Tabla 12. Humedad relativa (%) y precipitación promedio (mm/día) de febrero a mayo del 2024.

Mes	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm/día)
Febrero	82,17	10,64
Marzo	82,33	4,35
Abril	81,32	4,39
Mayo	81,27	2,75

Fuente: SENAMHI (2024).

3.1.3.2. Zona de vida

Según la Zonificación Económica y Ecológica de Tocache, el territorio posee más de 625 mil ha, caracterizadas por las zonas de protección ecológica con 51,44 %, zonas de recuperación con 30,56 %, actividades agropecuarias con 14,80% y producción forestal y otras actividades productivas con 1,94 %.

3.1.3.3. Actividades económicas

Según la Zonificación Económica y Ecológica de Tocache, la población económicamente activa tiene como ocupación la producción agrícola, agropecuaria y comercial o de servicio; esta última, se concentra mayormente en la capital de la provincia y respecto a la actividad agrícola, los pobladores producen cacao, palma aceitera, arroz y otros; y estas actividades son estacionarias y por temporadas.

3.1.3.4. Accesibilidad a los puntos de monitoreo

La accesibilidad es vía terrestre y se encuentran a 10 min aproximadamente desde la Municipalidad Provincial de Tocache. La distancia, tipo y estado actual de la carretera, se indican en la Tabla 13.

Tabla 13. Distancia, tipo y estado de la carretera hasta la quebrada Pucayacu.

Ubicación	Distancia (km)	Tipo	Estado
Municipalidad Provincial de Tocache - Jr. Amazonas cuadra 12	1,08	Pavimento	Bueno
Av. Pucayacu cuadra 1 - quebrada Pucayacu	0,40	No afirmado	Regular

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.5. Matadero de la ciudad de Tocache

El matadero está ubicado en el sector Almendras, políticamente ubicado en el departamento de San Martín, provincia y distrito de Tocache. Según el sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator; se encuentra ubicado en la zona 18 L, 332510 m al este y 9095285 m al norte (ver Anexo E, Figura 20).

- Cantidad de animales faenados

En la Tabla 14 se muestra que durante el periodo de monitoreo (febrero a mayo, épocas de precipitaciones) se ha faenado en promedio 47 animales en 5 días, de los cuales 36 son porcinos y 11 son bovinos.

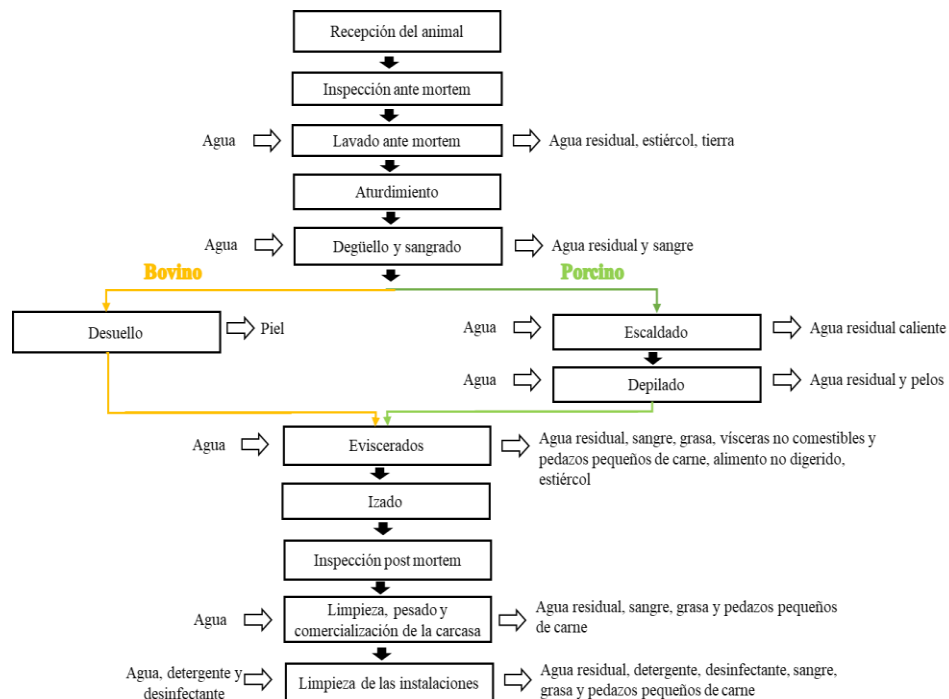
Tabla 14. Cantidad de animales faenados en 5 días durante febrero a mayo del 2024.

Tipo de animal faenado	Animal/ 5 días		Total (Animal/ 5 días)
	Macho	Hembra	
Bovinos	2	9	11
Porcinos	18	18	36
Total (Animal/5 días)	20	27	47

Fuente: Elaboración propia.

- Proceso de producción

En la Figura 1 se muestra el proceso de producción, entrada y salida de residuos sólidos y líquidos del matadero de Tocache.

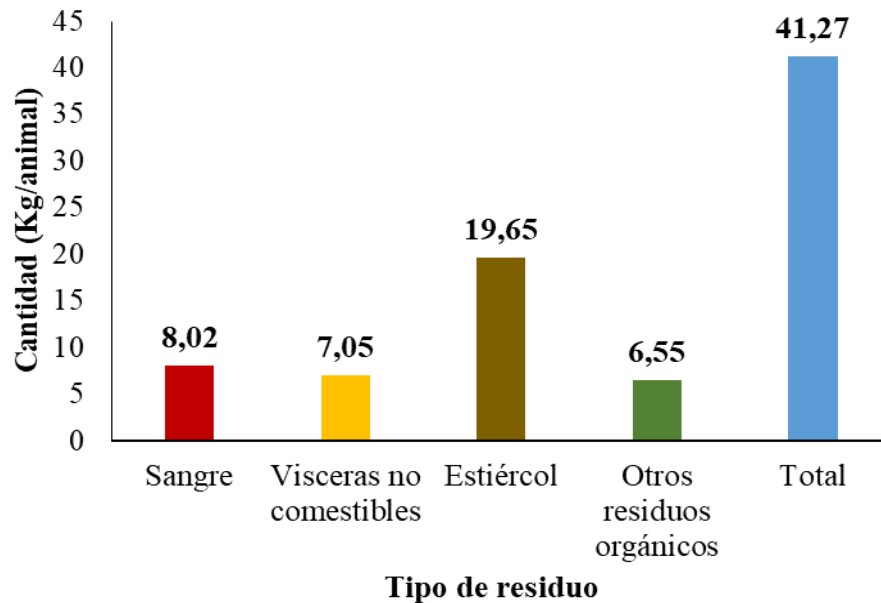


Fuente: Elaboración propia.

Figura 1. Entrada y salida de residuos orgánicos del matadero.

- Generación, recolección y destino final de los residuos orgánicos

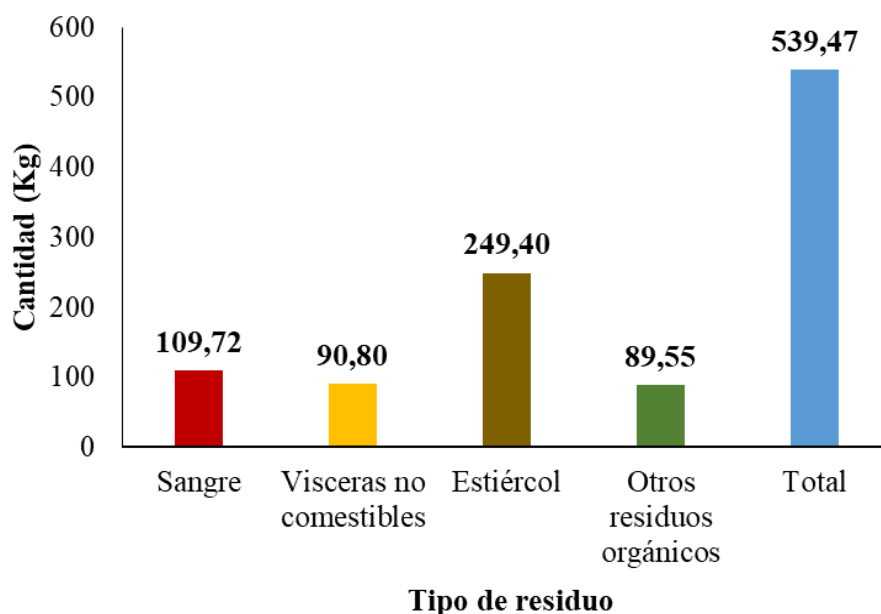
El matadero genera 41,27 Kg/animal de residuos orgánicos por animal faenado. Además, el estiércol es el residuo orgánico de mayor generación con 19,65 Kg/animal, mientras que otros residuos orgánicos representan la menor cantidad con 6,55 Kg/animal (Figura 2).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. Generación de residuos orgánicos por animal faenado.

En 5 días de faenado, con un promedio de 47 animales entre bovinos y porcinos, se estima una generación de 539,47 Kg de residuos orgánicos (Figura 3).



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3. Generación de residuos orgánicos en 5 días de faenado.

En la Tabla 15 se muestra el procedimiento de recolección y destino final de los residuos orgánicos del matadero.

Tabla 15. Recolección y destino final de los residuos orgánicos del matadero.

Residuo orgánico	Procedimiento	Destino Final
		Venta
Sangre	Se recolecta en recipientes sin tapa, pero parte de ella se derrama sobre el piso.	Drenaje de salida de agua residual descargado a la quebrada Pucayacu. Contenedor de basura para ser llevado al botadero Charapita.
Vísceras no comestibles	Se recolecta en solo un recipiente sin tapa desde el piso.	- Contenedor de basura para ser llevado al botadero Charapita.
Estiércol	Se recolecta del suelo en un recipiente sin tapa, pero parte de ella se derrama sobre el piso.	- Drenaje de salida de agua residual descargado a la quebrada Pucayacu.
Otros residuos orgánicos (pelo, pedazos de carne, grasa y alimento no digerido)	Se recolecta en un recipiente sin tapa, pero parte de ella se deja sobre el piso.	

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.6. Quebrada Pucayacu

Según la Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA referente a la clasificación de cuerpos de agua continentales superficiales, la quebrada Pucayacu está clasificada en la Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales.

Asimismo, en el trayecto del punto 3 hacia el punto 4 de la quebrada Pucayacu, existen plantaciones de *Bambusa sp.* (bambú) en los márgenes como defensa ribereña. Los bambús presentan un denso sistema de raíces que estabilizan el suelo, que previene la erosión hídrica (Ahmed, 2023).

Además, en el margen derecho de la quebrada Pucayacu se descargan aguas residuales domésticas sin tratamiento con un caudal aforado de 0,022 m³/s (Observatorio Nacional de Recursos Hídricos, 2023).

Por otro lado, extraen agua para fines acuícolas de la quebrada Pucayacu, según la Resolución Administrativa N° 0087-2023-ANA-AAA.H-ALA.HC, otorgan a la Municipalidad Provincial de Tocache, la acreditación de disponibilidad hídrica de la quebrada Pucayacu de hasta 26 754,84 m³/año para uso de agua con fines acuícolas.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

- **Materiales de campo:** Gorra de sol, botas, pantalón impermeable, envases de vidrio, etiquetas, guantes quirúrgicos, libreta de apuntes, marcador indeleble, 3 recipientes térmicos, cinta métrica, wincha de 50 m y hielo.
- **Materiales de laboratorio:** Matraces de Erlenmeyer, pipetas graduadas, tubos Durham, vasos precipitados, guardapolvo, marcador indeleble, etiquetas, libreta de apuntes, mascarillas, gorro y guantes quirúrgicos.

3.2.2. Reactivos y medios de cultivo

HI93754C-25 marca HANNA instruments, agua destilada, caldo peptona y caldo EC (*Escherichia coli*).

3.2.3. Equipos

- **Equipos de laboratorio:** Autoclave Chamberland modelo 100, incubadora modelo LI20, espectrofotómetro HANNA modelo SQ2800 y colorímetro DR900.
- **Equipos de monitoreo:** WTW MULTI 3630 IDS, GPS Garmin y cámara digital.

3.2.4. Programas

Para procesar los datos se usó Microsoft Excel y Word 2016, Google Earth Pro, IBM Spss Statistics 25 y Arc Gis 10.8.

3.3. Métodos

3.3.1. Tipo de investigación

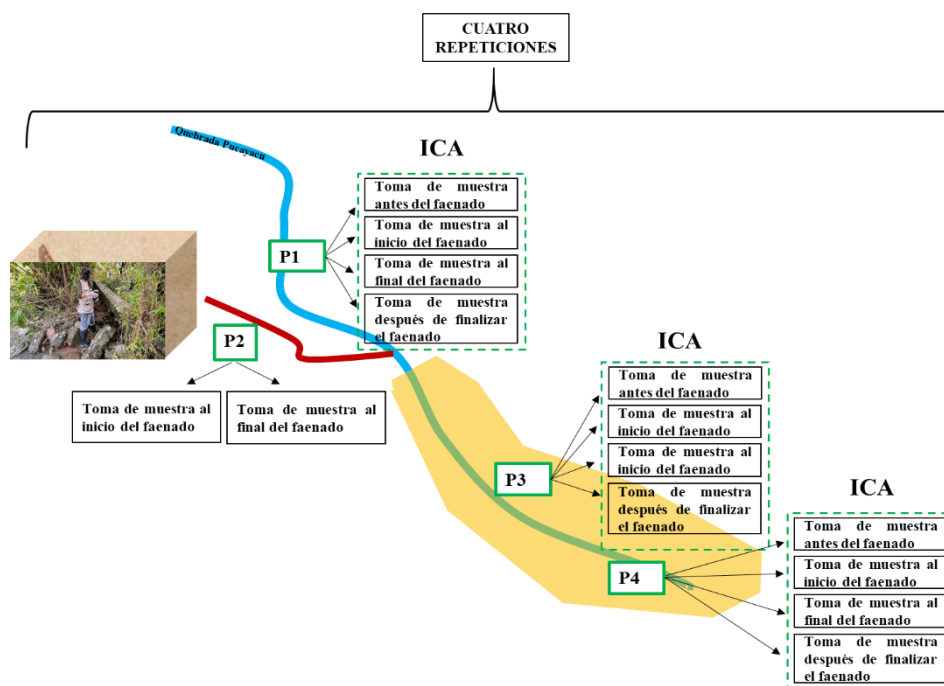
El trabajo de investigación es tipo descriptivo porque la calidad del agua de la quebrada Pucayacu antes y después del efluente, se describieron tal y como se manifestaron en el momento que se realizó el estudio (Guevara, et al. 2020).

3.3.2. Variables de estudio

- **Variable dependiente** : Calidad del agua de la quebrada Pucayacu
- **Variable independiente** : Efluente del matadero de la ciudad de Tocache

3.3.3. Diseño de investigación

El diseño utilizado consistió en 4 puntos de monitoreo a lo largo de la quebrada Pucayacu: [P1]: 20 m antes del efluente del matadero, [P2]: efluente del matadero, [P3]: 150 m después del efluente del matadero y [P4]: 200 m después del efluente del matadero. En los puntos 1,3 y 4 se tomaron muestras antes, al inicio, final y después de finalizar el faenado con cuatro repeticiones en épocas de precipitaciones (febrero, marzo, abril y mayo) y se determinaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, con el fin de determinar la influencia del efluente del matadero en la calidad del agua de la quebrada.



[P1]: 20 m antes del efluente del matadero, [P2]: efluente del matadero, [P3]: 150 m después del efluente del matadero, [P4]: 200 m después del efluente del matadero, ICA: Índice de calidad del agua.

Figura 4. Diseño de investigación.

3.4. Metodología

3.4.1. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la quebrada Pucayacu

Se determinó los horarios y días que hay descarga del efluente del matadero de la ciudad de Tocache y se analizaron los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los puntos 1, 3 y 4, descritos anteriormente.

- Recolección de muestras

Se utilizaron frascos de vidrio previamente esterilizados, etiquetados y cerrados hasta el momento del muestreo.

Conforme a la Resolución Jefatural N° 010-2016- ANA, en el centro del cauce de la quebrada Pucayacu, se sumergieron los envases; teniendo en cuenta que la boca de los mismos se posiciona en sentido opuesto a la corriente de agua, a un ángulo de 30° y a una profundidad aproximada de 20 a 30 cm, se llenaron los envases evitando la presencia de burbujas, luego los envases se colocaron en los recipientes herméticos con hielo, para su llegada al laboratorio.

El proceso se repitió antes del faenado, alrededor de las 6:00 am; al inicio del faenado, a las 7:00 am; final del faenado, a las 9:30 am; y después de finalizar el faenado, a las 11:30 am aproximadamente, durante los meses de febrero a mayo. Además, las muestras se recolectaron solo en días sin precipitaciones para evitar interferencias por diluciones externas o escorrentía.

a. pH

Se conectó y verificó el sensor de pH (Sentix 940) al instrumento de medición, luego el electrodo se sumergió al agua y cuando la medición estuvo estabilizada, se hizo el registro de los datos.

b. Temperatura

La temperatura (°C) se midió con el sensor de pH.

c. Conductividad eléctrica

Se verificó el sensor de conductividad eléctrica (Tetracon 925) y se conectó al instrumento de medición, luego el electrodo se sumergió al agua y cuando la medición estuvo estabilizada, se hizo el registro de los datos en $\mu\text{S}/\text{cm}$.

d. Caudal

La medición del caudal se realizó solo en el punto 1 mediante el método del flotador según el Ministerio de Agricultura y Riego (2015).

- Velocidad del agua (V)

Se seleccionó un tramo homogéneo de 30 m de longitud, luego desde el inicio del tramo seleccionado se lanzó tres veces una pelota de plástico y se calculó los tiempos de llegada. Luego se calculó la velocidad con la Ecuación 1.

$$V = \frac{L}{t_{promedio}} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

V	: Velocidad (m/s)
L	: Longitud del tramo (30 m)
t promedio	: Tiempo de llegada promedio (s)

- Área del cauce (A)

Se colocó dos estacas y se extendió una cuerda para medir el ancho de la quebrada y la profundidad del agua cada metro (ver Anexo F, Figura 36). Luego se calculó el área de las diez secciones divididas, para las áreas uno y diez con forma triangular se utilizó la Ecuación 2 y para los restantes que tuvieron forma trapezoidal la Ecuación 3.

$$A_{triangular} = \frac{B * h}{2} \dots \dots \dots (2)$$

Donde:

A triangular	: Área triangular (m ²)
B	: Base (m)
h	: Profundidad (m)

$$A_{trapezoidal} = \frac{B * (h_{mayor} + h_{menor})}{2} \dots \dots \dots (3)$$

Donde:

A triangular	: Área trapezoidal (m ²)
B	: Base (m)
h mayor	: Profundidad mayor (m)
h menor	: Profundidad menor (m)

- **Caudal (Q)**

Primero se determinó el factor de corrección, según Ministerio de Agricultura y Riego (2015) para riachuelos con profundidades mayores de 15 cm el factor de corrección es 0,50. Luego se calculó el caudal mediante la Ecuación 4.

$$Q = fc * A_{total} * V \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

Q	: Caudal (m ³ /s)
fc	: Factor de corrección (0,5)
A _{total}	: Suma de todas las áreas (m ²)
V	: Velocidad del agua (m/s)

El proceso se repitió antes, al inicio, final y después de finalizar el faenado.

e. DBO₅

Se aplicó la metodología de dilución y se midió el oxígeno disuelto antes y después de la incubación, a 20 ° C durante 5 días (American Public Health Association [APHA], 2017).

f. DQO

Se determinó mediante el método espectrofotométrico de reflujos cerrados (APHA, 2017).

g. Coliformes termo tolerantes

Se determinó por el método del número más probable (NMP), conforme al protocolo establecido en las prácticas de microbiología, que consistió en agregar 10 mL de muestra en vasos precipitados con 90 ml de caldo peptona al 0,10 % y se diluyó hasta 10⁻³ en tubos con 9 mL de caldo EC con una serie de tres repeticiones, se colocaron los tubos Durham, se incubaron por 48 h a 44,50 °C, luego se verificó los tubos si muestran turbidez y burbujas, son positivos y después se determinó el índice NMP y se calculó el NMP por 100 mL (López, 2012 con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{NMP}}{100\text{mL}} = \frac{\text{Indice NMP (tabla)} * \text{dilución intermedia}}{100} \dots \dots \dots (1)$$

Después, los parámetros a excepción del caudal se compararon con el ECA agua del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, de la categoría 3 (Tabla 16).

Tabla 16. Estándar de Calidad Ambiental para agua de la categoría 3.

Parámetro	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		No restringido	Restringido	
Fisicoquímicos				
pH			6.5-8.5	6.5-8.4
Temperatura	°C		Δ3	Δ3
Conductividad eléctrica	μS/cm		2 500	5 000
DBO ₅	mg/L		15	15
DQO	mg/L		40	40
Microbiológico				
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 mL	1 000	2 000	1 000

*Δ 3: Variación de 3 °C respecto al promedio mensual multianual.

Fuente: Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM.

Respecto a los datos de temperatura, la variación de 3 °C se comparó con el promedio mensual multianual de los meses evaluados (febrero, marzo, abril y mayo) descritos en la Tabla 11.

3.4.2. Determinación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente del matadero de la ciudad de Tocache

En el efluente (punto 2) se tomaron muestras al inicio y final del faenado durante los meses de febrero a mayo, analizando los parámetros fisicoquímicos (caudal, pH, temperatura, conductividad eléctrica, DBO₅ y DQO) y microbiológicos (coliformes termo tolerantes), siguiendo el procedimiento descrito anteriormente. Sin embargo, para el caudal se utilizó el método volumétrico que consistió en colocar en el efluente un recipiente de 0,003 m³ y se midió el tiempo de llenado, luego se aplicó la Ecuación 5.

$$Q = \frac{V}{t} \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

Q : Caudal del efluente (m³/s)

V : Volumen del recipiente (m³)

t : Tiempo de llenado (s)

Luego se comparó con los LMP para efluentes de PTAR domésticas o municipales según el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM (Tabla 9), a excepción del caudal y conductividad eléctrica.

3.4.3. Determinación de la influencia del efluente del matadero en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu

Primero, mediante la metodología peruana se determinó el Índice de Calidad del Agua (ICA-PE) en los puntos 1, 3 y 4, teniendo en cuenta los parámetros evaluados en el objetivo 1 a excepción del caudal; se calcularon los siguientes factores:

- Factor alcance (F₁)

Se aplicó la ecuación (6):

$$F_1 = \frac{\text{Número de parámetros que no cumplen los ECA Agua}}{\text{Total de parámetros}} \dots (6)$$

- Factor frecuencia (F₂)

Se aplicó la ecuación (7):

$$F_2 = \frac{\text{Número de datos que no cumplen el ECA agua}}{\text{Total de datos}} \dots (7)$$

- Factor amplitud (F₃)

Si el valor del parámetro evaluado superó el ECA-Agua, se aplicó la Ecuación 8. Por otro lado, si el valor del parámetro evaluado fue inferior al ECA-Agua, se aplicó la Ecuación 9. Después, se aplicó la Ecuación 10 para calcular la suma normalizada de excedentes. Por último, se calculó el F₃ y para ello se aplicó la Ecuación (11).

$$\text{Excedente} = \frac{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro en el ECA Agua}} - 1 \dots (8)$$

$$\text{Excedente} = \frac{\text{Valor del parámetro en el ECA Agua}}{\text{Valor del parámetro que no cumple el ECA Agua}} - 1 \dots (9)$$

$$\text{Suma Normalizada de Excedentes} = \frac{\text{Suma de excedentes}}{\text{Total de Datos}} \dots (10)$$

$$F_3 = 100 * \left(\frac{\text{Suma normalizada de excedentes}}{\text{Suma normalizada de excedentes} + 1} \right) \dots (11)$$

- Cálculo del ICA

Se empleó la ecuación (12):

$$\text{ICA} = 100 - \left(\sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{3}} \right) \dots (12)$$

- Calificación del valor del ICA

Cuando se obtuvo el valor del ICA-PE, se ubicó el rango y la calificación de la calidad del agua de la quebrada Pucayacu (Tabla 17).

Tabla 17. Rango y calificación del índice de calidad del agua.

ICA - PE	Calificación
90 – 100	Excelente
75 – 89	Bueno
45 – 74	Regular
30 – 44	Malo
0 – 29	Pésimo

Fuente: ANA (2018).

Luego, se determinó las diferencias significativas de la calidad del agua según el ICA-PE en los puntos 1, 3 y 4 mediante la prueba t para muestras relacionadas.

3.4.4. Identificación de alternativas para reducir los contaminantes presentes en el efluente del matadero de la ciudad de Tocache

Mediante el enfoque basado en referencias bibliográficas, se buscó alternativas para reducir los contaminantes presentes en el efluente generado en el matadero de la ciudad de Tocache. Además, las referencias bibliográficas se filtraron en relación al año de publicación (últimos 5 años) y estudios aplicados exclusivamente a mataderos.

3.5. Análisis estadístico

Según Hardiansyah y Mulyadi (2022), la prueba t para muestras relacionadas permite determinar si los cambios observados antes y después de una intervención son estadísticamente significativos. Por ello, para determinar la influencia del efluente del matadero de la ciudad de Tocache en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu, se utilizó la prueba t para muestras relacionadas y los grupos a comparar fueron los ICA-PE del punto 1 con los puntos 3 y 4, y el punto 3 con el punto 4; con un nivel de confianza del 95 %.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de la quebrada Pucayacu

4.1.1. Parámetros fisicoquímicos

4.1.1.1. Caudal

El caudal, antes y al inicio del faenado es $0,52 \text{ m}^3/\text{s}$ y al finalizar y después de finalizar el faenado, aumenta ligeramente hasta $0,53 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0,54 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente (Figura 5).

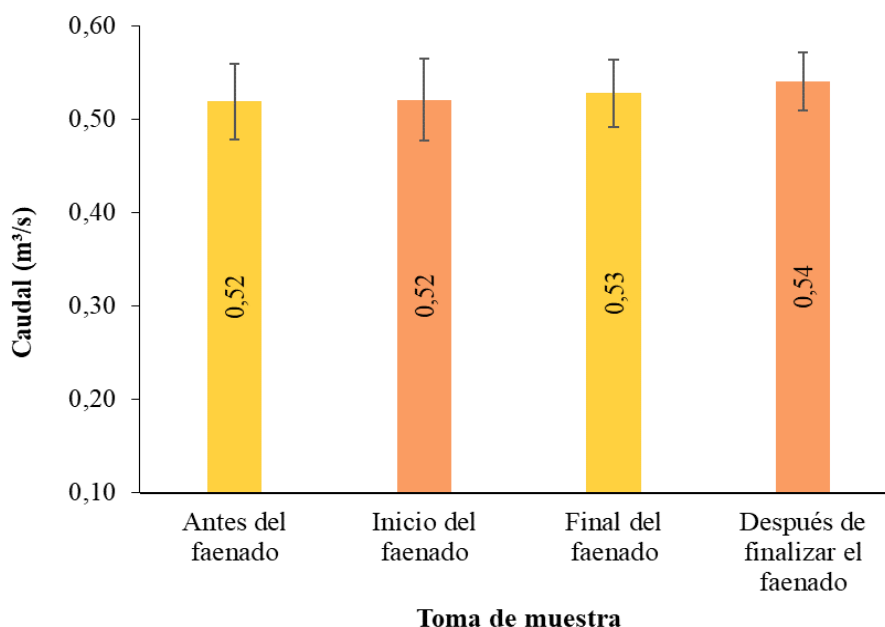


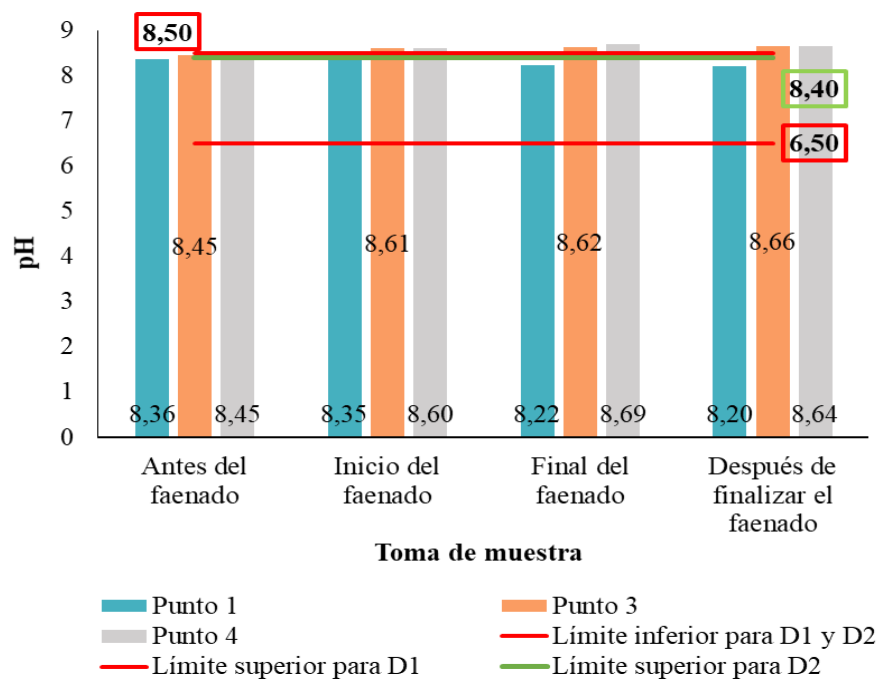
Figura 5. Caudal promedio (m^3/s) de la quebrada Pucayacu.

La quebrada Pucayacu presenta un caudal máximo de $0,54 \text{ m}^3/\text{s}$, un valor inferior respecto a Mendoza (2023), quien obtuvo un caudal promedio de un río de $4,90 \text{ m}^3/\text{s}$. Estas diferencias pueden deberse a la menor capacidad de recolección de agua por la corta longitud de la quebrada Pucayacu, a las bajas precipitaciones, cambios de temperatura y humedad relativa presentadas durante los meses de monitoreo (Anh et al., 2023; Makarieva et al., 2019; Peña et al., 2020; Putman et al., 2024; P. Wang et al., 2021) y la capacidad de regulación hídrica, que permite que el agua proveniente de las lluvias se almacene en los cuerpos de agua, constante en el tiempo (Martínez et al., 2020).

Asimismo, antes y al inicio del faenado el caudal de la quebrada es $0,52 \text{ m}^3/\text{s}$ y al finalizar y después de finalizar el faenado, aumenta ligeramente hasta $0,53 \text{ m}^3/\text{s}$ y $0,54 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente. La variación del caudal puede estar relacionado a la extracción del agua para fines acuícolas durante las primeras horas de la mañana, según la Resolución Administrativa N° 0087-2023-ANA-AAA.H-ALA.HC, otorgan a la Municipalidad Provincial de Tocache, la acreditación de disponibilidad hídrica de hasta $26\,754,84 \text{ m}^3/\text{año}$ para usar el agua de la quebrada con fines acuícolas. Esta extracción puede afectar los patrones de flujo natural, disminuyendo el caudal de la quebrada (Condon y Maxwell, 2019; Q. Wang et al., 2023) y con la existencia de fuentes puntuales de contaminación permite la concentración de contaminantes que afecta la calidad del agua (Coble et al., 2020; Wei et al., 2024).

4.1.1.2. pH

En la Figura 6 se muestra que en el punto 1, todos los valores del pH se encuentran dentro del límite inferior y superior de los estándares de calidad ambiental para riego de vegetales y bebida de animales. Los puntos 3 y 4 solo cumplen los límites para riego de vegetales antes del faenado. Asimismo, el pH en el punto 1 tiende a disminuir, presentando el menor valor después de finalizar el faenado con 8,20; a diferencia de los puntos 3 y 4 que tienden a aumentar; presentando los valores más altos después de finalizar el faenado con 8,66 y 8,64, respectivamente.



D1: Riego de vegetales, D2: Bebida de animales.

Figura 6. Límite del estándar de pH referente al valor promedio en los puntos 1,3 y 4.

El punto 1 ubicado antes del efluente del matadero, presenta un pH que disminuye con el paso del día, desde antes del faenado con un pH de 8,36 hasta después de finalizar el faenado con 8,20; medidos alrededor de las 6:00 am y 11:30 am. En este contexto, la variación del pH puede deberse al resultado de interacciones de procesos biológicos e hidrológicos (Maleki et al., 2024), como la baja tasa fotosintética (Grzywna y Bronowicka, 2020) y la alta descomposición de compuestos orgánicos (Hamid et al., 2019), regulado por la temperatura (Dey et al., 2021); puesto que, cuando la radiación solar es mayor, aumenta la temperatura del agua y los microorganismos producto de la descomposición de materia orgánica liberan mayor cantidad de ácidos orgánicos como el CO₂ permitiendo la disminución del pH (Song et al., 2022).

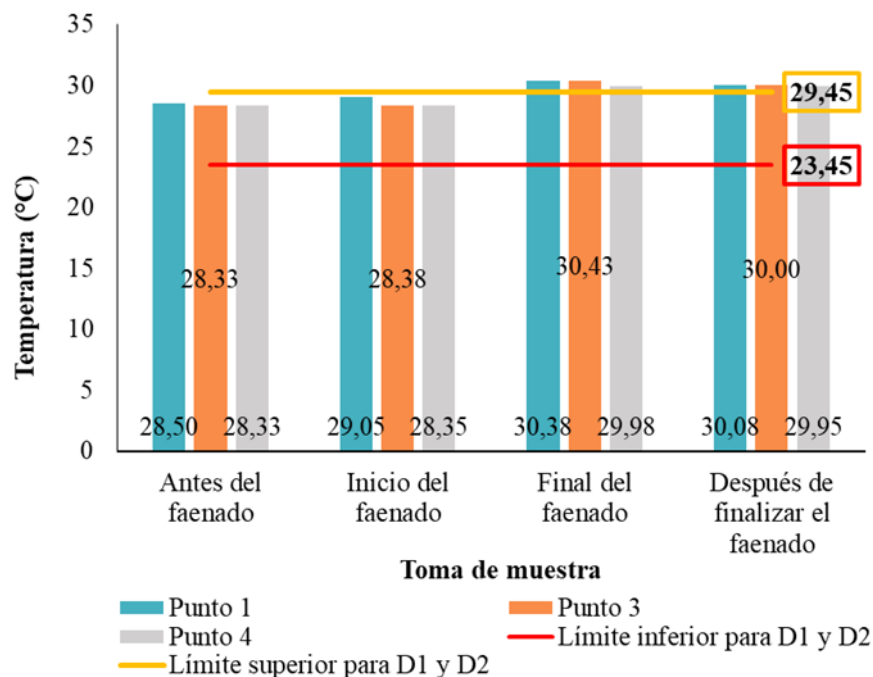
Por otro lado, los puntos 3 y 4 presentan un pH que aumenta con el paso del día, desde que inicia hasta después de finalizar el faenado; concordando con Mendoza (2023) que antes del efluente de un matadero obtuvo un pH de 7,84 y 100 m después del efluente, se incrementó a 8,37. También, Ndukwe et al. (2023) quienes obtuvieron un pH antes del efluente 7,19 y después del efluente 7,36. Además, Ocheje et al. (2021), quienes obtuvieron el incremento del pH después de la descarga de efluentes de tres mataderos en diferentes ríos, el primero se incrementó de 7,09 a 7,34; el segundo de 7,22 a 7,31 y el tercero de 7,09 a 7,56.

El incremento del pH del agua puede deberse a las cantidades significativas de materia orgánica y nutrientes de los efluentes del matadero (Anh et al., 2023; Kothari et al., 2024), que pueden promover el crecimiento de plantas acuáticas y mediante la fotosíntesis, consumir el CO₂ y liberar oxígeno, aumentando el pH (Boyd, 2019; Maleki et al., 2024; Zerveas et al., 2021), este proceso puede intensificarse con la presencia de vegetación circundante de *Bambusa sp.* en los puntos de monitoreo. Además, esta vegetación proporciona sombra que disminuye la temperatura del agua, reduciendo la tasa de descomposición de materia orgánica, contribuyendo al aumento del pH (Findlay, 2021), el cual está apoyado por la presencia de briofitas, según Lesiv et al. (2020), estas plantas actúan como barrera física que atrapan nutrientes y materia orgánica, reduciendo la tasa de descomposición. Por ello, el aumento del pH en los puntos 3 y 4 de la quebrada Pucayacu puede estar influenciado por la interacción de la composición del efluente del matadero, la actividad biológica de la quebrada y a la vegetación circundante, especialmente durante las horas de mayor actividad fotosintética.

Antes de iniciar las operaciones del matadero (antes del faenado), la quebrada Pucayacu presenta un pH diferente en los puntos de monitoreo. El punto 1 presenta un pH ligeramente menor con 8,36 respecto a los puntos 3 y 4, ambos con valores de 8,45. Estas diferencias en los puntos monitoreados pueden deberse a la presencia de vegetación circundante de *Bambusa sp.* y briofitas en los puntos 3 y 4, favoreciendo los procesos fotosintéticos y reduciendo la tasa de descomposición, anteriormente mencionados. Además, la presencia de *Bambusa sp.* contribuye a reducir la erosión, lo que minimiza la entrada de sedimentos ácidos y no permite la reducción del pH (Ahmed, 2023).

4.1.1.3. Temperatura

En la Figura 7 se muestra que la temperatura del agua en los puntos 1, 3 y 4 se incrementa hasta el final del faenado, seguido de una ligera disminución después de finalizar el faenado. Además, en los puntos de monitoreo solo antes y al inicio del faenado todos los valores se encuentran dentro del límite inferior y superior de los estándares de calidad ambiental para riego de vegetales y bebida de animales. Asimismo, la máxima temperatura se presenta en el punto 3 al final del faenado con 30,43 °C y la mínima temperatura en los puntos 3 y 4 antes del faenado, ambos con 28,33 °C.



D1: Riego de vegetales, D2: Bebida de animales.

Figura 7. Límite del estándar de temperatura (°C) referente al valor promedio en los puntos 1,3 y 4.

La variación de la temperatura del agua puede estar relacionado a las características geológicas, cubierta vegetal, profundidad del agua, la radiación solar directa, el momento del muestreo (Bhatt, 2024), grado de mezcla en la columna de agua (MacIntyre y Hamilton, 2024) y a la temperatura de aguas residuales (Briciu et al., 2020). En este contexto, el incremento en los puntos 1, 3 y 4 hasta el final del faenado, puede estar relacionado al aumento de la radiación solar durante el día (Findlay, 2021) y a la baja profundidad de la quebrada, cuyo valor promedio es 0,51 m; según Briciu et al. (2020), aguas menos profundas son más propensas a ser calentadas por la radiación solar. En el punto 1, este efecto se intensifica debido a la baja cobertura forestal, según Jackson et al. (2021) la falta de árboles permite mayor penetración de la radiación solar en el agua, aumentando su temperatura.

En los puntos 3 y 4 el incremento de temperatura también puede atribuirse a la descarga continua de efluente del matadero, puesto que ocurre durante los horarios de operación. Concordando con Mendoza (2023) que antes del efluente de un matadero obtuvo un valor de 10,80 °C y 100 m después del efluente, se incrementó a 11,50 °C. También, Ndukwe et al. (2023) quienes obtuvieron antes del efluente de un matadero una temperatura de 28,50 °C y después del efluente aumenta a 29,30 °C. Según Prabagar (2023), la temperatura de un efluente influye en la temperatura del agua de un río, reduciendo su capacidad de autodepuración.

Por otro lado, la disminución de la temperatura en los puntos 1, 3 y 4 después de finalizar el faenado puede ser producto de la mezcla y evaporación del agua. La mezcla del agua producto de las corrientes redistribuye el calor de manera homogénea, mientras que la evaporación enfría la superficie del agua (MacIntyre y Hamilton, 2024), apoyado por el ligero aumento del caudal después de finalizar el faenado de 0,52 m³/s a 0,54 m³/s; según Anh et al. (2023) el incremento del caudal facilita la redistribución del calor y la mezcla del agua.

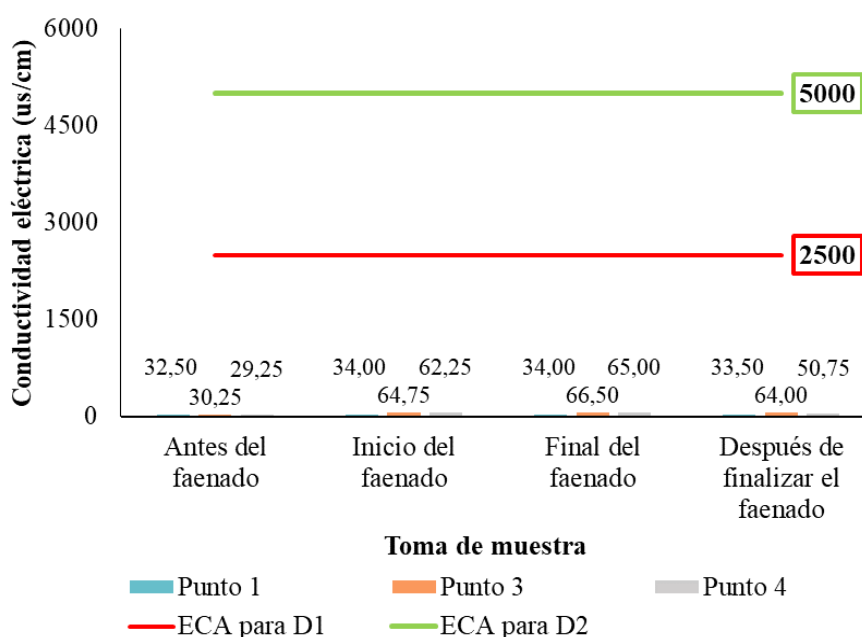
Asimismo, en los puntos 3 y 4 la disminución de la temperatura se presenta después de finalizar el faenado, por lo que puede estar relacionado al cese de las descargas del efluente del matadero, permitiendo la recuperación gradual de la temperatura natural y la dispersión del calor residual, apoyado por la reducción de radiación solar directa que proporciona la cobertura vegetal presente en estos puntos. La vegetación ribereña puede mitigar parcialmente el calentamiento y mantener la temperatura de los hábitats de agua fría (Fuller et al., 2022).

Además, antes de iniciar las operaciones del matadero (antes del faenado), cuando no hay descarga del efluente, la quebrada Pucayacu presenta una temperatura diferente en los puntos de monitoreo. El punto 1 presenta un valor ligeramente mayor con 28,50 °C respecto a los puntos 3 y 4, ambos con valores de 28,33 °C. Estas diferencias en los puntos de monitoreo pueden deberse a la baja profundidad de la quebrada y a la presencia de vegetación circundante de *Bambusa sp.* en los puntos 3 y 4. La vegetación ribereña puede proporcionar sombra y reducir la cantidad de radiación solar directa al agua (Daniels y Danner, 2021), creando un microclima más fresco en relación a áreas expuestas y según Fuller et al. (2022), un ancho inferior a 10 m se enfría con mayor frecuencia en presencia de vegetación ribereña. También, del punto 1 a los puntos 3 y 4, hay presencia de curvas y obstáculos, contribuyendo a las diferencias de temperaturas a lo largo del tramo estudiado, según Piatka et al. (2021) las variaciones morfológicas de los cuerpos de agua pueden crear micro hábitats con diferentes condiciones térmicas.

Estas fluctuaciones en la temperatura del agua de la quebrada pueden alterar el metabolismo y la fisiología de los animales acuáticos, según Prakash (2021), puede afectar el crecimiento, fecundidad, comportamiento alimentario y abundancia de los animales acuáticos. Además, el incremento de la temperatura puede acelerar las reacciones químicas y biológicas (Prabagar 2023), incrementa la generación de olores (Alisawi, 2020) y genera condiciones favorables para el crecimiento microbiano (Mondal, 2020; Seo, Cho, et al., 2019).

4.1.1.4. Conductividad eléctrica

En la Figura 8 se muestra que la conductividad eléctrica en los puntos de monitoreo se encuentran dentro de los límites de los estándares de calidad ambiental para riego de vegetales y bebida de animales. Asimismo, el máximo valor se presenta en el punto 3 al final del faenado con 66,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el mínimo en el punto 4 antes del faenado con 29,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



D1: Riego de vegetales, D2: Bebida de animales.

Figura 8. Límite del estándar de conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) referente al valor promedio en los puntos 1,3 y 4.

La conductividad eléctrica indica la presencia de solutos iónicos que se encuentran disueltos en el agua (Ahmadianfar et al. 2020; Idisi y Uguru, 2020). En este contexto, el incremento de este parámetro antes y al final del faenado en los puntos 1, 3 y 4 puede estar relacionado al aumento de temperatura del agua de la quebrada, el cual produce la reducción de la viscosidad debido a que los enlaces de las moléculas se vuelven débiles, aumentando la movilidad de los iones y con ello la conductividad eléctrica (Anh et al., 2023; Gutiérrez, 2020; Orr y Buchwalter, 2020). Asimismo, el incremento puede estar relacionado al ingreso de iones al cuerpo de agua mediante la escorrentía (Hidalgo y Veintimilla, 2024; Mainaili y Chang, 2021) y la baja densidad de vegetación ribereña en los puntos de monitoreo (Evangelista et al., 2021).

Asimismo, el incremento de la conductividad eléctrica de un cuerpo de agua puede indicar la contaminación de una fuente (Ahmadianfar et al. 2020; Mainaili y Chang, 2021) y puede influir en el crecimiento de las plantas y puede reducir la calidad del agua (Ahmadianfar et al., 2020). En este contexto, los máximos valores de conductividad eléctrica se presentan en los puntos 3 y 4 al inicio y final del faenado, por lo que puede atribuirse a la descarga continua del efluente del matadero, puesto que ocurre durante los horarios de operación. Este efluente contiene materia orgánica, detergentes y productos químicos que pueden incrementar la conductividad eléctrica, debido a la presencia de iones disueltos. Según

Kbibch et al. (2024), los efluentes de un matadero influyen significativamente en el incremento de la conductividad eléctrica en el agua. Concordando con Richarnov (2022) quien obtuvo un incremento de este parámetro después de la descarga de efluentes de un matadero, de 246 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 271 $\mu\text{S}/\text{cm}$. También, Ocheje et al. (2021), quienes obtuvieron un incremento después de la descarga de efluentes de tres mataderos en diferentes ríos, el primero se incrementó de 247 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 501 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el segundo de 221 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 269 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y el tercero de 245 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 512 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sin embargo, Mendoza (2023) antes del efluente de un matadero obtuvo un valor de 895 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 100 m después del efluente, la conductividad eléctrica disminuyó a 878,75 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y cabe mencionar que el caudal del río fue 4,90 m^3/s . Estas diferencias pueden deberse al bajo caudal que presenta la quebrada Pucayacu. El caudal influye en la dilución de la concentración de iones y otros compuestos disueltos (Anh et al. 2023; Idisi y Uguru, 2020).

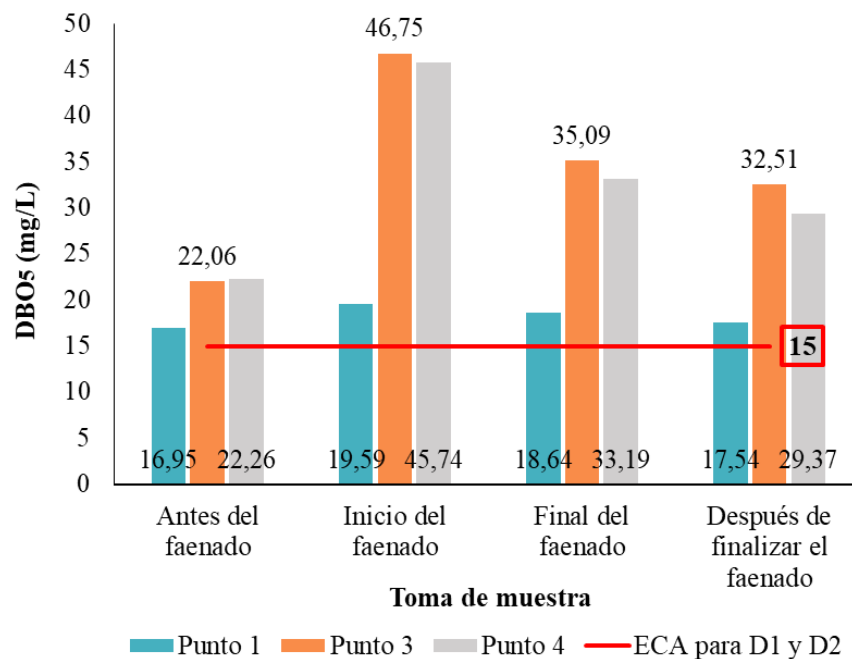
Además, al inicio, final y después de finalizar el faenado, el punto 4 presenta valores ligeramente menores en relación al punto 3. Esto puede estar relacionado a la mayor distancia del punto 4 con el efluente del matadero. A medida que el agua se desplaza, se produce la sedimentación, reduciendo los niveles de contaminación (Ejaz et al., 2024). El bajo caudal que presenta la quebrada Pucayacu puede ser beneficioso para que se produzca la sedimentación; sin embargo, es desfavorable para la dilución debido a la menor capacidad de dispersar y diluir los contaminantes. Concordando con Kenechukwu et al. (2023), quienes 30 m después del efluente de un matadero obtuvieron un aumento de la conductividad eléctrica de 149,70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 150,20 $\mu\text{S}/\text{cm}$; sin embargo, 60 y 80 m después del efluente disminuyó a 149,30 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 148,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente.

Después de finalizar el faenado la conductividad eléctrica, presentan una ligera disminución en los puntos 1, 3 y 4 que puede ser producto del descenso de la temperatura del agua y al ligero aumento del caudal registrado después de finalizar el faenado. Además, en los puntos 3 y 4 puede deberse al cese de descargas del matadero.

También, antes de iniciar las operaciones del matadero (antes del faenado), cuando no hay descargas de efluentes, la quebrada Pucayacu presenta valores diferentes en los puntos de monitoreo. El punto 1 presenta un valor ligeramente mayor con 32,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respecto a los puntos 3 y 4, con valores de 30,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y 29,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente. Estas diferencias pueden deberse a la densa vegetación circundante y menor temperatura que presentan los puntos 3 y 4, respecto al punto 1. Según Hidalgo y Veintimilla (2024), la presencia de vegetación ribereña puede limitar el ingreso de iones al agua.

4.1.1.5. DBO₅

En la Figura 9 se muestra que todas las concentraciones de DBO₅ en los puntos 1,3 y 4 se encuentran fuera del límite del estándar de calidad ambiental para riego de vegetales y bebida de animales. Asimismo, las concentraciones de DBO₅ tienden a aumentar hasta el inicio del faenado, seguido de una disminución hasta después de finalizar el faenado. Además, la mínima concentración se presenta en el punto 1 antes del faenado con 16,95 mg/L y la máxima concentración se presenta al inicio del faenado en el punto 3 con 46,75 mg/L.



D1: Riego de vegetales, D2: Bebida de animales.

Figura 9. Límite del estándar de DBO₅ (mg/L) referente al valor promedio en los puntos 1,3 y 4.

En los puntos 1, 3 y 4, las concentraciones de DBO₅ se incrementan hasta el inicio del faenado y puede deberse a la descomposición de materia orgánica por el aumento de temperatura, descargas de aguas residuales y al bajo flujo del agua debido a los meses de monitoreo, donde se presentan bajas precipitaciones (Anh et al., 2023; Crossman et al., 2021; Peña et al., 2020). En este contexto, la temperatura del agua de la quebrada también presenta un incremento al inicio del faenado, que favorece la descomposición de materia orgánica producido por los microorganismos aerobios, incrementando la demanda de oxígeno (Anh et al., 2023, Hasan et al., 2019). Además, con el aumento de la temperatura también se incrementa la saturación de oxígeno disuelto; sin embargo, la oxidación se produce con mayor rapidez (Chapra et al., 2021).

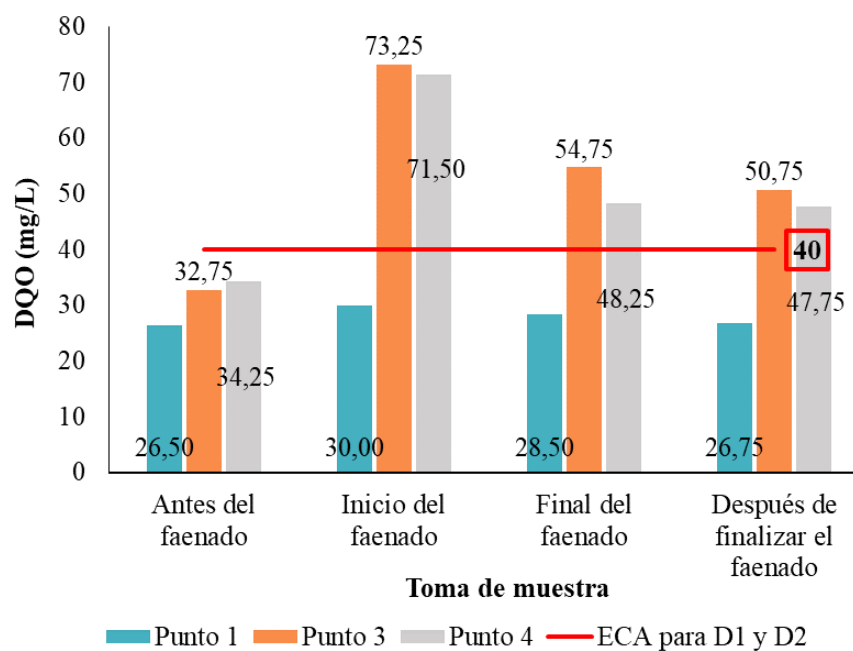
Asimismo, las máximas concentraciones de DBO_5 se presentan al inicio del faenado en los puntos 3 y 4 por lo que el incremento de este parámetro también puede estar relacionado a la descarga del efluente del matadero que puede contener alta carga orgánica e influir en la calidad del agua (Diarra et al., 2023). Concordando con Ndukwe et al. (2023) quienes obtuvieron antes del efluente de un matadero 0,42 mg/L y después 3,08 mg/L. Además, Richarnov (2022) obtuvo un incremento de 23 mg/L a 45 mg/L. Ocheje et al. (2021), también obtuvieron un incremento después de la descarga de efluentes de tres mataderos en diferentes ríos, el primero se incrementó de 14 mg/L a 55,40 mg/L, el segundo de 12 mg/L a 56,80 mg/L y el tercero de 13 mg/L a 75 mg/L. Sánchez y Quispe (2019) antes del efluente obtuvieron 249,05 mg/L y después 258,20 mg/L. Sin embargo, Mendoza (2023) antes del efluente de un matadero obtuvo un valor de 21,30 mg/L y después del efluente disminuyó a 13,90 mg/L. La diferencia puede estar relacionado a la baja profundidad y caudal que presenta la quebrada Pucayacu. A mayores profundidades y pendientes se generan turbulencias que permiten la aireación natural de un cuerpo de agua (Giao et al., 2021; Mainali y Chang, 2021; Piatka et al., 2021) Los ríos con un bajo flujo de agua presentan menor auto purificación (Chapra et al., 2021).

Además, al inicio, final y después de finalizar el faenado, el punto 4 presenta valores ligeramente menores en relación al punto 3. Concordando con Kenekchukwu et al. (2023), quienes obtuvieron la disminución de DBO_5 en relación a la distancia aguas abajo del efluente de un matadero, donde 40 m antes del efluente de un matadero el río presentó una DBO_5 de 181,30 mg/L y 30, 60 y 80 m después del efluente disminuyó a 137,60 mg/L, 124,20 mg/L y 117,80 mg/L, respectivamente. También, Aniobi et al. (2022), obtuvieron la disminución de DBO_5 en relación a la distancia aguas abajo del efluente de un matadero, donde 5, 10, 15 y 140 m después del efluente de un matadero, el río presentó valores de 2,88 mg/L, 2,09 mg/L, 1,35 mg/L y 1,04 mg/L, respectivamente.

También, la concentración de DBO_5 en los puntos 1,3 y 4 no cumplen los estándares de calidad de agua, incluso antes del faenado, indicando la presencia de altas concentraciones de compuestos biodegradables (Kenekchukwu et al., 2023) y de microorganismos que requieren de una mayor demanda bioquímica de oxígeno en el agua (Hasan et al., 2019), afectando el desarrollo de la vida acuática (Santacruz, 2019). Según Bhatt (2024). Altas concentraciones de DBO_5 disminuyen el oxígeno disuelto en el agua, generando estrés en la fauna acuática.

4.1.1.6. DQO

En la Figura 10 se muestra que todos los valores de DQO del punto 1 cumplen con el límite del estándar de calidad ambiental para riego de vegetales y bebida de animales; sin embargo, los puntos 3 y 4 solo cumplen antes del faenado. Asimismo, las concentraciones de DQO tienden a aumentar hasta el inicio del faenado, seguido de una disminución hasta después de finalizar el faenado, con una mínima concentración en el punto 1 antes del faenado con 26,50 mg/L y una máxima concentración en el punto 3 al inicio del faenado con 73,25 mg/L.



D1: Riego de vegetales, D2: Bebida de animales.

Figura 10. Límite del estándar de DQO (mg/L) referente al valor promedio en los puntos 1,3 y 4.

En los puntos 1, 3 y 4, las concentraciones de DQO se incrementan desde el inicio del faenado, indicando la presencia de materia orgánica. Este parámetro indica la cantidad de oxígeno que se demanda para oxidar la materia orgánica biodegradable y no biodegradable presente en el agua (Ma et al., 2020; Pimparkar et al., 2023; Rangasamy y Muniyandi, 2024). Asimismo, existe una relación entre las concentraciones de DQO y DBO₅, según Abagale (2021) la concentración de DBO₅ es significativamente influenciada por la concentración de DQO.

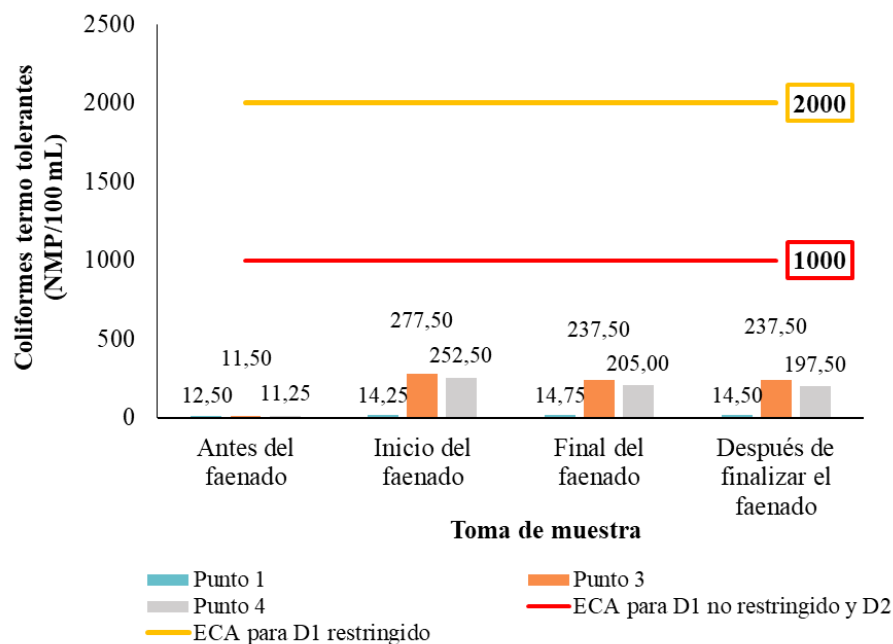
El incremento de DQO, puede estar relacionado al aumento de temperatura que acelera la velocidad de reacción de los procesos biológicos y químicos (Alisawi, 2020; Thaysen et al., 2021). Además, las máximas concentraciones se presentan al

inicio del faenado en los puntos 3 y 4, y disminuyen después de finalizar el faenado, por lo que puede estar relacionado a la descarga del efluente del matadero. Concordando con Ndukwe et al. (2023) quienes obtuvieron antes del efluente de un matadero un valor de 5,90 mg/L y después del efluente 18,50 mg/L. También, Richarnov (2022) después del efluente de un matadero obtuvo un incremento de 42 mg/L a 79 mg/L. Sin embargo, Kenechukwu et al. (2023), quienes 40 m antes del efluente de un matadero obtuvieron una DQO de 77,33 mg/L y 30, 60 y 80 m después del efluente disminuyó a 52,30 mg/L, 50,10 mg/L y 48 mg/L, respectivamente. También, Mendoza (2023) antes del efluente de un matadero obtuvo un valor de 53,25 mg/L y 100 m después del efluente, disminuyó a 34,75 mg/L.

4.1.2. Parámetros microbiológicos

4.1.2.1. Coliformes termo tolerantes

En la Figura 11 se muestra que todos los valores de coliformes termo tolerantes en los puntos de monitoreo se encuentran dentro de los límites de los estándares de calidad ambiental para riego de vegetales y bebida de animales. Asimismo, el máximo valor se presenta en el punto 3 al inicio del faenado con 277,50 NMP/100 mL y el mínimo valor en el punto 4 antes del faenado con 11,25 NMP/100 mL.



D1: Riego de vegetales, D2: Bebida de animales.

Figura 11. Límite del estándar de coliformes termo tolerantes (NMP/ 100 mL) referente al valor promedio en los puntos 1,3 y 4.

En los puntos 1, 3 y 4 hay presencia de coliformes termo tolerantes, indicando la existencia de contaminación fecal. Estas bacterias se encuentran en las heces de animales de sangre caliente (Vásquez et al., 2019) y su presencia en aguas superficiales puede contaminar los productos vegetales y volverlos insalubres para el consumo humano (Amuah et al., 2022) causando enfermedades como gastroenteritis y diarrea (Seo, Lee, et al., 2019).

Los factores que afectan la presencia de este parámetro es la depredación, contenido de materia orgánica, pH, presencia de toxinas, antibióticos, propiedades hidráulicas y factores climáticos como la temperatura, velocidad del viento y radiación solar (Weiskerger et al., 2019). En este contexto, el incremento de coliformes termo tolerantes en los puntos 1, 3 y 4, puede relacionarse al aumento de temperatura que incrementa su tasa metabólica y favorece su reproducción y crecimiento (Mondal, 2020; Seo, Cho, et al., 2019).

Además, los máximos valores de coliformes termo tolerantes se presentan al inicio del faenado en los puntos 3 y 4, y disminuye después de finalizar el faenado, por lo que el incremento de este parámetro también puede estar relacionado a la descarga del efluente del matadero. Concordando con Richarnov (2022) quien obtuvo un incremento de este parámetro después de la descarga de efluentes de un matadero, de 2 159 NMP/100 mL a 10 702 NMP/100 mL. Sin embargo, no concuerda con Kenechukwu et al. (2023), quienes 40 m antes del efluente de un matadero obtuvieron $4,10 \times 10^3$ NMP/100 mL y 30 m después del efluente se incrementó a $3,80 \times 10^4$ NMP/100 mL; pero 60 y 80 m después del efluente disminuyó a $3,40 \times 10^2$ NMP/100 mL y $2,30 \times 10^2$ NMP/100 mL, respectivamente. También, Mendoza (2023) obtuvo antes del efluente de un matadero un valor de 64,50 NMP/100 mL y 100 m después del efluente, disminuyó a 26 NMP/ 100 mL de coliformes termo tolerantes.

La disminución de coliformes termo tolerantes después de finalizar el faenado en los puntos de monitoreo puede ser producto del descenso de la temperatura del agua y al ligero aumento del caudal registrado después de finalizar el faenado que permite la dilución. Asimismo, puede estar relacionado a la muerte natural, sedimentación o adhesión a partículas. Los coliformes termo tolerantes pueden adherirse al lecho fluvial, material orgánico, minerales arcillosos formando envolturas como medio de protección contra factores físicos y climáticos (Fomina y Skorochod, 2020; Weiskerger et al., 2019; T. Wu et al., 2019). La adhesión al lecho fluvial les proporciona protección contra depredadores, temperatura, luz solar, toxinas y mayor disponibilidad de nutrientes mejorando su supervivencia y persistencia en comparación a otros que se encuentran libres en el agua (Conti et al., 2021; Seo Lee et al.,

2019). Además, en los puntos 3 y 4 puede deberse al cese de descargas del matadero y a la presencia de macrófitos que eliminan a los coliformes termo tolerantes mediante la secreción y secuestro radicular (J. Wang et al., 2021).

Asimismo, antes de iniciar las operaciones del matadero (antes del faenado), cuando no hay descargas de sus efluentes, la quebrada Pucayacu presenta valores diferentes de coliformes termo tolerantes en los puntos de monitoreo. El punto 1 presenta un valor ligeramente mayor con 12,50 NMP/ 100 mL respecto a los puntos 3 y 4, con 11,50 NMP/ 100 mL y 11,25 NMP/ 100 mL, respectivamente. Estas diferencias en los puntos de monitoreo pueden deberse a la presencia de la densa vegetación circundante de *Bambusa sp.* y a la eliminación mediado por los macrófitos. La vegetación ribereña no permite el ingreso de materia orgánica y contaminantes a los cuerpos de agua (Evangelista et al., 2021).

4.2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del efluente del matadero de la ciudad de Tocache

4.2.1. Parámetros fisicoquímicos

4.2.1.1. Caudal

El caudal promedio del efluente del matadero de la ciudad de Tocache es 0,004 m³/s; con una máxima descarga al final del faenado con 0,005 m³/s, respecto al inicio del faenado con 0,003 m³/s (Figura 12).

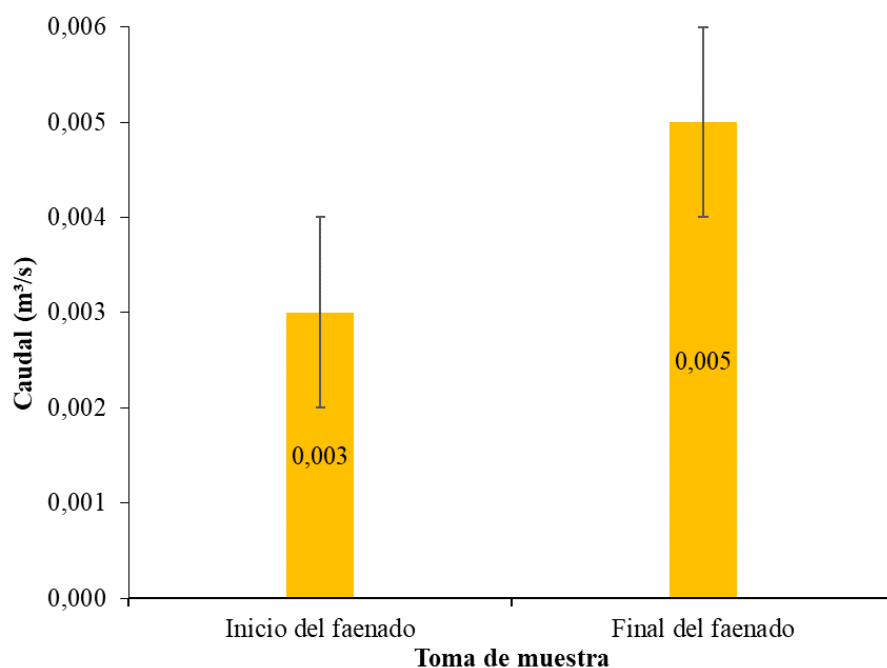


Figura 12. Caudal promedio (m³/s) del efluente del matadero de la ciudad de Tocache.

El caudal del efluente del matadero de la ciudad de Tocache es mayor al final del faenado con $0,005 \text{ m}^3/\text{s}$, respecto al inicio del faenado con $0,003 \text{ m}^3/\text{s}$. Esta variación se debe al aumento del consumo de agua durante las etapas finales del faenado, donde se realiza la limpieza de las instalaciones. Coincidiendo con Aleksic et al. (2020), quienes mencionan que de cuarenta y un mataderos que estudiaron, el 45 % del consumo total de agua es utilizado durante la limpieza de las instalaciones, mientras que las actividades de sacrificio, sangrado y eviscerado representan solo el 22 %. Este patrón resalta la importancia de optimizar el uso del agua en mataderos.

Asimismo, durante el periodo de monitoreo (febrero a mayo) el matadero de la ciudad de Tocache ha faenado en promedio 47 animales en 5 días entre bovinos y porcinos, generando un caudal de efluente promedio de $0,004 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual es vertido sin tratamiento a la quebrada Pucayacu. Estos valores son inferiores respecto a otros mataderos analizados por otros autores como Mendoza (2023), quien obtuvo un caudal promedio de $0,45 \text{ L/s}$ producto del faenado de 95,50 animales al día. Mientras que Richarnov (2022), obtuvo un caudal promedio de $5,60 \text{ L/s}$ producto del faenado de 44 animales al día. Además, Atikpo y Okonofua (2020) obtuvieron que las aguas residuales de un matadero son descargadas a un río con un caudal promedio de $0,43 \text{ m}^3/\text{s}$. Estas diferencias pueden deberse a la cantidad de animales faenados, tipo de animales, formación del personal y estado de los equipos que se utilizan (Aleksic et al., 2020).

Además, el matadero de la ciudad de Tocache está en proceso de autorización de funcionamiento como categoría 2; es decir con una producción diaria mayor a diez bovinos, veinte porcinos o camélidos y treinta ovinos o caprinos, lo que implica mayor consumo de agua y por consiguiente un aumento en el caudal del efluente vertido a la quebrada Pucayacu.

4.2.1.2. pH

El pH promedio del efluente del matadero es 7,61; encontrándose dentro del límite inferior y superior establecido para efluentes de PTAR domésticas o municipales, con un pH máximo de 7,78 al final del faenado y un pH mínimo de 7,45 al inicio del faenado (Figura 13).

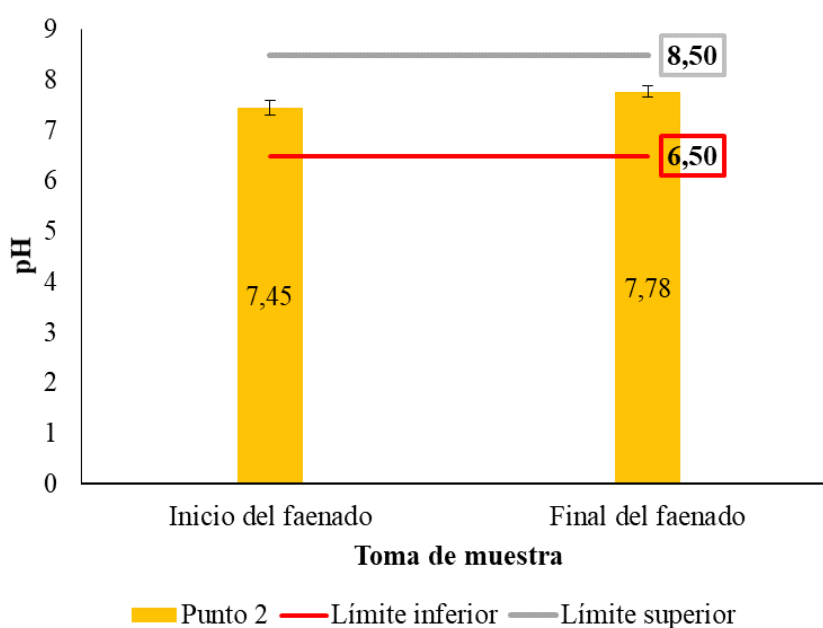


Figura 13. Límite permisible de pH referente al valor promedio en el Punto 2.

El efluente del matadero al inicio del faenado presenta un pH de 7,45 y al final del faenado se incrementa a 7,78; esto puede deberse a la naturaleza alcalina de los detergentes y desinfectantes que se utiliza para la limpieza de las instalaciones al final del faenado, contribuyendo al incremento del pH. Asimismo, el pH promedio del efluente es 7,61; similar a otros autores que analizaron efluentes de mataderos descargados a aguas superficiales sin tratamiento, como Kbibch et al. (2024) que obtuvieron un pH de 7,57. Mientras que Kenechukwu et al. (2023) obtuvieron un pH de 7,78. Además, Hassimi et al. (2022) un pH de 7,08. También, Richarnov (2022) analizó dos vertederos del matadero municipal de Huánuco, el principal con un pH de 6,89 y el secundario con 7,20; encontrándose dentro del límite inferior y superior para efluentes de PTAR domésticas o municipales. Ocheje et al. (2021) analizaron efluentes de tres mataderos, en el primer efluente obtuvieron un pH de 7,56; en el segundo y tercero 7,34. Aleksic et al. (2020) de cuarenta y un mataderos obtuvieron un efluente con pH promedio de 7,24. Eze et al. (2020) obtuvieron un efluente con pH de 7,20. Sánchez y Quispe (2019) obtuvieron un pH de 7,69.

Además, concuerda con otros autores que analizaron efluentes de mataderos con tratamiento antes de ser descargados a aguas superficiales, como Mendoza (2023) quien analizó un matadero de Puno y obtuvo que el efluente presenta un pH de 7,62 encontrándose dentro del límite inferior y superior para efluentes de PTAR domésticas o municipales. Abdouni et al. (2021) antes del tratamiento obtuvieron un pH 7,47 y después del tratamiento disminuyó a 6,97.

4.2.1.3. Temperatura

La temperatura promedio del efluente del matadero es 28,31 °C encontrándose dentro del límite establecido para efluentes de PTAR domésticas o municipales, con un máximo de 30,08 °C al inicio del faenado y un mínimo de 26,55 °C al final del faenado (Figura 14).

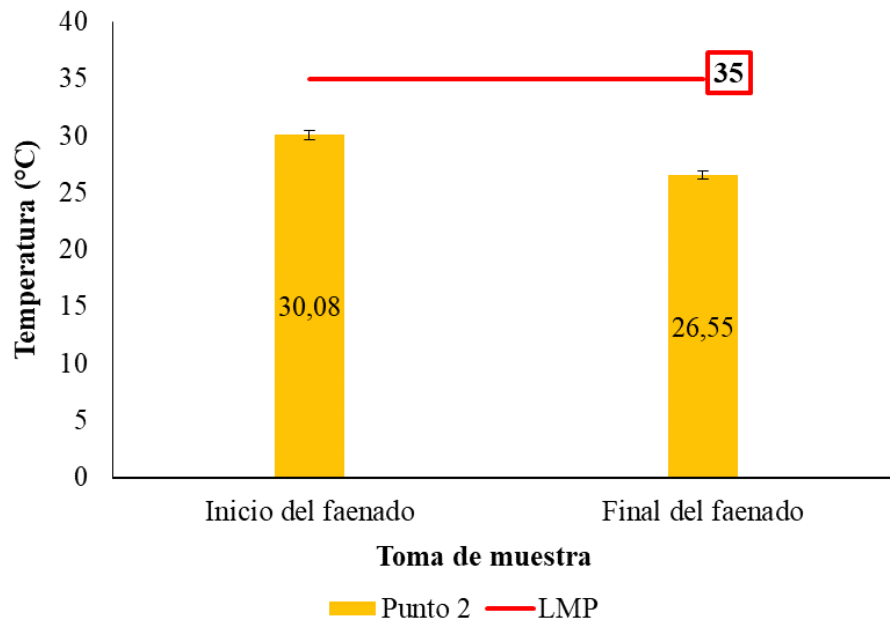


Figura 14. Límite permisible de temperatura (°C) referente al valor promedio en el Punto 2.

El efluente del matadero al inicio del faenado presenta una temperatura de 30,08 °C y al final del faenado disminuye a 26,55 °C; esto puede relacionarse a la transferencia de calor producto del sangrado de los animales faenados y al uso de agua caliente en el escaldado realizado en los porcinos durante el inicio del faenado. Este proceso consta de sumergir las carcasas de los cerdos en agua caliente durante unos minutos para el retiro del pelo (Soto et al., 2020; Zeng et al., 2021). Mientras que al final del faenado se utiliza abundante agua fría para reducir los procesos térmicos y la posterior limpieza de las instalaciones, permitiendo la disminución de la temperatura del efluente.

Asimismo, la temperatura promedio del efluente del matadero es 28,31 °C, similar a otros autores que analizaron efluentes de mataderos sin tratamiento, como Hassimi et al. (2022) quienes obtuvieron una temperatura de 28,60 °C. Richarnov (2022) quien analizó dos vertederos de un matadero; el principal y secundario obtuvo temperaturas de 23 °C; encontrándose dentro del límite máximo para efluentes de PTAR domésticas o municipales. Eze et al. (2020) obtuvieron un efluente con temperatura promedio de 27,60 °C.

4.2.1.4. Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica promedio del efluente del matadero es 389,88 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con un máximo de 430,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ al inicio del faenado y un mínimo de 349,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ al final del faenado (Figura 15).

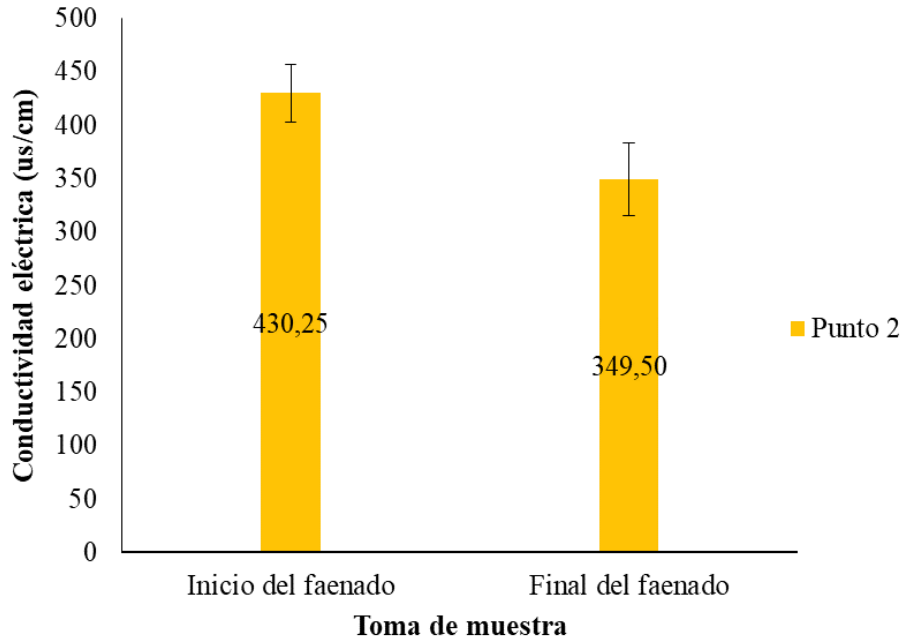


Figura 15. Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) del Punto 2.

El efluente del matadero al inicio del faenado presenta una conductividad eléctrica de 430,25 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y al final del faenado disminuye a 349,50 $\mu\text{S}/\text{cm}$; esto puede deberse a la alta concentración de sustancias orgánicas presentes en la sangre y fluidos corporales de los animales faenados, que contribuyen a una mayor cantidad de iones en el efluente. Además, es apoyado por el uso de agua caliente en el escaldado de los porcinos durante el inicio del faenado, aumentando la movilidad de los iones. El aumento de temperatura, produce la reducción de la viscosidad debido a que los enlaces de las moléculas se vuelven débiles, aumentando la movilidad de los iones y con ello la conductividad eléctrica (Anh et al., 2023; Gutiérrez, 2020; Orr y Buchwalter, 2020). Mientras que al final de faenado el efluente se diluye progresivamente debido al mayor consumo de agua usados en la limpieza de las instalaciones, reduciendo la concentración de iones.

Asimismo, la conductividad eléctrica promedio del efluente del matadero es 389,88 $\mu\text{S}/\text{cm}$, similar a otros autores que analizaron efluentes de mataderos descargados a aguas superficiales sin tratamiento, como Kenekukwu et al. (2023) quienes obtuvieron un valor de 274,76 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ocheje et al. (2021) analizaron efluentes de tres

mataderos, en el primer efluente obtuvieron una conductividad eléctrica de 513 $\mu\text{S}/\text{cm}$; en el segundo 281 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y en el tercero 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Sin embargo, otros autores obtuvieron valores superiores, como Kbibch et al. (2024) quienes obtuvieron un valor de 2 690 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Hassimi et al. (2022) obtuvieron un valor de 985 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Eze et al. (2020) obtuvieron un valor de 8 825 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estas variaciones dependen de la cantidad de animales faenados, tipo de animales, formación del personal, procedimientos operativos y estado de los equipos que se utilizan (Aleksic et al., 2020).

4.2.1.5. DBO₅

La DBO₅ promedio del efluente del matadero es 221,02 mg/L encontrándose fuera del límite establecido para efluentes de PTAR domésticas o municipales, con un máximo de 262,27 mg/L al inicio del faenado y un mínimo de 179,78 mg/L al final del faenado (Figura 16).

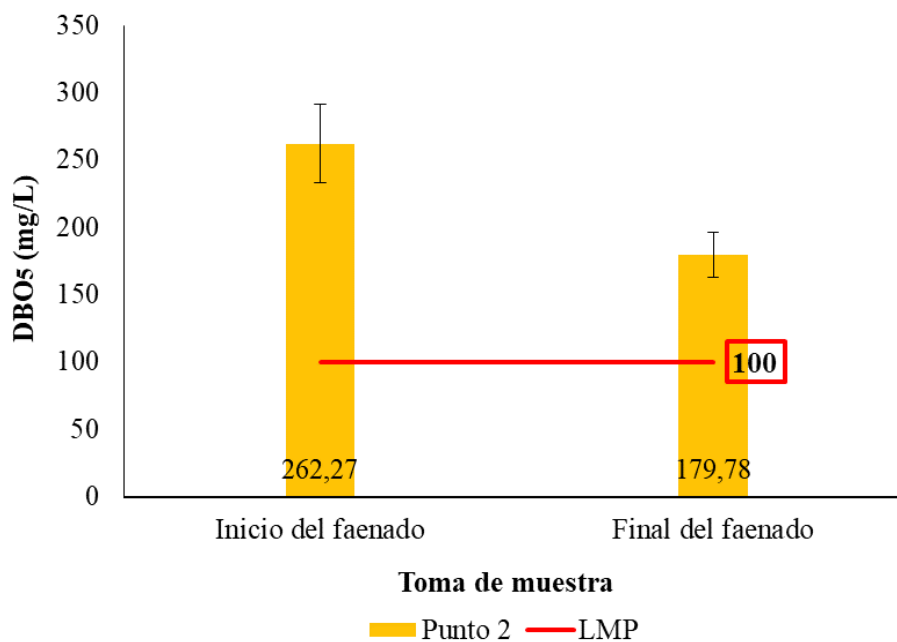


Figura 16. Límite permisible de DBO₅ (mg/L) referente al valor promedio en el Punto 2.

El efluente del matadero al inicio del faenado presenta una DBO₅ de 262,27 mg/L y al final del faenado disminuye a 179,78 mg/L; esto puede deberse a la alta carga de materia orgánica como sangre, vísceras y heces liberados en el proceso de desangrado y eviscerado. Según Richarnov (2022) la mayor generación de residuos orgánicos, conformados por material fecal, sangre, vísceras, pelos, pezuñas y cuernos se presenta en las hembras. En el

matadero, en 5 días se faenan en mayor cantidad animales hembras entre bovinos y porcinos, generando mayor cantidad de residuos orgánicos que demanden gran cantidad de oxígeno para su descomposición.

Además, la concentración de DBO₅ al inicio del faenado es mayor producto del escalado, que favorece la descomposición de la materia orgánica realizado por los microorganismos aerobios, incrementando la demanda de oxígeno (Anh et al., 2023, Hasan et al., 2019). También, el consumo de agua es menor durante estos procesos, lo que resulta en un efluente con mayor concentración de DBO₅. Mientras que al final del faenado se recogen y clasifican los residuos orgánicos en recipientes y aumenta el consumo de agua, reduciendo la concentración de DBO₅ en el efluente.

Asimismo, la DBO₅ promedio del efluente del matadero es 221,02 mg/L; otros autores que analizaron efluentes de mataderos descargados a aguas superficiales sin tratamiento, obtuvieron valores inferiores, como Kbibch et al. (2024) quienes obtuvieron un valor de 186 mg/L. Richarnov (2022) analizó dos vertederos del matadero municipal de Huánuco, el principal con una DBO₅ de 89 mg/L y el secundario con 67 mg/L; encontrándose dentro del límite máximo para efluentes de PTAR domésticas o municipales. Ocheje et al. (2021) analizaron efluentes de tres mataderos, en el primer efluente obtuvieron una DBO₅ de 73, 50 mg/L; en el segundo 76 mg/L y en el tercero 54,90 mg/L. Atikpo y Okonofua (2020) obtuvieron un valor de 108,4 mg/L. Eze et al. (2020) obtuvieron un valor de 171,75 mg/L. Sin embargo, otros autores obtuvieron valores superiores, como Kenekchukwu et al. (2023) quienes obtuvieron un valor de 280 mg/L. Hassimi et al. (2022) obtuvieron un valor de 5 338,50 mg/L. Aleksic et al. (2020) de cuarenta y un mataderos obtuvieron un efluente con DBO₅ promedio de 434,36 mg/L. Sánchez y Quispe (2019) obtuvieron un valor de 264,97 mg/L. Esta variabilidad entre mataderos puede relacionarse al manejo de los residuos orgánicos, practicas operativas, tipos de animales, cantidad de animales y otros factores.

4.2.1.6. DQO

La DQO promedio del efluente del matadero es 354,25 mg/L encontrándose fuera del límite establecido para efluentes de PTAR domésticas o municipales, con un máximo de 412,50 mg/L al inicio del faenado y un mínimo de 296 mg/L al final del faenado (Figura 17).

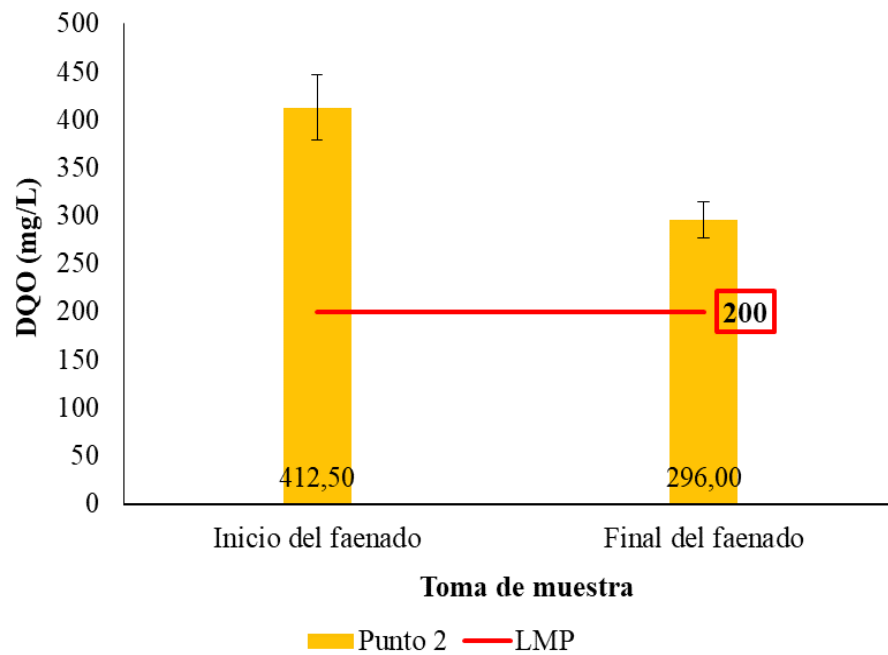


Figura 17. Límite permisible de DQO (mg/L) referente al valor promedio en el Punto 2.

El efluente del matadero al inicio del faenado presenta un DQO de 412,50 mg/L y al final del faenado disminuye a 296 mg/L; esto puede relacionarse a la generación de residuos orgánicos durante el inicio del faenado, aumentando la demanda de oxígeno para oxidar la materia orgánica (Ma et al., 2020; Pimparkar et al., 2023; Rangasamy y Muniyandi, 2024). Además, la alta temperatura del agua al inicio del faenado puede acelerar la velocidad de reacción de los procesos biológicos y químicos (Alisawi, 2020; Thaysen et al., 2021), incrementando el DQO.

Asimismo, el DQO promedio del efluente del matadero es 354,25 mg/L; otros autores que analizaron efluentes de mataderos descargados a aguas superficiales sin tratamiento, obtuvieron valores inferiores, como Kbibch et al. (2024) quienes obtuvieron un valor de 280 mg/L. Kenekchukwu et al. (2023) quienes obtuvieron un valor de 234,70 mg/L. Richarnov (2022) analizó dos vertederos del matadero municipal de Huánuco, el principal con un DQO de 89 mg/L y el secundario con 131 mg/L; encontrándose dentro del límite máximo para efluentes de PTAR domésticas o municipales.

Sin embargo, otros autores obtuvieron valores superiores, como Hassimi et al. (2022) quienes obtuvieron un valor de 12 860 mg/L. Ocheje et al. (2021) analizaron efluentes de tres mataderos, en el primer efluente obtuvieron un DQO de 5 305 mg/L; en el segundo 4 351 mg/L y en el tercero 3 450 mg/L. Aleksic et al. (2020) de cuarenta y un

mataderos obtuvieron un efluente con DQO promedio de 977,54 mg/L. Eze et al. (2020) obtuvieron un valor de 511 mg/L. Sánchez y Quispe (2019) obtuvieron un valor de 373,10 mg/L.

La relación promedio entre los valores de DBO₅ y DQO es 0,62; por ello, puede aplicarse un tratamiento biológico a las aguas residuales del matadero de la ciudad de Tocache. Las proporciones de DBO₅ y DQO son indicadores de la biodegradabilidad (Hassimi et al., 2022). Si la relación entre estos dos parámetros es mayor a 0,6; el agua residual es completamente biodegradable y puede aplicarse de manera efectiva un tratamiento biológico (Abdouni et al., 2021; Kbibch et al., 2024; Njoya et al., 2019).

4.2.2. Parámetros microbiológicos

4.2.2.1. Coliformes termo tolerantes

Los coliformes termo tolerantes promedio del efluente del matadero es 577,50 NMP/ 100 mL encontrándose dentro del límite establecido para efluentes de PTAR domésticas o municipales, con un máximo de 780 NMP/ 100 mL al inicio del faenado y un mínimo de 375 NMP/ 100 mL al final del faenado (Figura 18).

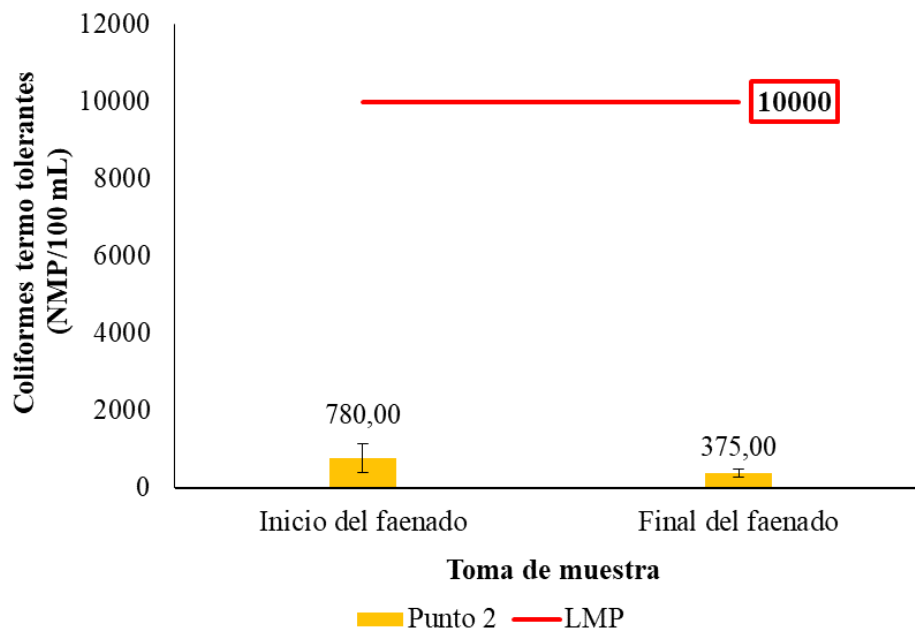


Figura 18. Límite permisible de coliformes termo tolerantes (NMP/ 100 mL) referente al valor promedio en el Punto 2.

El efluente del matadero al inicio del faenado presenta 780 NMP/100 mL de coliformes termo tolerantes y al final del faenado disminuye a 375 NMP/100 mL; esto puede relacionarse al inadecuado manejo de las heces y en el tracto intestinal durante el inicio del faenado. Estas bacterias se encuentran en las heces de animales de sangre caliente (Vásquez et al., 2019). Además, la alta temperatura del agua al inicio del faenado puede incrementar la tasa metabólica y favorecer la reproducción y crecimiento de los coliformes termo tolerantes (Mondal, 2020; Seo, Cho, et al., 2019).

Asimismo, los coliformes termo tolerantes promedio del efluente del matadero es 577,50 NMP/ 100 mL; otros autores que analizaron efluentes de mataderos descargados a aguas superficiales sin tratamiento, obtuvieron valores superiores como Kenechukwu et al. (2023) quienes obtuvieron un valor de $3,4 \times 10^3$ NMP/ 100 mL. También, Richarnov (2022) analizó dos vertederos del matadero municipal de Huánuco, el principal con un valor de 107 022 NMP/ 100 mL y el secundario con 78 127 NMP/ 100 mL; superando el límite máximo para efluentes de PTAR domésticas o municipales.

4.3. Influencia del efluente del matadero en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu

La calidad del agua de la quebrada Pucayacu en el punto 1 según el ICA-PE es 97,91 (excelente) y en los puntos 3 y 4 presenta índices de 88,05 y 89,06; ambos calificados como buenos (Figura 19).

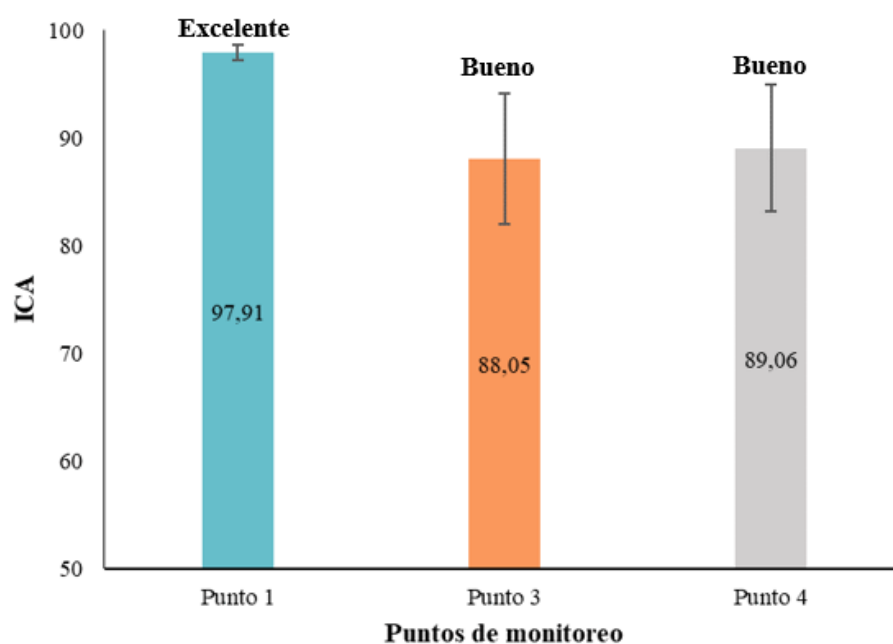


Figura 19. Índice de calidad del agua (ICA- PE) en los puntos 1,3 y 4 de la quebrada Pucayacu.

Según el ICA-PE, la quebrada Pucayacu en el punto 1 presenta un índice de 97,91, calificado como excelente, incumpliendo los parámetros de temperatura y DBO₅; mientras que en el punto 3 disminuye a 88,05 calificado como buena, seguido por un ligero aumento en el punto 4 a 89,06 también calificado como buena, incumpliendo los parámetros de pH, temperatura, DBO₅ y DQO, en ambos puntos. Concordando con Richarnov (2022) que obtuvo una diferencia significativa entre sus resultados obtenidos antes y después del efluente, concluyendo que el efluente del matadero municipal de Huánuco influye en la contaminación del río Huallaga. Además, Ndukwe et al. (2023) indican que la descarga sin tratamiento de efluentes de los mataderos contribuye a la mala calidad de los ríos, requiriendo de una adecuada gestión y eliminación de sus residuos. También, Idisi y Uguru (2020) concluyeron que la descarga del efluente sin tratamiento de un matadero disminuye la calidad del agua del río Brass y recomienda que el efluente reciba un tratamiento adecuado antes de su vertido.

Además, si el matadero de la ciudad de Tocache presenta autorización de funcionamiento como categoría 2, sin un adecuado sistema de tratamiento y manejo de residuos, la calidad del agua de la quebrada puede disminuir aún más. A esto se suma la extracción del agua para fines acuícolas por empresas privadas y la Municipalidad de la provincia de Tocache, que puede reducir el caudal, concentrar los contaminantes e intensificar la disminución de la calidad del agua de la quebrada. La extracción de agua, afecta los patrones de flujo natural disminuyendo el caudal de los cuerpos de agua (Condón y Maxwell, 2019; Q. Wang et al., 2023) y con la existencia de fuentes puntuales de contaminación permiten la acumulación de contaminantes, afectando la calidad del agua (Coble et al., 2020; Wei et al., 2024).

Asimismo, es importante destacar que a más de 200 m después del efluente existe otra fuente de contaminación, según el Observatorio Nacional de Recursos Hídricos, en el margen derecho de la quebrada Pucayacu se descargan aguas residuales domésticas sin tratamiento con un caudal aforado de 0,022 m³/s, que podría intensificar la disminución de la calidad del agua de la quebrada Pucayacu aguas más abajo.

Por otro lado, la Tabla 18 muestra que el ICA-PE del agua de la quebrada Pucayacu en los puntos 3 y 4 ubicados a 150 y 200 m después del efluente, son significativamente diferentes a la calidad del agua en punto 1 ubicado a 20 m antes del efluente a un nivel de confianza del 95 %. Esto sugiere que el efluente influye negativamente, produciendo una disminución significativa en la calidad del agua a 150 m y se mantiene hasta los 200 m después del efluente, sin presentar una mejora significativa.

Tabla 18. Prueba t de Student para muestras relacionadas en los puntos 1, 3 y 4.

Puntos de monitoreo	t	gl	Significancia (bilateral)	Conclusión
Punto 1 vs Punto 3	3,62	3	0,04	Si hay influencia
Punto 1 vs Punto 4	3,38	3	0,04	Si hay influencia
Punto 3 vs Punto 4	-2,07	3	0,13	No hay influencia

t: Estadístico, gl: Grados de libertad.

4.4. Alternativas para reducir los contaminantes presentes en el efluente del matadero de la ciudad de Tocache

Teniendo en cuenta que el efluente del matadero supera los valores máximos de DBO₅ y DQO establecidos para efluentes de PTAR domésticas o municipales. Además, que puede deberse a la alta carga de materia orgánica como sangre, vísceras no comestibles, estiércol y otros residuos; se identificaron alternativas que incluyen la recolección, aprovechamiento de los residuos orgánicos y el tratamiento de las aguas residuales.

a. Recolección de los residuos orgánicos

En la Tabla 19 se muestra el procedimiento para la recolección de los residuos orgánicos de mataderos, que incluye la clasificación y separación en el punto de generación, el uso de contenedores cerrados y la recolección diferenciada de cada tipo de residuo orgánico (sangre, vísceras no comestibles, estiércol y otros residuos). Esto no solo previene la contaminación cruzada, sino que también asegura que cada tipo de residuo pueda destinarse al proceso de valorización más adecuado.

Tabla 19. Alternativa de procedimiento de recolección de residuos orgánicos de mataderos.

Residuo orgánico	Procedimiento	Referencia
Sangre	Recolección mediante una incisión en la vena yugular con cuchillos de succión conectado a un recipiente cerrado, evitando la contaminación cruzada.	Coenen et al. (2022); Ragasri y Sabumon (2023); SENASA (2018)

Vísceras no comestibles	Recolección en recipientes etiquetados y limpios, previa inspección del médico veterinario para garantizar que se encuentren libres de contaminantes o enfermedades.	SENASA (2021)
Estiércol	Recolección en seco y depositarlos en recipientes con tapa para su posterior disposición.	SENASA (2021)
Otros residuos orgánicos	Recolección en recipientes etiquetados y limpios.	SENASA (2021)

b. Alternativas de aprovechamiento de los residuos orgánicos

En la Tabla 20 se muestra las alternativas de aprovechamiento de los residuos orgánicos de mataderos, derivados de los procesos de rendering y digestión anaeróbica.

Tabla 20. Alternativas de aprovechamiento de residuos orgánicos de mataderos.

Residuo orgánico	Alternativas de proceso	Sub producto obtenido	Utilización
Sangre, vísceras no comestibles y otros residuos orgánicos	Rendering	Harina	- Fertilizante orgánico - Alimento balanceado
		Digestión anaeróbica	Biogás
	Digestato		- Fertilizante orgánico
	Estiércol	Digestión anaeróbica	Biogás
Digestato			- Fertilizante orgánico

Actualmente, la venta directa de sangre de los animales faenados permite reducir parcialmente los residuos, generando ingresos para el matadero. Sin embargo, este enfoque no maximiza el valor potencial de los residuos ni aborda completamente los impactos ambientales asociados, debido a la inadecuada recolección de residuos orgánicos del matadero que presenta riesgos ambientales y operacionales, permitiendo que algunos restos terminen en la quebrada Pucayacu o en el botadero Charapita. Además, la recolección en recipientes sin tapa puede permitir la proliferación de patógenos, emisión de olores y contaminación de los residuos orgánicos destinados para venta directa.

El rendering se presenta como una alternativa viable para el procesamiento de 290,07 Kg de residuos orgánicos generados en 5 días en el matadero de la ciudad de Tocache, que incluyen sangre, vísceras no comestibles y otros residuos orgánicos. Este método permite transformar los residuos orgánicos en harina, que puede ser utilizada como fertilizante orgánico o en la elaboración de alimentos balanceados. Según Pazmiño y Ramírez (2021) concluyeron que la valorización de los residuos orgánicos de un matadero mediante una planta de rendering es el manejo más eficiente económica y ambientalmente, frente al vertimiento a un botadero de cielo abierto. También, Zagklis et al. (2020) resaltan que el rendering es superior a la incineración, compostaje y digestión anaeróbica; por su eficiencia en la valorización de residuos. Sin embargo, este proceso presenta ciertas limitaciones, debido al alto consumo energético y la necesidad de mercados estables para la comercialización de los sub productos lo que podría representar un desafío en la ciudad de Tocache debido a su demanda limitada. Además, la inversión inicial para la instalación de una planta de rendering es considerable, lo que podría representar una barrera significativa para mataderos pequeños con recursos limitados, como el caso del matadero de esta ciudad.

Por otro lado, la digestión anaeróbica también es una alternativa prometedora para procesar 290,07 Kg de residuos orgánicos mezclados (sangre, vísceras no comestibles y otros residuos orgánicos) generados en 5 días; así como para el estiércol de manera individual, con una cantidad de 249,40 Kg. Este proceso no solo permite la reducción de la carga orgánica, sino que también produce biogás, que puede cubrir el 94,20 % de la demanda energética del matadero producto del procesamiento de 17 782 kg mensual de estiércol (Gonzales, 2023). Asimismo, produce digestato, un fertilizante orgánico más económico y ambientalmente favorable que los fertilizantes químicos (Bhunja et al., 2023; Ozdemir y Yetilmezsoy, 2019). Asimismo, al considerar la digestión anaeróbica para el procesamiento del total de residuos orgánicos (539,47 Kg), el proceso podría ser aún más eficiente desde el punto de vista energético. La mezcla de diferentes tipos de residuos puede mejorar la producción de biogás debido a la mayor diversidad de sustratos, optimizando el sistema. Sin embargo, es importante destacar que la implementación de una planta de digestión anaeróbica requiere de una inversión inicial significativa, aunque los costos operativos a largo plazo son menores en comparación con el rendering.

Considerando la cantidad de residuos generados en 5 días de faenado y las posibles restricciones presupuestarias del matadero de la ciudad de Tocache, la digestión anaeróbica se perfila como la alternativa más viable desde un enfoque económico y ambiental.

Este proceso, no solo permite una gestión eficiente y sostenible de los residuos, sino que también contribuye a la auto eficiencia energética y la producción de fertilizantes.

c. Alternativas de tratamiento de aguas residuales

En la Tabla 21 se muestran las alternativas de tratamientos fisicoquímicos y en la Tabla 22 las alternativas de tratamientos biológicos aplicados a aguas residuales de mataderos, con sus respectivas consideraciones de operación y eficiencias de remoción de DBO₅ y DQO, para su cumplimiento establecido para efluentes de PTAR domésticas o municipales.

Tabla 21. Tratamientos fisicoquímicos aplicados a aguas residuales de mataderos.

Tratamiento	Consideraciones	Eficiencias	Referencia
Irradiación de ultrasonido y H ₂ O ₂	Tiempo de irradiación: 180 min Densidad de potencia: 1 200 W/L Frecuencias: 578 kHz	DQO: 50 %	Abdelhay et al. (2020)
Flotación por aire disuelto		DQO: 98,60 % DBO ₅ : 97,9 %	Baker et al. (2020)
Electrocoagulación	Densidad de corriente: 20 mA/cm ² Tiempo de retención: 40 min	DQO: 96,60% DBO ₅ : 96 %	Emara et al. (2019)
Fenton con ultrasonido y hierro reciclado	pH:3 H ₂ O ₂ : 90 mg/L	DQO: 98,40% DBO ₅ : 98 %	Joao et al. (2020)
Fenton	Concentraciones optimas: - Fe ²⁺ : 1234 mg/L - H ₂ O ₂ : 709,65 mg/L - pH: 4,5	DQO: 97,36 %	Zuñiga (2023)

Tabla 22. Tratamientos biológicos aplicados a aguas residuales de mataderos.

Tratamiento	Consideraciones	Eficiencias	Referencia
Humedal artificial	- Sustrato: gravilla de zeolita + arena + suelo		
	- Tiempo de retención hidráulico: 94 h	DQO: 96 %	Guillermo et al.
	- Planta emergente: <i>Cyperus alternifolius</i>	DBO ₅ : 96,4 %	(2022)
	- Adición de microorganismos eficientes		
	- Planta emergente: <i>Typha latifolia</i>	DQO: 70 %	Javier y
	- Pre tratadas mediante desbaste y sedimentación	DBO ₅ : 89.1%	Toscano (2023)
	- Planta emergente: <i>Cyperus alternifolius</i>	DQO: 85 %	Ramdani et al. (2019)
Filtro anaeróbico y humedal artificial	- Tiempo de retención hidráulica: 4,2 h	DQO: 92,90 %	Suwerda et al.
	- Filtro de grava	DBO ₅ : 88,90 %	(2022)
Digestión anaeróbica	- Dos biorreactores galvanizados conectados consecutivamente	DQO: 82,87 % DBO ₅ : 93,32 %	Tsegaye y Leta (2023)

El tratamiento de las aguas residuales de mataderos es un desafío debido a su alta carga de materia orgánica (Chowdhury et al., 2022; Kothari et al., 2024). En el caso del matadero de la ciudad de Tocache que presenta un efluente con caudal de 0,004 m³/s y con limitaciones respecto al presupuesto, es fundamental identificar un sistema que sea eficiente, económico y sostenible.

Entre las alternativas fisicoquímicas, el ultrasonido destaca por su rapidez y eficiencia en la eliminación de materia orgánica. Sin embargo, su alta demanda energética y costos operativos lo hacen poco viable para entornos con recursos limitados como el matadero de Tocache (Fetyan y Attia, 2020). La flotación por aire disuelto y la electrocoagulación también presentan altas eficiencias de remoción de DQO y sólidos, pero comparten desventajas similares en términos de costos y mantenimiento (Musa y Idrus, 2021; Ngobeni et al., 2022). Por otro lado, el proceso fenton ofrece excelentes resultados en la eliminación de materia orgánica, aunque sus altos costos operativos y la complejidad técnica para controlar el pH y dosificar los reactivos, limitan su aplicabilidad (Ribeiro y Nunes, 2021).

En cuanto a los tratamientos microbiológicos, los filtros anaeróbicos y los humedales artificiales emergen como opciones altamente prometedoras. Los filtros anaeróbicos son eficaces en la eliminación de materia orgánica y pueden generar biogás como sub producto, lo que contribuye a la recuperación de energía. No obstante, su eficiencia puede verse afectada por la obstrucción de los medios filtrantes y la necesidad de temperaturas controladas para maximizar la actividad microbiana (Musa y Idrus, 2021). Por su parte, los humedales artificiales combinan la acción con bajos costos operativos y una mínima demanda energética, aunque requieren tiempo para alcanzar una alta eficiencia y pueden generar olores si no se gestionan adecuadamente (Kothari et al., 2024). Además, la digestión anaeróbica es otra alternativa que reduce significativamente la carga orgánica y produce biogás y digestato. Sin embargo, su elevado costo inicial de instalación podría ser un obstáculo para Tocache, aunque es una inversión que se amortiza con el tiempo gracias a la producción de energía y fertilizantes orgánicos (Vaishnav et al., 2023).

Considerando las limitaciones de presupuesto y la necesidad de soluciones ambientalmente sostenibles, la combinación de un filtro anaeróbico seguido de un humedal artificial se presenta como la mejor opción para el matadero de la ciudad de Tocache. Este sistema permite una alta eficiencia de remoción de materia orgánica, con reducciones significativas de DBO₅ y DQO. El filtro anaeróbico actúa como tratamiento primario, disminuyendo la carga orgánica y produciendo biogás, mientras en el humedal artificial complementa el tratamiento del efluente de manera natural y económica. Además, este sistema es adaptable a condiciones climáticas y geográficas similares a las de Tocache, garantizando su sostenibilidad a largo plazo.

V. CONCLUSIÓN

1. Se determinó que, durante épocas de precipitaciones, la quebrada Pucayacu superó los valores de pH, temperatura, DBO₅ y DQO establecidos en los estándares de calidad del agua para riego de vegetales y bebida de animales.
2. Se determinó que el efluente del matadero de la ciudad de Tocache superó los límites máximos de DBO₅ y DQO establecidos para efluentes de PTAR domésticas o municipales.
3. Se determinó que el efluente del matadero influye significativamente en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu, disminuyendo su calidad de “excelente” antes del efluente a “buena” en un tramo de 150 a 200 m después del efluente.
4. Se identificó como alternativas viables para reducir DBO₅ y DQO la valorización de los residuos orgánicos mediante digestión anaeróbica y el tratamiento de las aguas residuales con un sistema combinado de filtro anaeróbico y humedal artificial, garantizando la remoción eficiente y sostenible de contaminantes.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Considerar en futuras investigaciones otros parámetros establecidos en los ECAS agua de la categoría 3 para su análisis en la quebrada Pucayacu.
2. Considerar en futuras investigaciones otros parámetros establecidos para efluentes de PTAR domésticas o municipales, para su análisis en el efluente del matadero de la ciudad de Tocache.
3. Considerar en futuras investigaciones la evaluación de las influencias combinadas de la extracción de agua para fines acuícolas y la expansión del matadero de la ciudad de Tocache en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu.
4. Considerar en futuras investigaciones la factibilidad de las alternativas de aprovechamiento de los residuos orgánicos y tratamientos de las aguas residuales del matadero, consideradas en esta investigación.

VII. REFERENCIAS

- Abagale, F. K. (2021). Seasonal variation and removal of organic pollutants in wastewater using low-cost treatment technologies in Tamale Metropolis, Ghana. *Journal of Water Resource and Protection*, 13 (04), 271-282. <https://doi.org/10.4236/jwarp.2021.134016>
- Abdella, K. y Mekuanent, F. (2021). Application of hydrodynamic models for designing structural measures for river flood mitigation: the case of Kulfo river in southern Ethiopia. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7 (4), 2779 - 2791. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-01057-5>
- Abdelhay, A., Othman, A. A. y Albsoul, A. (2020). Treatment of slaughterhouse wastewater using high frequency ultrasound: optimization of operating conditions by RMS. *Environmental Technology*, 42 (26), 4170 - 4178. <https://doi.org/10.1080/09593330.2020.1746409>
- Abdouni, A. E., Bouhout, S., Merimi, I., Hammouti, B. y Haboubi, K. (2021). Physicochemical characterization of wastewater from the Al-Hoceima slaughterhouse in Morocco. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 19 (3), 423 - 429. [10.22124/cjes.2021.4929](https://doi.org/10.22124/cjes.2021.4929)
- Afotey, B. y Sarpong, G. T. (2023). Estimation of biogas production potential and greenhouse gas emissions reduction for sustainable energy management using intelligent computing technique. *Measurement Sensors*, 25, 100650. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2022.100650>
- Ahmadianfar, I., Jamei, M. y Chu, X. (2020). A novel hybrid wavelet - locally weighted linear regression (W-LWLR) model for electrical conductivity (EC) prediction in Surface water. *Journal of Contaminant Hydrology*, 232, 103641. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2020.103641>
- Ahmed, Z. (2023). Contribution of Bamboo Cultivation for Disaster Risk Reduction y Livelihood in Coastal Areas of Bangladesh. *Routledge* (pp. 380 – 388). <https://doi.org/10.4324/9781003342090-40>

- Aleksic, N., Nesovis, A., Sustersic, V., Gordic, D. y Milovanovic, D. (2020). Slaughterhouse water consumption and wastewater characteristics in the meat processing industry in Serbia. *Desalination and Water Treatment*, 190, 98 – 112. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25745>
- Alisawi, H. A. O. (2020). Performance of wastewater treatment during variable temperature. *Applied Water Science*, 10 (4). <https://doi.org/10.1007/s13201-020-1171-x>
- American Public Health Association. (2017). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23.^a ed.)
- Amuah, E. E. Y., Amanim – Ennin. P. y Antwi, K. (2022). Irrigation wáter quality in Ghana and associated implications on vegetables and public health. A systematic review. *Journal of Hidrology*, 604, 127211. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127211>
- Anh, N. T., Can, L. D., Nhan, N. T., Schmalz, B. y Luu, T. L. (2023). Influences of key factor on river water quality in urban and rural areas: A review. *Case Studies In Chemical and Environmental Engineering*, 8, 100424. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100424>
- Aldreess, A., Khan, M., Taha, A. T. B. y Ali, M. (2024). Evaluation of water quality indexes with novel machine learning and SHapley Additive ExPlanation (SHAP) approaches. *Journal of Water Process Engineering*, 58, 104789. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.104789>
- Aniobi, C. C., Ezeh, E., Okeke, O., Akagha, C. I. y Alieze, A. B. (2020). Environmental Impact of Abattoir Effluents Discharge on the Quality of Well Water in Abakpa, Enugu State – Nigeria. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 29 (3), 821 – 830.
- Asadollah, S. B. H. S., Sarafati, A., Motta, D. y Yaseen, Z. M. (2021). River wáter quality index prediction and uncertainty analysis: A comparative study of machine learning models. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9 (1), 104599. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104599>
- Atikpo, E. y Okonofua, E. S. (2020). Assessing some physicochemical constituents of abattoir effluents and its impact on the dissolved oxygen of Ikpoba river in Benin City, Nigeria. *FUW Trends in Science y Technology Journal*, 6 (1), 166 – 168.

- Autoridad Nacional del Agua. (2018). Metodología para la determinación del índice de calidad de Agua ICA-PE aplicado a los cuerpos de agua continentales superficiales (1.ª ed.).
- Aziz, A., Basheer, F., Sengar, A., Irfanullah, N., Khan, S. U. y Farooqi, I. H. (2019). Biological wastewater treatment (anaerobic-aerobic) technologies for safe discharge of treated slaughterhouse and meat processing wastewater. *The Science of The Total Environmental*, 686, 681 – 708. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.295>
- Baker, B. R., Mohamed, R., Al-Gheethi, A. y Aziz, H. A. (2020). Advance technologies for poultry slaughterhouse wastewater treatment: A systematic review. *Journal Of Dispersion Science and Technology*, 42 (6), 880 – 899. <https://doi.org/10.1080/01932691.2020.1721007>
- Bhatt, S., Mishra, A. P., Chandra, N., Sahu, H., Chaurasia, S. K., Pande, C. B., Agbasi, J. C., Khan, M. y A., Abba, S. I., Egbueri, J. C., Durin, B. y Hunt, J. (2024). Characterizing seasonal, environmental and human - induced factors influencing the dynamics of Rispana river's water quality: Implications for sustainable river management. *Results In Engineering*, 22, 102007. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102007>
- Bhunia, S., Bhowmik, A., Mallick, R., Debsarcar, A. y Mukherjee, J. (2021). Application of recycled slaughterhouse wastes as an organic fertilizer for successive cultivations of bell peper and amaranth. *Scientia Horticulturae*, 280, 109927. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109927>
- Bhunia, S., Bhowmik, A., Pramanik, A. Mallick, R. y Mukherjee, J. (2023). Successive cultivation of cabbage and spinach by land application of recycled slaughterhouse waste: Benefit to farmers and agro-ecosystem health. *Environmental Technology Innovation*, 29, 102967. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102967>
- Biswal, B. K. y Balasubramanian, R. (2022). Constructed Wetlands for Reclamation and Reuse of Wastewater and Urban Stormwater: A review. *Frontiers In Environmental Science*, 10. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.836289>
- Bizarra, A. C. y Portillo, H. A. L. (2021). Uso de un humedal artificial vertical para el tratamiento de aguas residuales del camal municipal de Huancavelica [Tesis de pre grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/4004>

- Borja, M. E.L., Carrá, B. G., Nunes, J. P., Jannin, L. B., Zema, D. A. y Zimbone, S. M. (2020). Impacts of land use and climate changes on Surface runoff in a tropical forest watershed (Brazil). *Hydrological Sciences Journal*, 65 (11), 1956 – 1973. <https://doi.org/10.1080/02626667.2020.1787417>
- Boyd, C. E. (2019). Carbon dioxide, pH and alkalinity. *Springer* (pp.177 – 203). https://doi.org/10.1007/978-3-030-23335-8_9
- Briciu, A., Mihaila, D., Graur, A., Oprea, D. I., Prisacariu, A. y Bistricean, P. I. (2020). Changes in the water temperature of rivers impacted by the urban heat island: Case study of Suceava city. *Water*, 12 (5), 1343. <https://doi.org/10.3390/w12051343>
- Chapra, S. C., Camacho, L. A. y McBride, G. B. (2021). Impact of global warming on dissolved oxygen and BOD assimilative capacity of the World's rivers: Modeling analysis. *Water*, 13 (17), 2408. <https://doi.org/10.3390/w13172408>
- Chowdhury, M. W., Nabi, M. N., Arefin, M. A., Rashid, F., Islam, M. T., Gudimetla, P. y Muyeen, S. (2022). Recycling slaughterhouse wastes into potential energy and hydrogen sources: An approach for the future sustainable energy. *Bioresource Technology Reports*, 19, 101133. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101133>
- Chukwuma, E., Rashid, A., Okafor, G. y Nwoke, A. (2020). Fuzzy based risk assessment of abattoir operations and treatment facilities: A case study of Onitasha North/South Lga of Anambra State of Nigeria. *Food and Bioproducts Processing*, 119, 88–97. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2019.10.012>
- Coble, A. A., Barnard, H., Du, E., Johnson, S., Jones, J., Keppeler, E., Know, H., Link, T. E., Penaluna, B. E., Reiter, M., River, M., Puettmann, K. y Wagenbrenner, J. (2020). Long – term hydrological response to forest harvest during seasonal low flow: Potential implication for current forest practices. *Science of The Total Environment*, 730, 138926. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138926>
- Coenen, M., Gille, L., Eppe, J., Caslta, H., Bayrou, C., Dubreucq, P., Frosée, V., Moula, N., Evrad, J., Martinelle, L., Sartelet, A., Bossaert, P. y Djebala, S. (2022). Blood inflammatory, hydro-electrolytes and acid-base changes in Belgian blue cows developing parietal fibrinous peritonitis or generalized peritonitis after caesarean section. *Veterinary sciences*, 9 (3), 134. <https://doi.org/10.3390/vetsci9030134>

- Condon, L. E. y Maxwell, R. M. (2019). Simulating the sensitivity of evapotranspiration and streamflow to large – scale groundwater depletion. *Science Advances*, 5 (6). <https://doi.org/10.1126/sciadv.aav4574>
- Conti, F., Rada, E. C., Viotti, P. y Raboni, M. (2021). Removal and survival of fecal indicators and a constructed wetland after UASB pre-treatment. *Sustainability*, 13 (16), 9302.
- Contreras, E., Jurado, E. M., Pimentel, R., Serrano, L., Hidalgo, C., Jiménez, A. y Polo, M. (2024). Assessment of seasonal and annual patterns in phosphorus content in a monitored catchment through a partitioning approach based on hydrometeorological data. *Environmental Research*, 242, 117501.
- Crossman, J., Bussi, G., Whitehead, P. G., Butterfield, D., Lannergard, E. y Futter, M. N. (2021). A new, catchment scale integrated water quality model of phosphorus, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand and phytoplankton: INCA – phosphorus ecology (Peco). *Water*, 13 (5), 723.
- Daniels, M. E. y Danner, E. M. (2020). The drivers of river temperatures below a large dam. *Water Resources Research*, 56 (5). <https://doi.org/10.1029/2019wr026751>
- Decreto Supremo N° 003 – 2010 – MINAM. (2010). Límites Máximos Permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o municipales. Normas Legales, N° 415675. Plataforma del Estado Peruano.
- Decreto Supremo N° 004 – 2017 – MINAM. (2017). Estándar de Calidad Ambiental para agua y disposiciones complementarias. Normas Legales. Plataforma del Estado Peruano.
- Decreto Supremo N° 015 – 2012 – AG. (2012). Reglamento Sanitario del faenado de animales de abasto. Normas Legales, N° 478346. Plataforma del Estado Peruano.
- Dehghani, M. H., Zarei, A. y Yousefi, M. (2019). Efficiency of ultrasound for degradation of an anionic surfactant from water: Surfactant determination using methylene blue active substances method. *MethodsX*, 6, 805 – 814.
- Dey, S., Botta, S., Kallam, R., Angadala, R. y Andugala, J. (2021). Seasonal variation in water quality parameters of Gudlavalleru Engineering College pond. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4, 100058.

- Diarra, B. A., Bah, A., Diarra, O., Camara, F. K., Daou, C., Kassougue, A. y Babana, A. H. (2023). Effects of slaughterhouse effluents in sabalibougou a district of Bamako on the Niver river. *American Scientific Research Journal for Enginnerong Technology and Sciences*, 11 (3), 2403 – 2419.
- Dunea, D., Bretcan, P., Purcoi, L., Tanislav, D., Serbam, G., Neagoe, A., Iordache, V. y Iordache, S. (2021). Effects of riparian vegetation on evapotranspiration processes and water quality of small plaint streams. *Ecohydrology y Hydrobiology*, 21 (4), 629 – 640.
- Ejaz, U., Khan, S. M., Jehangir, S., Khalid, N., Abdullah, A., Iqbal, M., Ahmed, Z., Nazir, A. y Svenning, J. (2024). Integrated analytics and machine learning for water quality index assessment – Monitoring of industrial waste polluted stream. *Journal of Cleaner Production*, 450, 141877. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.141877>
- Emara, M., Farid, N. y Eltalawy, A. (2019). Removal efficiency of COD, BOD, oil and grease and TSS from industrial wastewater by using electro – coagulation. *Al-Azhar Bulletin Of Science*, 30 (1), 1-8. <https://doi.org/10.21608/absb.2019.67884>
- Evangelista, P. A., De Souza, M. A. M., De Paula Ferreira, I. E. y De Jesus Pimentel, F. N. (2021). Microbiological water quality monitoring of four ponds from Lagoa do Sino Farm located in Sao Paulo State, Brazil. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, 43, e52901. <https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v43i1.52901>
- Eze, E. J. y Phil-Eze, P. O. (2020). Abattoir effluents and population health risks. *Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 14 (4), 49 – 52.
- Feng, D., Gleason, C. J., Lin, P., Yang, X., Pan, M. y Ishitsuka, Y. (2021). Recent changes to arctic river discharge. *Nature Communications*, 12 (1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27228-1>
- Fetyan, N. A. H. y Attia, T. M. S. (2020). Water purification using ultrasound waves: application and challenges. *Arab Journal of Basic and Applied Sciences*, 27 (1), 194 – 207. <https://doi.org/10.1080/25765299.2020.1762294>
- Findlay, S. E. (2021). Organic matter decomposition. *Elsevier*, 81 -102). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812762-9.00004-6>

- Fomina, M. y Skorochod, I. (2020). Microbial Interaction with Clay Minerals and Its Environmental and Biotechnological Implications. *Minerals*, 10 (10). 861.
- Fuller, M. R., Leinenbach, P., Detenbeck, N. E., Labiosa, R. y Isaak, D. J. (2022). Riparian vegetation shade restoration and loss effects on recent and future stream temperatures. *Restoration Ecology*, 30 (7). <https://doi.org/10.1111/rec.13626>
- García, J. M. y San Juan, J. M. (2006). Zonificación ecológica económica de Tocache: Hidrografía.
- Giao, N. T., Anh, P. K. y Nhien, H. T. H. (2021). Spatiotemporal analysis of Surface water quality in Dong Thap province, Vietnam using water quality index and statistical approaches. *Water*, 13 (3), 336.
- Gleason, C. y Durand, M. (2020). Remote sensing of river discharge: A review and a framing for the discipline. *Remote Sensing*, 12 (7), 1107. <https://doi.org/10.3390/rs12071107>
- Gonzalez, N. J. A. (2023): *Propuesta de gestión de residuos orgánicos para su reutilización en la empresa pecuaria Producciones Talan S. R. L. Arequipa – Perú* [Tesis de pre grado, Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12686>
- Grzywna, A. y Bronowicka, U. M. (2020). Spatial and temporal variability of water quality in the Bystrzyca river Basin, Poland. *Water*, 12 (1), 190.
- Guevara, A. L. P., Verdesoto, A. A. E. y Castro, M. N. E. (2020). Metodologías de investigación (descriptivas, experimentales, participativas y de investigación – acción). *Recimundo*, 4 (3), 163 – 173-
- Guillermo, E. P., Yamell, J. P. y Rasúa, M. (2022). Humedales construidos bioactivados con microorganismos eficientes: Una vía para la gestión de residuales en el matadero Chichí Padrón. *Centro Azúcar*, 49 (3), 57 – 68.
- Gupta, A. K. Fadzilliah, N. A., Sukri, S. J. M., Adediran, O. A., Rather, M. A., Naik, B., Kumar, V., Bekhit, A. E. A., Ramli, M. A. Jha, A. K., Neog, P. R., Bhuyan, S. y Rustagi, S. (2024). Slaughterhouse blood: A state of the art review on transforming by products into valuable nutritional resources and the role of circular economy. *Food Bioscience*, 104644.

- Gutiérrez, M. M. (2020). Diseño de sensores de conductividad eléctrica para medida de calidad del agua en soluciones de suelo [Tesis de pre grado, Universidad Politécnica de Cartagena]. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/9038>
- Hamid, A., Bhat, S. U. y Jehangir, A. (2019). Local determinants influencing stream water quality. *Applied Water Science*, 10 (1). <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1043-4>
- Hang, Y. D. (2024). Determination of oxygen demand. *Food Science text series*, 465 – 469. https://doi.org/10.1007/978-3-031-50643-7_28
- Hardiansyah, F. y Mulyadi, N. (2022). Improve science learning outcomes for elementary school students through the development of flipbook media. *Journal Penelitian Pendidikan IPA*, 8 (6), 3069 – 3077.
- Hasam, M. K., Shahriar, A. y Jim, K. U. (2019). Water pollution uin Bangladesh and its impact on public health. *Heliyon*, 5 (8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02145>
- Hassimi, M., Harouna, A., Balarabe, B., Adamou, M. y Mohamed, H. (2022). Tillaberi slaughterhouse discharges and their impact on the Niger river. A physicochemical and microbiological analysis. *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*.
- Hidalgo, P. D. A. y Veintimilla, T. C. I. (2021). *Caracterización de la calidad del agua del río Isinche para el análisis de la descarga en la planta de tratamiento del campus CEASA* [Tesis de pre grado, Universidad Técnica de Cotopaxi].
- Huarachi, N. Y. D. (2020). Propuesta de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales del matadero municipal de Tacna [Tesis de pre grado, Universidad Privada de Tacna]. <http://hdl.handle.net/20.500.12969/1527>
- Idisi, J. y Uguru, H. (2020). Impact of abattoir effluent on microbiological and physicochemical properties of water bodies: A case study of Yenagoa Metropolis, Nigeria. *Acta Scientific Nutritional Health*, 4 (3), 1 – 7.
- Izydorczyk, G., Mikula, K., Skrzypczak, D., Witek, K. A., Mironiuk, M., Furman, K., Gramza, M., Moustakas, K. y Chojnacka, K. (2022). Valorization of poultry slaughterhouse waste for fertilizer purposes as an alternative for thermal utilization methods. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127328.

- Jackson, F. L., Hannah, D. M., Ouellet, V. y Malcolm, I. A. (2021). A deterministic river temperature model to prioritize management of riparian woodlands to reduce summer maximum river temperatures. *Hydrological Processes*, 35 (8).
- Javier, H. J.C. y Toscano, J. R. E. (2023). Reducción de la materia orgánica de las aguas residuales del camal municipal de Supe mediante plantas fitorremediadoras a escala piloto [Tesis de pre grado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. <https://hdl.handle.net/20.500.14067/7519>
- Jaybhaye, R., Nandusekar, P., Awale, M., Paul, D., Kulkarni, U., Jadhav, J., Mukkannawar, U. y Kamble, P. (2022). Analysis of seasonal variation in Surface water quality and water quality index (WQI) of Amba river from Dolvi region, Maharashtra, India. *Arabian Journal of Geosciences*, 15 (14).
- Joao, J. J., Da Silva, C. S., Vieira, J. L. y Da Silveira, M. F. (2020). Treatment of swine wastewater using the Fenton process with ultrasound and recycled iron. *Ambiente and Água*, 15 (3), 1.
- Kbibch, A., Khokh, K. E., Kharrim, K. E. y Belghyti, D. (2024). Physico chemical analysis of slaughterhouse wastewater to develop appropriate treatment: The case of Souk el Arbaa. Morocco. *OAlib*, 11 (5), 1 – 12.
- Kefalew, T. y Lami, M. (2021). Biogas and bio – fertilizer production potential of abattoir waste: implication in sustainable waste management in Shashemene city, Ethiopia. *Heliyon*, 7 (11), e08293.
- Kenechukwu, O. C., Ifeanyi, O. E., Sunday, O. E. C. y Chidimma, O. L. (2023). Impact of abattoir waste effluent on water bodies: A case study of Ugwuoba abattoir activities on Ezu river, Enugu state, Nigeria. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 5 (2), 19 – 25.
- Kharat, D. S. (2019). Pollution control in Meat Industry. *Current Environmental Engineering*, 6 (2), 97 – 110. <https://doi.org/10.2174/2212717806666190204102731>
- Kothari, R., Azam, R., Bharti, A., Gorla, K., Allen, T., Ashokkumar, V., Pathania, D., Singh, R. P. y Tyagi. V. (2024). Biobased treatment and resource recovery from slaughterhouse

wastewater via reutilization and recycling for sustainable waste approach. *Journal of Water Process Engineering*, 58, 104712.

- Lema, D. A. Y. (2024). Aplicación del modelo matemático de roediger para la predicción del rendimiento en la digestión anaeróbica de las aguas residuales del café. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria Pentaciencias*, 6 (3), 1 – 24.
- Leroy, F., Smith, N. W., Adesogan, A. T., Beal, T., Iannotti, L., Moughan, P. J. y Mann, N. (2023). The role of meat in the human diet: evolutionary aspects and nutritional value. *Animal Frontiers*, 13 (2), 11 – 18.
- Lesiv, M. S., Polishchuk, A. I. y Antonyak, H. L. (2020). Aquatic macrophytes: ecological features and functions. *Studia Biologica*, 14 (2), 79 – 94.
- Ley General del Ambiente N° 28611. (2005). Normas Legales. Plataforma del Estado Peruano.
- Liao, R., Jin, Z., Chen, M. y Li, S. (2020). An integrated approach for enhancing the overall performance of constructed wetlands in urban areas. *Water Research*, 187, 116443.
- Limeneh, D. Y., Tesfaye, T., Ayele, M., Husien, N. M., Ferede, E., Haile, A., Mengie, W., Abuhay, A., Gelebo, G. G., Gibril, M. y Kong, F. (2022). A comprehensive review on utilization of slaughterhouse by product: Current status and prospect. *Sustainability*, 14 (11), 6469.
- Ma, J., Wu, S., Shekhar, N. V. R., Biswas, S. y Sahu, A. K. (2020). Determination of physicochemical parameters and levels of heavy metals in food waste water with environmental effects. *Bioinorganic Chemistry and Applications*, 1 – 9.
- MacIntyre, S. y Hamilton, D. P. (2024). Fate of Heat. *Elsevier*, 95 – 153. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-822701-5.00007-0>
- Mahmood, A., Han, J., Ijaz, M. W., Siyal, A. A., Ahmad, M. y Yousaf, M. (2022). Impact of sediment deposition on flood carrying capacity of an alluvial channel: A case study of the lower Indus Basin. *Water*, 14 (20), 3321.
- Mainali, J. y Chang, H. (2021). Environmental and spatial factors affecting surface water quality in a Himalayan watershed, Central Nepal. *Environmental and Sustainability Indicators*, 9, 100096. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100096>

- Makarieva, O., Nesterova, N., Post, D. A., Sherstyukov, A. y Lebedeva, L. (2019). Warming temperatures are impacting the hydrometeorological regime of Russian rivers in the zone of continuous permafrost. *The Cryosphere*, 13 (6), 1635 – 1659.
- Maleki, P., Rahman, P., Jafaryan, H., Salmanmahiny, A., Ghorbani, R., Gholizadeh, M. y Harsij, M. (2024). Spatial and temporal distribution of physicochemical parameters of water in Gorgan Bay (the southeast of the Caspian Sea – Iran): Fundamentals for the monitoring of the Caspian Sea coastal areas. *Marine Pollution Bulletin*, 201, 116236.
- Mancilla, V. O. R., Gómez, V. L., Olguín, L. J. L., Guevara, G. R. D., Hernández, V. O., Ortega, E. H. M., Flores, M. H., Can, Ch, Á., Sánchez, B. E. I., Cruz, C. E. y Palomera, G. C. (2022). Contaminación orgánica por coliformes, nitrógeno y fosforo en los ecosistemas acuáticos de la cuenca del río Ayuquila – Armería, Jalisco, México. *Biotechnia*, 24 (1), 5 – 14.
- Martínez, R. R., Aguayo, M., Stehr, A., Sauvage, S., Echeverría, C. y Sánchez, P. J. (2020). Effect of land use/cover change on the hydrological response of a Southern Center Basin of Chile. *Water*, 12 (1), 302.
- Mendoza, S. (2023). Impacto de los efluentes residuales del camal en la calidad de agua del río Ilave – Puno, 2021 [Tesis de pre grado, Universidad Privada San Carlos]. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/606>.
- Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). Manual N° 5: Manual de agua. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4291>
- Mofijur, M., Fattah, I. R., Kumar, P. s., Siddiki, S. A., Rahman, S. M. A., Ahmed, S., Ong, H. C., Lam, S. S., Badruddin, I. A., Khan, T. Y. y Mahlia, T. (2021). Bioenergy recovery potential through the treatment of the meat processing industry waste in Australia. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9 (4), 105657.
- Mondal, D. (2020). Seasonal variations in abundance and distribution of pollution indicator bacteria of an Eastern Himalayan Lake of India. *Advances in Zoology and Botany*, 8 (5), 383 – 391.

- Moraga, G., Huysveld, S., Mahieux, F., Blengini, G. A., Alaerts, L., Van Acker, K., De Meester, S. y Dewulf, J. (2019). Circular economy indicators: ¿What do they measure? *Resource Conservation and Recycling*, 146, 452 – 461.
- Mousazadeh, M., Niaragh, E. K., Usman, M., Kham, S. U., Sandoval, M. A., Al-Qodah, Z., Khalid, Z. B., Gilhotra, V. y Emamjomeh, M. M. (2021). A critical review of state of the art electrocoagulation technique applied to COD-rich industrial wastewaters. *Environmental Science and Pollution Research*, 28 (32), 43143 – 43172.
- Mozhiarasi, V. y Natarajan, T. S. (2022). Slaughterhouse and poultry wastes management practices feedstocks for renewable energy production, and recovery of value added products. *Biomass Conversion and Biorefinery*.
- Musa, M. A. y Idrus, S. (2021). Physical and biological treatment technologies of slaughterhouse wastewater: A review. *Sustainability*, 13 (9), 4656.
- Ndukwe, M. K., Igara, C. E., Nkama, O. J., Ibe, C. O., Okoro, O. E., Nnnachi, E. O. y Atiaetuk, I. E. (2023). Effect of abattoir waste on Surface water quality parameters of Iwofe river, Port – Harcourt, River State, Nigeria. *Journal of Geography, Environmental and Earth Science International*, 27 (9), 93 – 101.
- Ngobeni, P. V., Basitere, M. y Thole, A. (2021). Treatment of poultry slaughterhouse wastewater using electrocoagulation: a review. *Water Practice and Technology*, 17 (1), 38 – 59. <https://doi.org/10.2166/wpt.2021.108>
- Njoya, M., Basiterem M. y Ntwampe, S. K. O. (2019). Analysis of the characteristics of poultry slaughterhouse wastewater (PSW) and its treatability. *Water Practice and Technology*, 14 (4), 959 – 970. <https://doi.org/10.2166/wpt.2019.077>
- Noori, R., Berndtsson, R., Hosseinzadeh, M., Adamowski, J. F. y Abyaneh, M. R. (2019). A critical review on the application of the National Sanitation Foundation Water Quality Index. *Environmental Pollution*, 244, 575 – 587.
- Observatorio Nacional de Recursos Hídricos. (2023). Calidad del agua, fuentes contaminantes. <https://snirh.ana.gob.pe/onrh/>
- Ocheje, J. M., Basira, I., Abdulkadir, S., Suzy, Z. y kato, A. I. (2021). Physical attributes in three abattoirs wastewater in Kaduna Metropolis. *International Journal of Biochemistry, Biophysics Molecular Biology*, 6 (2), 56.

- Orr, S. E. y Buchwalter, D. B. (2020). It's all about the fluxes: Temperature influences ion transport and toxicity in aquatic insects. *Aquatic Toxicology*, 221, 105405.
- Ozdemir, S. y Yetrilmezsoy, K. (2019). A mini literature review on sustainable management of poultry abattoir wastes. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22 (1), 11 – 21.
- Pazmiño, M. L. y Ramírez, A. D. (2021). Life cycle assessment as a methodological framework for the evaluation of the environmental sustainability of pig and pork production in Ecuador. *Sustainability*, 13 (21), 11693.
- Peña, G. M. D., Nauditt, A., Muñoz, R. C., Ribbe, L. y Meza, F. (2020). Drought impact on water quality and potential implications for agricultural production in the Maipo River Basin, Central Chile. *Hydrological Sciences Journal*, 65 (6), 1005 – 1021.
- Piatka, D. R., Wild, R., Hartmann, J., Kaule, R., Kaule, L., Gilfedder, B., Peiffer, S., Geist, J., Beierkuhnlein, C. y Barth, J. A. (2021). Transfer and transformations of oxygen in rivers as catchment reflectors of continental landscapes: A review. *Earth – science reviews*, 220, 103729.
- Pimparkar, A., Patil, S., Patil, B. y Kadam, A. (2023). Comparative assessment of wetland water quality from rural and urban area of Aurangabad District, Maharashtra, India using water quality index. *Hydro Research*, 6, 269 – 278.
- Prabagar, S., Thuraisingam, S. y Prabagar, J. (2023). Sediment analysis and assessment of water quality in spacial variation using water quality index (NSFWQI) in Moragoda canal in Galle, Sri Lanka. *Waste Management Bulletin*, 1 (2), 15 – 20.
- Prakash, S. (2021). Impact of climate change on aquatic ecosystem and its biodiversity: an overview. *International Journal of Biological Innovations*, 3 (2).
- Putman, A. L., McIlwain, H. E., Rumsey, C. A. y Marston, T. M. (2024). Low flows from drought water use reduced total dissolved solids fluxes un the Lower Colorado River Basin between 1979 to 2008. *Journal of Hydrology. Regional Studies*, 52, 101673.

- Ragasri, S. y Sabumon, P. (2023). A critical review on slaughterhouse waste management and framing sustainable practices in managing slaughterhouse waste in India. *Journal of Environmental Management*, 327, 116823.
- Ramdani, F., Prasetya, A. y Purnomo, C. W. (2019). Removal of pollutants from chicken slaughterhouse wastewater using constructed wetland system. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 399, 012085.
- Rangasamy, E. y Muniyandi, M. (2024). Current status of stream water quality around selected Tea Gardens from Southern Western Ghats, Tamil Nadu, India – A case study. *Hydro Research*. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2024.01.002>
- Rashid, M. I. y Shahzad, K. (2021). Food waste recycling for compost production and its economic and environmental assessment as circular economy indicators of solid waste management. *Journal of Cleaner Production*, 317, 128467.
- Resolución Administrativa N° 0087-2023-ANA-AAA.H-ALA.HC. (02 de junio del 2023). Diario Oficial El Peruano.
- Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA. (11 de enero del 2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos superficiales. Normas y documentos legales. Plataforma del Estado Peruano.
- Resolución Jefatural N° 056-2018-ANA. (13 de febrero del 2018). Clasificación de cuerpo de agua continentales superficiales. Normales y documentos legales. Plataforma del Estado Peruano.
- Reyes, S. C. R. (2024). *Propuesta de Límites Máximos Permisibles de efluentes de mataderos en base data del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6467>
- Ribeiro, J. P. y Nunes, M. I. (2021). Recent trends and developments in Fenton processes for industrial wastewater treatment – A critical review. *Environmental Research*, 197, 110957.
- Richarnov, N. L. I. (2022). *Influencia de los residuos orgánicos y aguas residuales provenientes del matadero municipal de Huánuco en la contaminación del río Huallaga tramo*

Puente Esteban Pavletich – Puente Joaquín Garay – Amarilis – Huánuco [Tesis de maestría, Universidad Nacional Hermilio Valdizán].
<https://hdl.handle.net/20.500.13080/9155>

- Romisoncco, K. H. (2022). Comparativo del uso de la harina de pescado y subproductos de matadero en raciones de engorde de cuyes (*Cavia porcellus*), de la línea Perú, Ayacucho – 2750 m.s.m. 2019 [Tesis de pre grado, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. <https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/4999>
- Roy, B. N., Roy, H., Ranhman, K. S., Mahumud, F., Bhuiyan, M. K., Hasan, M., Bhuiyan, A. K., Hasan, M., Mahbub, M. S., Jahedi, R. M. y Islam, S. (2024). Principal component analysis incorporates water quality index modeling for Dhaka base drivers. *City and Environmental Interactions*, 100150.
- Sajib, A. M., Diganta, M. T. M., Moniruzzaman, M., Rahman, A., Dabrowki, T., Uddin, M. G. y Olbert, A. I. (2024). Assessing water quality of a ecologically critical urban canal incorporating machine learning approaches. *Ecological Informatics*, 102514.
- Sánchez, S. y Quispe, G. (2019). Impacto en la calidad del agua del colector “Santa Lucía” ocasionado por los efluentes del camal municipal de Chachapoyas – 2018. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2 (1), 66 – 72.
- Sandoval, M. A., Espinoza, L. C., Coreño, O., García, V., Fuentes, R., Thiam, A. y Slazar, R. (2022). A comparative study of anodic oxidation and electrocoagulation for treating cattle slaughterhouse wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10 (5), 108306.
- Santacruz, B. D. L. (2019). Evaluación de la calidad del agua por vertimientos de aguas residuales en la zona media y baja de la quebrada Miraflores de Pasco – Nariño [Tesis de maestría, Universidad de Manizales].
- Seo, M., Cho, C., Im, T., Kim, S., Yoon, H., Kim, Y. y Kim, G. (2019). Statistical analysis of the spatio – temporal water quality characteristics of the Nakdong River. *Journal of Environmental Science International*, 28 (3), 303 - 320.
- Seo, M., Lee, H. y Kim, Y. (2019). Relationship between Coliform bacteria and water quality factors at weir stations in the Nakdong River, South Korea. *Water*, 11 (6), 1171.

- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]. (2024). Datos Meteorológicos a nivel nacional, Estación: Tananta. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria. (2018). *Procedimientos: Recolección, transporte y conservación de sangre bovina obtenida de mataderos autorizados*. https://www.senasa.gob.pe/senasa/wp-content/uploads/2018/12/PRO-SIAG-20-PRC_Recolecci%C3%83%C2%B3n_Sangre_Bovino_rev-00.pdf
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria. (2021). *Guías de higiene en mataderos de animales de abasto*. Informes y Publicaciones. Plataforma del Estado Peruano.
- Servicio Nacional de Sanidad Agraria. (2023). *Perú cuenta con 96 mataderos autorizados por el SENASA*. Noticias. Plataforma del Estado Peruano.
- Shaji, H., Chandran, V. y Mathew, L. (2021), Organic fertilizers as a route to controlled release of nutrients. *Elsevier*, 231 – 245.
- Sinsuw, A. A. E., Wuisang, C. E. y Chu, C. (2021). Assessment of environmental and social impacts on rural community by two – stage biogas production pilot plant from slaughterhouse wastewater. *Journal of Water Process Engineering*, 40, 101796.
- Song, X., Zhao, Y., Zhang, L., Xie, X., Wu, J., Wei, Z., Yang, H., Zhang, S., Song, C. y Jia, L. (2022). Photodegradation, bacterial metabolism and photosynthesis drive the dissolved organic matter cycle in the Heilongjiang River. *Chemosphere*, 295, 133923.
- Soto, A. I. C., Panimboza, A. P. O., Ilivay, C. G. G., Valverde, C. R. L. y Diéguez, K. S. (2020). Impacto ambiental de la operación del Centro de faenamiento de la ciudad de Puyo, Pastaza, Ecuador. *Prospectiva*, 18 (1).
- Suwerda, B., Khasjono, H., Haryanti, S. y Yushananta, P. (2022). Poultry slaughterhouse wastewater treatment using combine anaerobic filter with constructed wetland methods. *Journal of Medical Sciences*, 10, 611 – 617.
- Tapia, S. E. S. y Sandoval, G. A. Q. (2019). Impacto en la calidad del agua del colector “Santa Lucía” ocasionado por los efluentes del camal municipal de Chachapoyas – 2018. *Revista Científica UNTRM Ciencias Naturales e Ingeniería*, 2 (1), 66.

- Thaysen, E. M., McMahon, S., Strobel, G. J., Butler, I. B., Ngwenya, B. T., Heinemann, N., Wilkinson, M., Hassanpouryouzband, A., McDermott, C. I. y Edlmann, K. (2021). Estimating microbial growth and hydrogen consumption in hydrogen storage in porous media. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111481.
- Tsegaye, D. y Leta, S. (2023). Evaluation of biogas production and pollutant removal efficiency of two – phase anaerobic digestion treating slaughterhouse effluent. *Biofuels*, 14 (9), 873 – 881.
- Vaishnav, S., Saini, T., Chauhan, A., Gaur, G. K., Tiwari, R., Dutt, T. y Tarafdar, A. (2023). Livestock and poultry farm wastewater treatment and its valorization for generating value added products: Recent updates and way forward. *Bioresource Technology*, 382, 129170.
- Vásquez, G. A., De Oliveira, A. P. S. C., Mejia – Ballesteros, J. E., De Godoy, S. H. S., Barbieri, E., De Sousa, R. L. M. y Fernandes, A. M. (2019). *Escherichia coli* detection and identification in shellfish from southeastern Brazil. *Aquaculture*, 504, 158 – 163.
- Vidyarathi, S., Vaddella, V., Cao, N., Kuppu, S. y Pandey, P. (2021). Pathogens in animal carcasses and the efficacy of rendering for pathogen inactivation in rendered products: A review. *Future Foods*, 3, 100010.
- Wang, J., Wang, W., Xiong, J., Li, L., Zhao, B., Sohail, I. y He, Z. (2021). A constructed wetland system with aquatic macrophytes for cleaning contaminated runoff/storm water from urban area in Florida. *Journal of Environmental Management*, 280, 111794.
- Wang, L., Addy, M., Liu, J., Nekich, C., Zhang, R., Peng, P., Cheng, Y., Cobb, K., Liu, Y., Wang, H., y Ruan, R. (2019). Integrated process for anaerobically digested swine manure treatment. *Bioresource Technology*, 273, 506 – 514.
- Wang, P., Huang, Q., Pozdniakov, S. P., Liu, S., Ma, N., Wang, T., Zhang, Y., Yu, J., Xie, J., Fu, G., Frolova, N. L. y Liu, C. (2021). Potential role of permafrost thaw on increasing Siberian river discharge. *Environmental Research Letters*, 16 (3), 034046.
- Wang, Q., Liu, Y., Wang, Y., Zhang, Y., Li, L. y Wang, L. (2023). Separating climate change and human activities effects on flow regime with hydrological model correction. *Ecological Indicators*, 157, 111265.

- Wang, S., Sahoo, K., Jena, U., Dong, H., Bergman, R. y Runge, T. (2021). Life cycle assessment of treating slaughterhouse waste using anaerobic digestion systems. *Journal of Cleaner Production*, 292, 126038.
- Wei, Q., Xue, L., Liao, S. y Liu, Y. (2024). Ecohydrological indicators and environmental flow assessment in the middle and lower reaches of the Huai River, China. *Science Of The Total Environment*, 940, 173639.
- Weiskerger, C. J., Brandao, J., Ahmed, W., Aslan, A., Avolio, L., Badgley, B. D., Boehm, A. B., Edge, T. A., Fleisher, J. M., Heaney, C. D., Jordao, L., Kinzelman, J. L., Klaus, J. S., Kleinheinz, G. T., Merilainen, P., Nshimiyimana, J. P., Phanikumar, M. S., Piggot, A. M., Pitkanen, T., Harwood, V. J. (2019). Impacts of a changing earth on microbial dynamics and human health risks in the continuum between beach water and sand. *Water Research*, 162, 456 – 470.
- Widyarani, N., Wulan, D. R., Hamidah, U., Komarulzaman, A., Rosmalina, R. T. y Sintawardani, N. (2022). Domestic wastewater in Indonesia generation, characteristics and treatment. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29 (22), 32397 – 32414.
- Wojnárovits, L., Homlok, R., Kovács, K., Tegze, A. y Takács, E. (2024). Wastewater Characterization: Chemical oxygen demand or total organic carbon content measurement?. *Molecules*, 29 (2), 405.
- Wu, H., Wang, R., Yan, P., Wu, S., Chen, Z., Zhao, Y., Cheng, C., Hu., Z., Zhuang, L., Guo, Z., Xie, H. y Zhang, J. (2023). Constructed wetlands for pollution control. *Nature Reviews Earth and Environment*, 4 (4), 218 – 234.
- Wu, T., Zhai, C., Zhang, J., Zhu, D., Zhao, K. y Chen, Y. (2019). Study on the Attachment of *Escherichia coli* to sediment particles at a single cell level: The effect of particle size. *Water*, 11 (4), 819.
- Yehia, H. M. A. y Said, S. M. (2021). Drinking water treatment: pH adjustment using natural physical field. *Journal of Biosciences and Medicines*, 9 (6), 55- 66.

- Zagklis, D., Konstantinidou, E., Zafari, C. y Kornaros, M. (2020). Assessing the economic viability of an animal byproduct rendering plant: Case study of a slaughterhouse in Greece. *Sustainability*, 12 (14), 5870.
- Zeng, H., Rasschaert, G., De Zutter, L., Mattheus, W. y De Reu, K. (2021). Identification of the source for Salmonella contamination of carcasses in a large pig slaughterhouse. *Pathogens*, 10 (1), 77.
- Zerveas, S., Mente, M. S., Tsakiri, D. y Kotzabasis, K. (2021). Microalgal photosynthesis induces alkalization of aquatic environment as a result of H⁺ uptake independently from CO₂ concentration – new perspectives for environmental applications. *Journal of Environmental Management*, 289, 112546.
- Ziembowicz, S. y Kida, M. (2022). Limitations and future directions of application of the Fenton like process in micropollutants degradation in water and wastewater treatment: A critical review. *Chemosphere*, 296, 134041.
- Zohairi, S., Knudsen, M. T. y Mogensen, L. (2023). Utilizing animal by products in European slaughterhouse to reduce the environmental footprint of pork products. *Sustainable Production and Consumption*, 37, 306 – 319.
- Zuñiga, M. M. (2023). Reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) aplicando el proceso fenton en las aguas residuales del camal municipal de Calca – Cusco [Tesis de pre grado, Universidad Andina de Cusco]. <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/6618?show=full>

ANEXOS

ANEXO A. Caudal de la quebrada Pucayacu.**Tabla 23.** Datos de campo para calcular el caudal

Mes de monitoreo	Toma de muestra	Distancia del tramo (m)	Recorrido del flotador (s)			Ancho del río (m)	Profundidad del río (m)								
			1	2	3		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Febrero	Antes del faenado	30	132	128	129	9,45	0,40	0,63	0,64	0,78	0,68	0,50	0,50	0,42	0,31
	Inicio del faenado	30	130	126	132	9,45	0,41	0,63	0,64	0,79	0,66	0,49	0,50	0,38	0,30
	Final del faenado	30	128	125	123	9,45	0,42	0,65	0,67	0,76	0,70	0,53	0,48	0,38	0,31
	Después de finalizar el faenado	30	125	130	122	9,45	0,41	0,63	0,65	0,78	0,70	0,53	0,46	0,38	0,31
Marzo	Antes del faenado	30	129	136	128	9,5	0,41	0,67	0,67	0,82	0,69	0,54	0,47	0,40	0,29
	Inicio del faenado	30	127	124	128	9,5	0,40	0,67	0,65	0,80	0,66	0,56	0,48	0,40	0,27
	Final del faenado	30	132	137	130	9,5	0,39	0,65	0,68	0,80	0,66	0,54	0,50	0,39	0,27
	Después de finalizar el faenado	30	125	137	129	9,5	0,39	0,67	0,68	0,80	0,68	0,54	0,48	0,36	0,28
Abril	Antes del faenado	30	139	146	139	9,4	0,30	0,57	0,66	0,80	0,78	0,47	0,38	0,37	0,24
	Inicio del faenado	30	130	137	140	9,4	0,31	0,57	0,66	0,80	0,76	0,48	0,39	0,37	0,24
	Final del faenado	30	128	130	133	9,4	0,31	0,56	0,67	0,79	0,66	0,48	0,40	0,37	0,26
	Después de finalizar el faenado	30	114	118	117	9,4	0,30	0,56	0,65	0,77	0,64	0,47	0,37	0,35	0,24
Mayo	Antes del faenado	30	128	117	125	9,42	0,27	0,49	0,62	0,74	0,65	0,44	0,34	0,38	0,20
	Inicio del faenado	30	122	129	132	9,42	0,27	0,48	0,61	0,74	0,65	0,43	0,34	0,38	0,20
	Final del faenado	30	123	120	125	9,42	0,25	0,48	0,62	0,76	0,65	0,42	0,33	0,37	0,20
	Después de finalizar el faenado	30	121	127	119	9,42	0,25	0,48	0,63	0,75	0,65	0,44	0,33	0,38	0,20

Tabla 24. Caudal (m³/s) por cada mes de monitoreo de la quebrada Pucayacu.

Mes de monitoreo	Toma de muestra	Tiempo	Velocidad	Área total	Caudal (m ³ /s)
Febrero	Antes del faenado	129,67	0,23	4,75	0,55
	Inicio del faenado	129,33	0,23	4,69	0,54
	Final del faenado	125,33	0,24	4,78	0,57
	Después de finalizar el faenado	125,67	0,24	4,74	0,57
Marzo	Antes del faenado	131,00	0,23	4,86	0,56
	Inicio del faenado	126,33	0,24	4,79	0,57
	Final del faenado	133,00	0,23	4,78	0,54
	Después de finalizar el faenado	130,33	0,23	4,78	0,55
Abril	Antes del faenado	141,33	0,21	4,48	0,48
	Inicio del faenado	135,67	0,22	4,49	0,50
	Final del faenado	130,33	0,23	4,41	0,51
	Después de finalizar el faenado	116,33	0,26	4,26	0,55
Mayo	Antes del faenado	123,33	0,24	4,05	0,49
	Inicio del faenado	127,67	0,23	4,02	0,47
	Final del faenado	122,67	0,24	4,01	0,49
	Después de finalizar el faenado	122,33	0,25	4,04	0,50

ANEXO B. Datos del caudal del efluente del matadero de la ciudad de Tocache.**Tabla 25.** Caudal del efluente del matadero de la ciudad de Tocache.

Mes de monitoreo	Toma de muestra	Tiempo (s)	Volumen (m³)	Caudal (m³/s)
Febrero	Inicio del faenado	1,160	0,003	0,003
	Final del faenado	0,785	0,003	0,004
Marzo	Inicio del faenado	0,890	0,003	0,003
	Final del faenado	0,550	0,003	0,005
Abril	Inicio del faenado	1,025	0,003	0,003
	Final del faenado	0,595	0,003	0,005
Mayo	Inicio del faenado	1,365	0,003	0,002
	Final del faenado	0,605	0,003	0,005

ANEXO C. Medidas de tendencia central: (promedio, desviación estándar [DE], error estándar [EE] y coeficiente de variación [CV]).

Tabla 26. Medidas de tendencia central del caudal de la quebrada Pucayacu.

Toma de muestra	Media (m³/s)	DE (m³/s)	EE (m³/s)	CV (%)
Antes del faenado	0,52	± 0,04	0,02	7,79
Inicio del faenado	0,52	± 0,04	0,02	8,42
Final del faenado	0,53	± 0,04	0,02	6,92
Después de finalizar el faenado	0,54	± 0,03	0,02	5,72

Tabla 27. Medidas de tendencia central del pH en los puntos 1,3 y 4.

Toma de muestra	Puntos	Media	DE	EE	CV (%)
Antes del faenado	punto 1	8,36	± 0,15	0,08	1,85
	punto 3	8,45	± 0,04	0,02	0,50
	punto 4	8,45	± 0,05	0,02	0,55
Inicio del faenado	punto 1	8,35	± 0,16	0,08	1,95
	punto 3	8,61	± 0,08	0,04	0,88
	punto 4	8,60	± 0,08	0,04	0,89
Final del faenado	punto 1	8,22	± 0,07	0,03	0,82
	punto 3	8,62	± 0,09	0,04	1,03
	punto 4	8,69	± 0,18	0,09	2,05
Después de finalizar el faenado	punto 1	8,20	± 0,04	0,02	0,52
	punto 3	8,66	± 0,20	0,10	2,35
	punto 4	8,64	± 0,18	0,09	2,11

Tabla 28. Medidas de tendencia central de temperatura (°C) en los puntos 1,3 y 4.

Toma de muestra	Puntos	Media (°C)	DE (°C)	EE	CV (%)
Antes del faenado	punto 1	28,50	± 0,26	0,13	0,91
	punto 3	28,33	± 0,87	0,43	3,06
	punto 4	28,33	± 1,03	0,52	3,65
Inicio del faenado	punto 1	29,05	± 0,58	0,29	2,00
	punto 3	28,38	± 0,31	0,15	1,09
	punto 4	28,35	± 0,24	0,12	0,84
Final del faenado	punto 1	30,38	± 1,30	0,65	4,27
	punto 3	30,43	± 0,28	0,14	0,91
	punto 4	29,98	± 0,57	0,28	1,89
Después de finalizar el faenado	punto 1	30,08	± 1,14	0,57	3,79
	punto 3	30,00	± 0,45	0,23	1,52
	punto 4	29,95	± 0,60	0,30	2,01

Tabla 29. Medidas de tendencia central de conductividad eléctrica (µS/cm) en los puntos 1,3 y 4.

Toma de muestra	Puntos	Media (µS/cm)	DE (µS/cm)	EE (µS/cm)	CV (%)
Antes del faenado	punto 1	32,50	± 0,58	0,29	1,78
	punto 3	30,25	± 0,96	0,48	3,17
	punto 4	29,25	± 0,96	0,48	3,27
Inicio del faenado	punto 1	34,00	± 0,82	0,41	2,40
	punto 3	64,75	± 0,96	0,48	1,48
	punto 4	62,25	± 2,99	1,49	4,80
Final del faenado	punto 1	34,00	± 0,82	0,41	2,40
	punto 3	66,50	± 0,58	0,29	0,87
	punto 4	65,00	± 2,94	1,47	4,53
Después de finalizar el faenado	punto 1	33,50	± 1,29	0,65	3,85
	punto 3	64,00	± 0,82	0,41	1,28
	punto 4	50,75	± 1,71	0,85	3,37

Tabla 30. Medidas de tendencia central del DBO₅ (mg/L) en los puntos 1,3 y 4.

Toma de muestra	Puntos	Media (mg/L)	DE (mg/L)	EE (mg/L)	CV (%)
Antes del faenado	punto 1	16,95	± 3,29	1,65	19,43
	punto 3	22,06	± 1,91	0,96	8,67
	punto 4	22,26	± 2,01	1,00	9,01
Inicio del faenado	punto 1	19,59	± 1,92	0,96	9,81
	punto 3	46,75	± 6,37	3,19	13,63
	punto 4	45,74	± 6,25	3,13	13,67
Final del faenado	punto 1	18,64	± 2,91	1,46	15,63
	punto 3	35,09	± 2,88	1,44	8,20
	punto 4	33,19	± 4,14	2,07	12,49
Después de finalizar el faenado	punto 1	17,54	± 2,92	1,46	16,64
	punto 3	32,51	± 1,86	0,93	5,72
	punto 4	29,37	± 1,39	0,70	4,75

Tabla 31. Medidas de tendencia central del DQO (mg/L) en los puntos 1,3 y 4.

Toma de muestra	Puntos	Media (mg/L)	DE (mg/L)	EE (mg/L)	CV (%)
Antes del faenado	punto 1	26,50	± 4,51	2,25	17,02
	punto 3	32,75	± 4,35	2,17	13,28
	punto 4	34,25	± 2,75	1,38	8,04
Inicio del faenado	punto 1	30,00	± 3,74	1,87	12,47
	punto 3	73,25	± 8,96	4,48	12,23
	punto 4	71,50	± 10,08	5,04	14,10
Final del faenado	punto 1	28,50	± 3,87	1,94	13,59
	punto 3	54,75	± 4,57	2,29	8,35
	punto 4	48,25	± 4,03	2,02	8,35
Después de finalizar el faenado	punto 1	26,75	± 4,11	2,06	15,38
	punto 3	50,75	± 2,99	1,49	5,88
	punto 4	47,75	± 2,22	1,11	4,64

Tabla 32. Medidas de tendencia central de coliformes termo tolerantes (NMP/ 100 mL) en los puntos 1,3 y 4.

Toma de muestra	Puntos	Media (NMP/ 100 mL)	DE (NMP/ 100 mL)	EE (NMP/ 100 mL)	CV (%)
Antes del faenado	punto 1	12,50	± 1,00	0,50	8,00
	punto 3	11,50	± 1,00	0,50	8,70
	punto 4	11,25	± 0,50	0,25	4,44
Inicio del faenado	punto 1	14,25	± 0,96	0,48	6,72
	punto 3	277,50	± 25,00	12,50	9,01
	punto 4	252,50	± 25,00	12,50	9,90
Final del faenado	punto 1	14,75	± 0,50	0,25	3,39
	punto 3	237,50	± 37,75	18,87	15,89
	punto 4	205,00	± 33,17	16,58	16,18
Después de finalizar el faenado	punto 1	14,50	± 0,58	0,29	3,98
	punto 3	237,50	± 37,75	18,87	15,89
	punto 4	197,50	± 25,00	12,50	12,66

Tabla 33. Medidas de tendencia central del caudal del punto 2.

Toma de muestra	Media (m³/s)	DE (m³/s)	EE (m³/s)	CV (%)
Inicio del faenado	0,003	± 0,001	0,0003	18,16
Final del faenado	0,005	± 0,001	0,0004	14,75

Tabla 34. Medidas de tendencia central del pH del punto 2.

Toma de muestra	Media	DE	EE	CV (%)
Inicio del faenado	7,45	± 0,15	0,07	2,00
Final del faenado	7,78	± 0,11	0,06	1,47

Tabla 35. Medidas de tendencia central de la temperatura (°C) del punto 2.

Toma de muestra	Media (°C)	DE (°C)	EE	CV (%)
Inicio del faenado	30,08	± 0,38	0,19	1,26
Final del faenado	26,55	± 0,37	0,18	1,39

Tabla 36. Medidas de tendencia central de la conductividad eléctrica (µS/cm) del punto 2.

Toma de muestra	Media (µS/cm)	DE (µS/cm)	EE (µS/cm)	CV (%)
Inicio del faenado	430,25	± 27,07	13,54	6,29
Final del faenado	349,50	± 33,97	16,98	9,72

Tabla 37. Medidas de tendencia central del DBO₅ (mg/L) del punto 2.

Toma de muestra	Media (mg/L)	DE (mg/L)	EE (mg/L)	CV (%)
Inicio del faenado	262,27	± 29,09	14,55	11,09
Final del faenado	179,78	± 16,71	8,35	9,29

Tabla 38. Medidas de tendencia central del DQO (mg/L) del punto 2.

Toma de muestra	Media (mg/L)	DE (mg/L)	EE (mg/L)	CV (%)
Inicio del faenado	412,50	± 33,96	16,98	8,23
Final del faenado	296,00	± 18,89	9,44	6,38

Tabla 39. Medidas de tendencia central de los coliformes termo tolerantes (NMP/100 mL) del punto 2.

Toma de muestra	Media (NMP/100 mL)	DE (NMP/100 mL)	EE (NMP/100 MI)	CV (%)
Inicio del faenado	780,00	± 369,50	184,75	47,37
Final del faenado	375,00	± 98,15	49,07	26,17

Tabla 40. Medidas de tendencia central del índice de calidad del agua en los puntos 1,3 y 4.

Puntos	Media	DE	EE	CV (%)
Punto 1	97,91	± 0,71	0,36	0,73
Punto 3	88,05	± 6,11	3,05	6,94
Punto 4	89,06	± 5,89	2,95	6,62

ANEXO D. Cantidad de residuos orgánicos generados en el matadero.**Tabla 41.** Generación de residuos orgánicos por animal faenado en el matadero.

Tipo de residuo	Bovino		Porcino		Total	
	Cantidad (Kg)	Porcentaje (%)	Cantidad (Kg)	Porcentaje (%)	Cantidad (Kg)	Porcentaje (%)
Sangre	7,16	18,92	0,86	25,15	8,02	19,43
Vísceras no comestibles	6,52	17,23	0,53	15,50	7,05	17,08
Estiércol	18,32	48,40	1,33	38,89	19,65	47,61
Otros residuos orgánicos	5,85	15,46	0,70	20,47	6,55	15,87
Total	37,85	100,00	3,42	100,00	41,27	100,00

Tabla 42. Generación de residuos orgánicos en 5 días de faenado.

Tipo de residuo	Bovinos	Porcinos	Total
Sangre	78,76	30,96	109,72
Vísceras no comestibles	71,72	19,08	90,80
Estiércol	201,52	47,88	249,40
Otros residuos orgánicos	64,35	25,20	89,55
Total	416,35	123,12	539,47

ANEXO E. Mapas

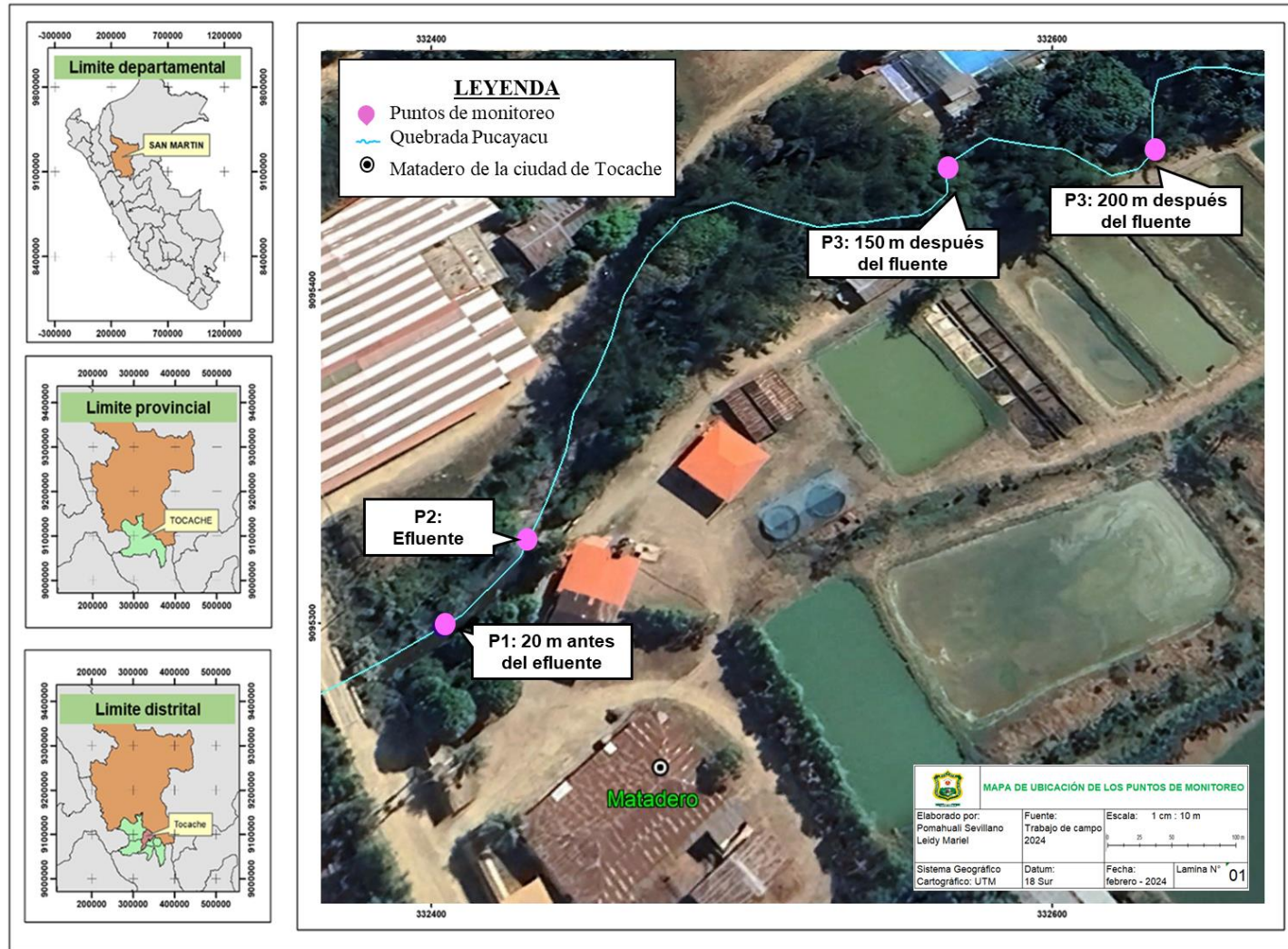


Figura 20. Ubicación de los puntos de monitoreo de la quebrada Pucayacu y del matadero de la ciudad de Tocache.

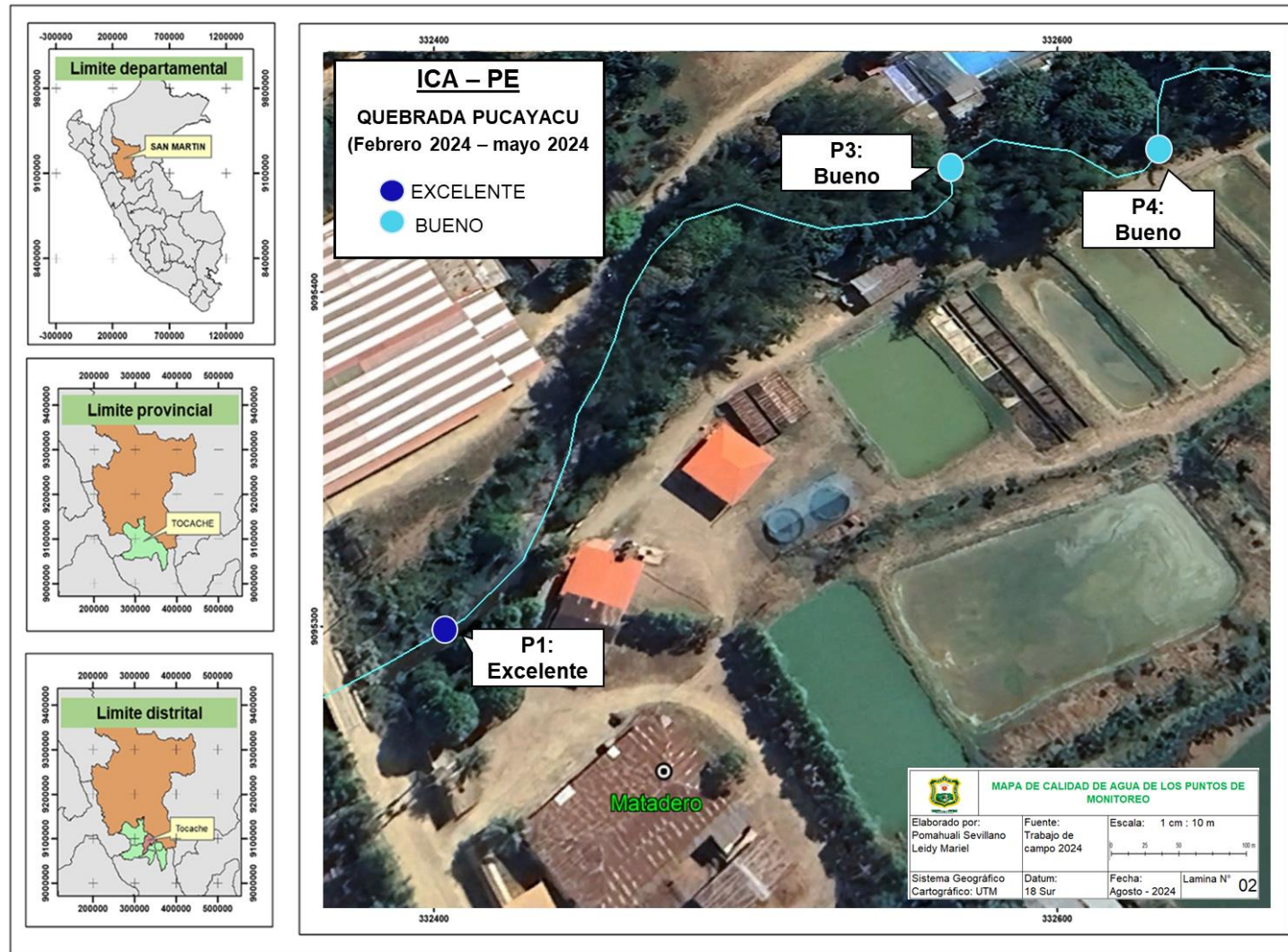


Figura 21. Representación de la calidad de agua (ICA – PE) de los puntos de monitoreo.

ANEXO F. Documentos.

Tocache, 01 de octubre del 2024

CARTA N° 002 – 2024 – PSLM

Señor:

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TOCACHE

ASUNTO : INFORME DE RESULTADOS DEL EFLUENTE DEL MATADERO

ATENCIÓN : Gerencia de desarrollo económico

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TOCACHE
TRAMITE DOCUMENTARIO

01 OCT. 2024

HORA 17:13

N° EXP 14844

FOLIOS 02

Por medio del presente me es grato dirigirme a Usted para saludarlo cordialmente y a la vez manifestarle lo siguiente:

Que, mediante la ejecución de mi tesis titulada "Efecto de los efluentes del matadero de la ciudad de Tocache en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu, 2024" aprobado para su ejecución mediante resolución N° 111-2024-D-FRNR-UNAS.

Este estudio tiene como objetivo determinar el efecto de dichos efluentes en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu, considerando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. A lo largo de la investigación, se han recopilado datos que son fundamentales para comprender los efectos ambientales y proponer recomendaciones adecuadas para el manejo sostenible de los efluentes generados.

Espero que esta información sea de interés y utilidad para el desarrollo de políticas y acciones que contribuyan a la protección de nuestros recursos hídricos.

Se adjunta:

- Informe de resultados

Agradezco su atención y quedo a su disposición para cualquier consulta o información adicional que requiera.

Es todo cuando informo a Ud. para su conocimiento y fines que estime conveniente.

Atentamente;



Pomahualí Sevillano Leidy Mariel

Tesista

DNI: 73057425

Cel: 956694755

Figura 22. Difusión de los resultados obtenidos en la investigación, dirigida a la Municipalidad Provincial de Tocache.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Tingo María, 22 de febrero del 2024

Ing. MSc. Abby Solange Da Cruz Rodríguez
Jefe de laboratorio de Calidad de Agua:

ASUNTO: SOLICITO USO DEL LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA

Presente.-

Yo, **POMAHUALI SEVILLANO, LEIDY MARIEL** con DNI N° 73057425, Bachiller de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la Facultad de RECURSOS NATURALES RENOVABLES.

Mediante el presente, me dirijo a usted, para saludarla cordialmente y a la vez manifestarle lo siguiente:

Que, solicito utilizar las instalaciones, equipos y materiales del Laboratorio de calidad de agua los días lunes, miércoles y viernes de 11am a 1pm para la medición de parámetros de DBO₅ y DQO y cumplir con los objetivos del proyecto de tesis titulado "Efecto de los efluentes del matadero de la ciudad de Tocache en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu, 2024" aprobado para su ejecución mediante resolución N° 111-2024-D-FRNR-UNAS.

Los equipos que se utilizarán son el multiparámetro 3630 IDS, Colorímetro portátil multiparamétrico DR900 y termoreactor. Además, se utilizarán materiales de laboratorio como vasos precipitados, pisetas, probetas, etc. Por otro lado, los reactivos para la medición de DQO, serán proporcionados por mi persona.

El tiempo de uso será desde el 26 de febrero del 2024 hasta 03 de mayo del 2024. A continuación, se describe las fechas exactas:

	Fecha
1°	26/02/2024 hasta 01/03/2024
2°	18/03/2024 hasta 22/03/2024
3°	08/04/2024 hasta 12/04/2024
4°	29/04/2024 hasta 03/05/2024

Adjunto resolución de ejecución del proyecto de tesis, gracias por su atención y espero su pronta respuesta.


Pomahuali Sevillano, Leidy Mariel
leidy.pomahuali@unas.edu.pe

Recibido
AD
22/02/24

Figura 23. Solicitud de uso del laboratorio de calidad de agua.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Tingo María, 22 de febrero del 2024

Dr. Lopez Lopez Cesar Samuel
Jefe de laboratorio de Microbiología

ASUNTO: SOLICITO USO DEL LABORATORIO DE MICROBIOLOGIA

Presente.-

Yo, **POMAHUALI SEVILLANO, LEIDY MARIEL** con DNI N° 73057425, Bachiller de la Escuela Profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la Facultad de RECURSOS NATURALES RENOVABLES.


Mediante el presente, me dirijo a usted, para saludarla cordialmente y a la vez manifestarle lo siguiente:

Que, solicito utilizar las instalaciones, equipos y materiales del Laboratorio de microbiología para la medición de parámetros de DBO₅ y coliformes termotolerantes, y cumplir con los objetivos del proyecto de tesis titulado "Efecto de los efluentes del matadero de la ciudad de Tocache en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu, 2024" aprobado para su ejecución mediante resolución N° 111-2024-D-FRNR-UNAS.

El tiempo de uso será desde el 26 de febrero del 2024 hasta 03 de mayo del 2024. A continuación, se describe las fechas exactas:

	Fecha
1°	26/02/2024 hasta 01/03/2024
2°	18/03/2024 hasta 22/03/2024
3°	08/04/2024 hasta 12/04/2024
4°	29/04/2024 hasta 03/05/2024

Adjunto resolución de ejecución del proyecto de tesis, gracias por su atención y espero su pronta respuesta.


Pomahual Sevillano, Leidy Mariel
leidy.pomahual@unas.edu.pe



22/2/24

Figura 24. Solicitud de uso del laboratorio de microbiología ambiental.



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TOCACHE

R.U.C 20168745231

'Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la Conmemoración de las Heroicas Batallas de Junín y Ayacucho'

Tocache, 26 de febrero de 2024.

CARTA N°030-2024-MPT/GM

Señora:

LEYDY MARIEL POMAHUALI SEVILLANO

Tocache. -

**ASUNTO : NOTIFICO ACEPTACION PARA INGRESO A LAS
INSTALACIONES DEL MATADERO MUNICIPAL DE
TOCACHE**

REF. : CARTA N°001-2023-PSLM

Por medio de la presente, me dirijo a usted para saludarlo a nombre de la Municipalidad Provincial de Tocache; y a la vez, en atención al documento de la referencia, notifico la **optntón favorable** para ingresar a las instalaciones del Matadero Municipal de Tocache, con el objetivo de conocer las actividades de dicho establecimiento; realizar su monitoreo y otras actividades con respecto a la Tesis ***EFECTO DE LOS EFLUENTES DEL MATADERO DE LA CIUDAD DE TOCACHE EN LA CALIDAD DE AGUA DE LA QUEBRADA PUCAYACU, 2024***; asimismo dichas diligencias serán a partir del 26 de febrero hasta el 15 de mayo del presente año fiscal 2024.

Sin otro particular, me suscribo de usted, no sin antes expresarle las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE TOCACHE
GERENTE MUNICIPAL
San Martín
Ing. Ivan E. Pujero Salazar
GERENTE MUNICIPAL (R)

Cc. Archivo

Jr. Progreso N°198 – Tocache – San Martín / e-mail: mesadepartestocache@munitocache.gob.pe

Figura 25. Notificación de aceptación para el ingreso al matadero de la ciudad de Tocache.

Tocache, 16 de febrero del 2024

CARTA N° 001 – 2024 – PSLM

Señor:
AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
ASUNTO : Préstamo de medidor multiparámetro
ATENCIÓN : Calidad del agua

AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA
 ADMINISTRACIÓN NACIONAL DEL AGUA
 ADMINISTRACIÓN LOCAL DE AGUA Tocache
RECEPCIÓN
16 FEB. 2024
 Recibido por: *H. 02*
 Hora: *11:41* Fecha: *16/02/2024*
 CUT: *97692-2024*
 LA RECEPCIÓN NO IMPLICA CONFORMIDAD

AGUA
 N
 12
 224
 224

Por medio del presente me es grato dirigirme a Usted para saludarlo cordialmente y a la vez manifestarle lo siguiente:

Que, solicito el préstamo de equipos de medición de pH, temperatura y conductividad eléctrica en los horarios descritos en la Tabla 1, con el propósito de cumplir con los objetivos de mi tesis titulada "Efecto de los efluentes del matadero de la ciudad de Tocache en la calidad del agua de la quebrada Pucayacu, 2024" aprobado para su ejecución mediante resolución N°111-2023-FRNR-UNAS.

Tabla 1. Fechas y horarios de préstamo de equipos de medición.

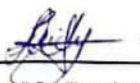
Fecha	Horario
28-02-2024	6am-1pm
21-03-2024	6am-1pm
10-04-2024	6am-1pm
01-05-2024	6am-1pm

Se Adjunta:

- Resolución de ejecución de tesis

Es todo cuando informo a Ud. para su conocimiento y fines que estime conveniente.

Atentamente;



Pomahuari Sevillano Leidy Mariel

DNI: 73057425

Cel: 956694755

Figura 26. Solicitud de préstamo de equipo para medición de parámetros in situ.

ANEXO G. Panel fotográfico

Figura 27. Medición del tiempo de llegada del flotador.



Figura 28. Medición del ancho de la quebrada Pucayacu.



Figura 29. Medición de parámetros in situ del punto 1.



Figura 30. Medición de parámetros in situ del punto 3.



Figura 31. Recolección de muestra del punto 4.



Figura 32. Recolección de muestra del punto 2 para el análisis de DBO_5 .



Figura 33. Recolección de muestra del punto 2 para el análisis de DQO.



Figura 34. Pesaje del Caldo EC para determinar la presencia de coliformes termo tolerantes.



Figura 35. Inoculación en los tubos para determinar la presencia de coliformes termo tolerantes.



Figura 36. Coloración verde en los viales del punto 2 después de pasar por el espectrofotómetro.



Figura 37. Supervisión del miembro de jurado.

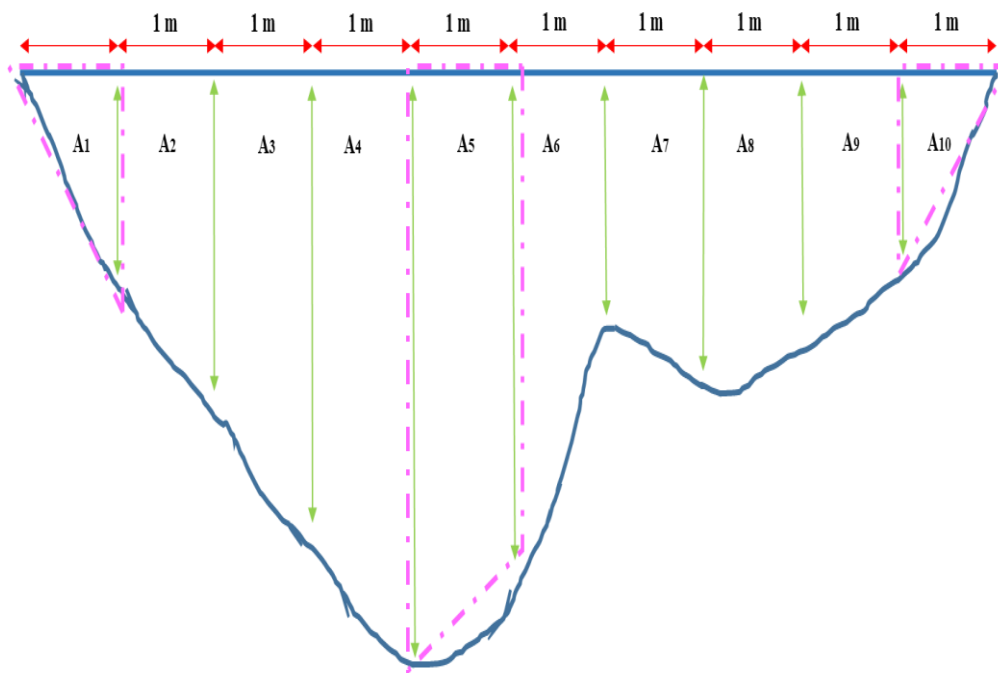


Figura 38. División de las áreas a lo largo del ancho de la quebrada.



Figura 39. Pesado de las vísceras no comestibles.



Figura 40. Sangre recolectada en recipientes sin tapa.



Figura 41. Residuos orgánicos del proceso de faenado de bovinos y porcinos.



Figura 42. Residuos orgánicos del proceso de faenado de bovinos y porcinos.



Figura 43. Proceso de desangrado de los porcinos.



Figura 44. Charla de difusión de los resultados obtenidos en la investigación, dirigida a los trabajadores del matadero.

PARTICIPANTES DEL MATADERO DE LA CIUDAD DE TOCACHE

Hora de inicio 9:45 am y final 10:05 am

NOMBRES Y APELLIDOS	EDAD	FIRMA
Nora Calderon Murguía	47	<i>Nora Calderon</i>
Abel Calderon Murguía	44	<i>Abel Calderon</i>
Manuel Viera Valverde	72	MVV
Walter Atencio Melgarejo	38	<i>Walter Atencio</i>
Nely Viera Valverde	53	<i>Nely Viera</i>
Cathy Ruiz Fresco	47	- - -
Carmen Viera Valverde	40	<i>Carmen Viera</i>
Cecilia Rengifo GÓMEZ	45	<i>Cecilia Rengifo</i>
Medico Veterinario Lider Shawana Dominguez	61	<i>Lider Shawana</i>

EXPOSITORA : Pamela Sevillano Lidya Mariel

Figura 45. Lista de participantes a la charla de difusión.