

“EFECTO DE LA DENSIDAD DE LOMBRICES
SOBRE EL PROCESO DE LOMBRIFILTRACIÓN
DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL
MUNICIPAL DEL DISTRITO DE LA ESPERANZA,
LA LIBERTAD 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Autores:

Jesus Manuel Cueva Risco
Anicielo de Los Angeles Vasquez Guillen

Asesor:

Mg. Lic. Danny Sorel Mejía Pardo
<https://orcid.org/0000-0002-7083-9544>
Trujillo - Perú

JURADO EVALUADOR

Jurado 1	ELVAR RENATO MIÑANO MERA	18130961
Presidente(a)	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	MARIETA ELENA CERVANTES PERALTA	29425048
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	WILBERTO EFFIO QUEZADA	42298402
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

DEDICATORIA

Yo Manuel Cueva Risco, dedico el presente trabajo a mis padres, hermanos, mi hijo, doña Roxana y amigos porque han fomentado en mí, el deseo de superación y de triunfo en la vida.

Lo que han contribuido a la consecución de este logro.

Espero encontrar siempre con su valioso e incondicional apoyo.

Yo Anicielo Vásquez, Mi tesis la dedicó a mis padres por haberme apoyado incondicionalmente y motivarme a terminar para finalmente ser una profesional. Sobre todo, se la dedico a mi madre que siempre estuvo ahí atrás mío dándome ánimos y no permitiendo que me rindiera.

A mi hermano que con sus palabras y el orgullo que sentía hacia mi hizo que siga hasta el final.

AGRADECIMIENTO

Yo Manuel Cueva Risco, Agradezco a Dios por haberme otorgado una familia maravillosa, quienes han creído en mí siempre, dándome ejemplo de superación, humildad y sacrificio; enseñándome a valorar todo lo que tengo, a doña Roxana por el apoyo incondicional con mi hijo, quien, así como él y todos los mencionados forman parte de este esfuerzo y sacrificio.

Yo Anicielo Vásquez, Agradezco a Dios por haberme dado vida e inteligencia, a cada uno de mis profesores por haber compartido su sabiduría con todos nosotros, a mis seres queridos por siempre creer en mí.

Finalmente, a mi universidad que gracias a ella pude formarme profesionalmente.

Tabla de contenido

<i>JURADO EVALUADOR</i>	2
<i>DEDICATORIA</i>	3
<i>AGRADECIMIENTO</i>	4
<i>TABLA DE CONTENIDO</i>	5
<i>ÍNDICE DE TABLAS</i>	7
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i>	9
<i>RESUMEN</i>	10
<i>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</i>	11
1.1. Realidad problemática	11
1.2. Formulación del problema	14
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
1.4. Hipótesis	15
1.5. Antecedentes	15
1.5.1. Internacionales	15
1.5.2. Nacionales	18
1.6. Bases teóricas	21
<i>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA</i>	35
2.1. Materiales instrumentos y métodos	35
2.1.1. Materiales e instrumentos	35
2.1.2. Métodos	36

<i>CAPÍTULO III: RESULTADOS</i>	<i>46</i>
3.1. Carga orgánica en los efluentes del camal	46
3.2. Eficiencia de remoción de la carga orgánica en los efluentes del camal	48
3.3. Densidad óptima de lombrices californianas en el sistema de tratamiento	49
3.3.1. Análisis estadístico de la remoción de materia orgánica, DBO ₅	50
3.3.2. Análisis estadístico de la remoción de materia orgánica, DQO	52
<i>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</i>	<i>55</i>
4.1. Discusión	55
4.2. Conclusiones	57
<i>REFERENCIAS</i>	<i>58</i>
<i>ANEXOS</i>	<i>64</i>

ÍNDICE DE TABLAS

<i>TABLA 1 Rangos de operación y sobrevivencia lombriz eisenia foetida</i>	22
<i>TABLA 2 Comparación de algunos aspectos de la biología de las especies vermicompostadoras</i>	25
<i>TABLA 3 Contaminantes presentes en las aguas residuales</i>	27
<i>TABLA 4 Consideraciones de preservación y tipo de recipiente para análisis de los parámetros considerados</i>	31
<i>TABLA 5 Valores máximos admisibles para dbo_5 y dqo para aguas residuales no domesticas</i>	34
<i>TABLA 6 Ubicación del camal municipal del distrito de la esperanza</i>	35
<i>TABLA 7 Diseño experimental puro</i>	38
<i>TABLA 8 Ubicación del punto de monitoreo de los efluentes líquidos del camal la esperanza</i>	39
<i>TABLA 9 Parámetros de diseño y operación de la capa vermifiltrante</i>	40
<i>TABLA 10 Clases de capas del vermifiltro</i>	41
<i>TABLA 11 Métodos de análisis de los parámetros estudiados</i>	43
<i>TABLA 12 Ficha de recolección de datos</i>	44
<i>TABLA 13 Análisis de varianza de los promedios de eficiencia de remoción de materia orgánica expresado en dbo_5, con relación a las distintas densidades de lombrices</i>	51
<i>TABLA 14 Prueba de comparaciones múltiples de tukey para los promedios de eficiencia de remoción de materia orgánica expresado en DBO_5, con relación a las 4 densidades de lombrices.</i>	51
<i>TABLA 15 Análisis de varianza de los promedios de eficiencia de remoción de materia orgánica expresado en dqo, con relación a las distintas densidades de lombrices</i>	53

TABLA 16 Prueba de comparaciones múltiples de tukey para los promedios de eficiencia de remoción de materia orgánica expresado en DQO, con relación a las 4 densidades de lombrices.

54

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 1. Lombrices de tierra a) eisenia fétida; b) eisenia andrei.</i>	25
<i>FIGURA 2 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) como indicador de carga orgánica en los efluentes del camal, antes y después del tratamiento</i>	46
<i>FIGURA 3 Demanda química de oxígeno (DQO) como indicador de carga orgánica en los efluentes del camal, antes y después del tratamiento</i>	47
<i>FIGURA 4 48Eficiencia de remoción de materia orgánica, expresado como DBO₅ respecto a cada tratamiento</i>	48
<i>FIGURA 5 Eficiencia de remoción de materia orgánica, expresado como DQO, respecto a cada tratamiento</i>	49

RESUMEN

Las plantas de beneficio de animales ubicadas en zonas urbanas de la provincia de Trujillo generan grandes volúmenes de agua residual con altos contenidos en materia orgánica, que requieren ser tratadas para evitar daño en la infraestructura de los sistemas de alcantarillado y sobrecargar la capacidad de depuración de las PTAR. La lombrifiltración es una tecnología que demanda bajos costos de implementación, operación y mantenimiento. Además, de ser un método de tratamiento amigable con el medio ambiente, el objetivo del estudio fue determinar la densidad óptima de lombrices californianas del sistema de lombrifiltro, que disminuya el mayor porcentaje de materia orgánica en las aguas residuales del camal municipal del distrito de La Esperanza, La Libertad 2022. Para lo cual, se evaluó las eficiencias de remoción de demanda biológica de oxígeno (DBO5) y demanda química de oxígeno (DQO), de aguas residuales tratadas, en cuatro niveles de densidad de lombrices: 0, 10, 20, 40 g de lombrices l⁻¹. Determinando estadísticamente que el tratamiento con la densidad de lombrices de 40 g/l es más eficiente en la remoción de materia orgánica en comparación con los demás tratamientos, logrando eficiencias de remoción de 88.56% y 50.52% para DBO5 y DQO respectivamente.

PALABRAS CLAVES: Lombrifiltro, Eficiencia de remoción de materia orgánica y densidad de lombrices

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

El agua es un recurso natural renovable importante para la vida en el planeta, el cual se renueva mediante el ciclo hidrológico del agua; su calidad, cantidad y disponibilidad condiciona el desarrollo económico y social de un país.

En la actualidad, la calidad de los recursos hídricos en el mundo se ha visto impactada negativamente por las actividades antrópicas. Así mismo, la demanda del agua en el mundo aumenta debido al crecimiento poblacional y a su requerimiento creciente por las diversas actividades económicas. Tal como, lo expresan la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura; la Organización de las Naciones Unidas para el agua (UNESCO & ONU-Agua, 2020) al afirmar que:

Mundialmente muchas fuentes de agua dulce superficial están contaminadas con residuos orgánicos, agroquímicos, metales pesados y patógenos. La contaminación del agua por materia orgánica está en aumento a consecuencia del incremento de los vertimientos de aguas residuales domésticas e industriales; intensificación de la agricultura y la ganadería, la baja capacidad de dilución de los ríos debido a la disminución en el flujo de las escorrentías superficiales y a la extracción desmedida de sus aguas.

Por otro lado, en Latinoamérica en los últimos 20 años la disponibilidad de agua por habitante se ha reducido a un 22% debido al crecimiento poblacional y económico; esta situación se ha recrudecido debido a los efectos del cambio climático. En el informe estado de la alimentación y la agricultura de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) se menciona que más de tres millones de personas en el mundo viven en zonas agrícolas con escasez de agua (Organización de las Naciones Unidas, 2020).

Con respecto a la calidad de las aguas residuales que ingresan a las plantas de tratamiento (PTAR) en el país, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2020) informa que de las 171 PTAR operativas en el Perú, 81 (47%) PTAR cumplen con los valores máximos admisibles (VMA), 36 (21%) PTAR sobrepasan uno o más de los VMA y en 54 (32%) PTAR no se ha determinado la calidad de los afluentes debido a la falta de información proporcionada por sus operadores.

El tratamiento de las aguas residuales es una alternativa importante que permite la reducción de la contaminación ambiental, disminución de las enfermedades y aumento en la disponibilidad de agua dulce para hacer frente a su escasez.

La calidad y eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales por parte de la mayoría de las empresas prestadoras de servicios (EPS) del Perú no es la más adecuada debido a la falta de capacidad técnica y financiera para su operación; esta es una realidad que involucra a las PTAR de la provincia de Trujillo. A todos estos problemas se suma las características fisicoquímicas y biológicas de los afluentes de aguas residuales que ingresan a las PTAR de la provincia, los cuales presentan altas concentraciones de materia orgánica. A consecuencia de los vertimientos de aguas industriales en el alcantarillado doméstico provenientes de actividades económicas que operan en la provincia, tal como lo evidenció la (SUNASS, 2020) en las PTAR de El Milagro, Valdivia y el Parque Industrial, al superar los parámetros de DBO, DQO y SST de los valores máximos admisibles (VMA).

Una de las actividades industriales que mayor impactan en la calidad de los afluentes domésticos debido a las altas concentraciones de materia orgánica, es la actividad de beneficio de animales, las cuales se desarrollan en mataderos o camales. Al respecto, Flowen (2022) afirma que las aguas residuales de los mataderos contienen altos contenidos de materia orgánica, grasas y proteínas provenientes de las actividades del proceso productivo,

destacando los siguientes focos de contaminación, la ducha de animales, lavado de partes comestibles acabadas, sangrado, escalado y la limpieza de estómagos e intestinos de animales muertos.

Ante tal problema, existen diversas opciones tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales industriales pero uno de los requisitos importantes en su elección por parte de los responsables de estas actividades además de su eficiencia de tratamiento es que esta tecnología genere bajos costos en su implementación, operación y mantenimiento. En tal sentido la lombrifiltración, es una tecnología que cumple con estos requisitos, además de ser un proceso ecológico que no utiliza aditivos y sustancias químicas utiliza poca energía y no genera residuos contaminantes. Por lo tanto, es necesario investigar este tratamiento inicialmente a nivel de laboratorio para mejorar la eficiencia en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales del camal, para luego ser extrapolado a un contexto de planta centrándose este estudio de investigación en optimizar el parámetro operativo, densidad de lombrices (g de lombrices/m³) en el proceso de lombrifiltración; con la finalidad de lograr hallar la cantidad optima de lombrices que se inoculará al lombrifiltro para obtener una mayor remoción de materia orgánica. Por lo tanto, el presente estudio de investigación es de importancia porque aporta con información bibliográfica respecto a la remoción de materia orgánica mediante la tecnología de lombrifiltración. Toda vez que, este tipo de tratamiento cuenta con poca información respecto a la optimización de la variable operativa densidad de lombrices, en comparación de otros parámetros de proceso. Además, esta investigación provee una alternativa viable en la remoción de materia orgánica de las aguas residuales del camal, lo que permitirá al administrado cumplir con los valores máximos admisibles normados por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; y de esta manera evitar sanciones administrativas pecuniarias y no pecuniarias por parte de la empresa

prestadora del servicio de agua y alcantarillado. Por último, esta investigación servirá para orientar el desarrollo de otros estudios similares. El procedimiento de toma, almacenamiento, transporte y análisis de la muestra es válido y confiable, por lo que puede ser utilizado por otros investigadores.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la densidad óptima de lombrices californianas (*Eisenia foetida*) en el sistema de lombrifiltro, que obtenga la mayor eficiencia de remoción de materia orgánica en las aguas residuales del camal municipal del distrito de La Esperanza, La Libertad 2022?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la densidad óptima de lombrices californianas del sistema de lombrifiltro, que disminuya el mayor porcentaje de materia orgánica en las aguas residuales del camal municipal del distrito de La Esperanza, La Libertad 2022.

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar la concentración orgánica en las aguas residuales del camal municipal del distrito de la Esperanza, antes y después de aplicar el tratamiento con diferentes densidades de lombrices californianas (*Eisenia foetida*) en el sistema de lombrifiltro.

Determinar la eficiencia de remoción de materia orgánica en las aguas residuales del camal municipal del distrito de la Esperanza, después del tratamiento con diferentes densidades de lombrices californianas (*Eisenia foetida*), en el sistema de lombrifiltro.

1.4. Hipótesis

Utilizando la densidad de 40 g de lombrices californianas por litro de vermiconposta en el sistema de lombrifiltro, se obtendrá la mayor eficiencia de remoción de materia orgánica en las aguas residuales del camal municipal del distrito de La Esperanza.

1.5. Antecedentes

1.5.1. Internacionales

Según Miito (2021) en su investigación “La vermifiltración como tecnología de recuperación de nutrientes de bajo costo para la gestión de aguas residuales de lácteos”, se planteó evaluar el efecto de la densidad de lombrices en el desempeño de un sistema de vermifiltro durante el tratamiento de estiércol líquido, respecto a los parámetros: Nitrógeno total (TN), nitrógeno amoniacal total (TAN), nitrato ($\text{NO}_3^- -\text{N}$), fósforo total (TP) y ortofosfato (orto-P), demanda química de oxígeno (COD), sólidos totales (TS) y sólidos suspendidos totales (TSS), en cuatro niveles de densidad de lombrices: 0, 5000, 10000, 15000 lombrices / m^3 (cuatro tratamientos), los resultados hallados fue que a mayor densidad de lombrices mayor es la eficiencia de reducción en la mayoría de los parámetros evaluados, obteniendo reducciones entre el 20% al 50% para la DQO. Así mismo, concluyó que las densidades óptimas para la reducción de materia orgánica en las aguas residuales lácteas son de: 10000 y 15000 lombrices / m^3 . Atribuidas a una mayor degradación, generada por la acción simbiótica de las lombrices de tierra *Eisenia foetida* y los microorganismos presentes en el lecho del vermifiltro.

Según Tejedor (2019) en su investigación “Estudio del comportamiento de *Eisenia foetida* y *Schoenoplectus californicus* en biofiltros de cáscara de maní para el tratamiento de agua residual doméstica” se propuso evaluar el comportamiento de *Eisenia foetida* y *Schoenoplectus californicus* en biofiltros de cáscara de maní mediante ensayos batch y

continuos a escala laboratorio para determinar efectos ecotoxicológicos y niveles de compatibilidad de ambos organismos con el medio de soporte propuesto. Primero determinó la cantidad de concentración de cascara de maní a emplear como medio filtrante en el biofiltro, de tal forma que este no genere la toxicidad de la *Eisenia foetida* y *Schoenoplectus californicus*, para lo cual se realizó análisis de toxicidad aguda y crónica. Seguidamente se construyó el medio filtrante con tres capas: 30 cm de grava, 30 cm de arena y la última capa de 30 cm conformada por 25% de cascara de maní y 75% de aserrín. El estudio evaluó tres sistemas de biofiltros: biofiltros P (medio filtrante y macrófitas), biofiltros L (medio filtrante y lombrices) y biofiltros LP (medio filtrante, macrófitas y lombrices), cada sistema fue regado durante 11 semanas con agua residual sintética con tres tasas hidráulicas: 0,5; 1,0 y 1,5 m³ /m²*d. Se evaluó la respuesta fisiológica de la *Eisenia foetida* y *Schoenoplectus californicus* (macrofitas) mediante parámetros alométricos. Paralelamente se evaluó la eliminación de materia orgánica, mediante la medición de la DQO y SV; se encontró que en biofiltros L, L1 presentó la mayor remoción de DQO correspondiente a 87,4 %, seguido de L2 (83,5%) y L3 (75,9%). La prueba de Tukey determinó la existencia de diferencias significativas (p<0,05) entre L1 y L3; de acuerdo a los resultados obtenidos el biofiltro L con menores cargas hidráulicas 1 (0,5 m³ /m² *d) y 2 (1,0 m³ /m² *d) mostraron eficiencias superiores al 80% en comparación con la carga hidráulica 3 (0,5 m³ /m² *d) que reportó eficiencias entre 75,4% a 78,3% en la eliminación de DQO. La mayor remoción de sólidos volátiles (SV) se presentó en L1 (58,5%), seguido de L3 (46,4%) y L2 (40,4%); la prueba de Tukey determinó la existencia de diferencias significativas (p<0,05) entre L1 y L3. Los resultados mostraron que la mayor eliminación de SV se encuentra en el biofiltro L1, lo que se atribuye a una baja tasa hidráulica (0,5 m³ /m² *d). Se concluyó que el biofiltro operado con una tasa hidráulica 1 (1,0 m³ /m²*d) reporta una mayor eficiencia de remoción de DQO (L1=87%) y Sólidos Volátiles (L1=59%).

Según Lourenço y Nunes (2017) En su investigación “Optimización de un proceso de vermifiltración para el tratamiento de aguas residuales urbanas” propuso la optimización de un proceso de vermifiltración para los siguientes parámetros: Tiempo de retención hidráulica (HRT), tasa de carga hidráulica (HLR) y de relación de recirculación (R), tasa de carga orgánica (OLR), abundancia de lombrices y tipo de reactor para la remoción de materia orgánica de aguas residuales urbanas utilizando un proceso de vermifiltración a pequeña escala que comprende sistemas de vermifiltro (VF) de una etapa y de cuatro etapas. Para el estudio del parámetro operativo abundancia de lombrices y su influencia en la remoción de materia orgánica (DBO₅ y DQO total, DQO soluble y DQO particulado) en el sistema de vermifiltración inoculó en vermifiltros de una etapa, cuatro cantidades diferentes de lombrices (10 g/l, 20 g/l, 30 g/l y 40 g/l) con un HRT de 6 h y HLR de 0,89 m³ /m². día. Determinando que después del tratamiento, las concentraciones de DBO₅, DQO total, DQO soluble y DQO particulado para el lombrifiltro operado con 10g/l, fueron 1.3 mg/l, 85.3 mg/l, 47.3 mg/l y 38 mg/l respectivamente. Logrando la mayor eficiencia de remoción de materia orgánica, 98.6 % (DBO₅), y 53.6 % (DQO soluble) en comparación con los demás tratamientos; al reducir las concentraciones iniciales DBO₅ (93.3 mg/l) y DQO soluble (102 mg/l) de las aguas residuales.

Según Chagua et al. (2022) en su investigación titulada: Evaluación de la remoción de DBO y DQO presente en aguas residuales de camales mediante el proceso de vermifiltración asistido con tapas PET y esponjas de poliuretano se propuso evaluar la remoción de DBO y DQO presente en aguas residuales de camales, mediante el proceso de vermifiltración asistido con tapas PET y esponjas de poliuretano, para lo cual construyó tres vermifiltros cada uno con diferentes medios filtrantes (Piedras, tapas de PET y esponjas de poliuretano), las condiciones de operación fueron: pH entre 6.42 a 7.9, T°19±4°C, caudal

(Q) de 15.2 L/h y un tiempo de retención hidráulica de (TRH) de 3.7 h. Para evaluar la eficiencia de remoción de los elementos contaminantes se realizó el análisis al agua residual antes y después del tratamiento con el vermifiltro; para los siguientes parámetros DBO, DQO, SST, PT y NT logrando porcentajes de remoción para DBO, DQO, SST de: 94.5%, 90.4% y 93.9% para el medio filtrante hecho de piedras; 96.8%, 92.2% y 97.5% para el medio filtrante hecho de tapas de PET y 95.1%, 91.7% y 97.0% para el medio filtrante hecho de esponja de poliuretano, respectivamente; concluyendo que el medio filtrante hecho de tapas de PET presento una alta reducción en la materia orgánica.

1.5.2. Nacionales

Según Romero (2022). En su investigación “Eficiencia del sistema Tohá en la depuración de efluentes del camal municipal de la ciudad de Bagua, Amazonas 2021”, se propuso como objetivo determinar la eficiencia del sistema Tohá en depurar las aguas residuales del camal municipal de la ciudad de Bagua, a través de dos Lombrifiltros constituidos por lombrices roja californiana (*Eisenia foetida*) y lombrices de tierra (*Lumbricus terrestris*). Para lo cual diseñó dos Lombrifiltros conformados por las siguientes capas: 15 cm de bolones de piedra en la base, 10 cm de grava, 10 cm de grava pequeña, 5 cm de arena, 10 cm de aserrín y 15 cm de tierra fértil. En esta última capa se inocularon las lombrices después de haber sido adaptadas durante siete días. Así mismo, cada capa estuvo separada con una malla rashel; los lombrifiltros operaron con un tiempo de riego de 1 m³/m²/día y un caudal de entrada de 0.014 m³/s, llegando a obtener como resultado que el lombrifiltro con el tratamiento de lombrices rojas californiana (*Eisenia foetida*), es más eficiente en la remoción de contaminantes que el tratamiento con lombrices de tierra (*Lumbricus terrestris*), al haber logrado un porcentaje de remoción superior de DBO₅, DQO,

solidos sedimentables, solidos suspendidos, nitratos, pH y aceites y grasas de 42,56%, 40.12%, 24.31%, 26.73% y 25.49% 2.41 % y 27.89% respectivamente.

Según Medina y Vega (2021), en su investigación titulada “Tratamiento del agua contaminada del canal de riego Surco, con la intervención de la lombriz **Eisenia foetida**, Surco, 2021”, planteó como objetivo tratar el agua contaminada del canal de riego Surco, empleando un sistema alternativo que es el sistema Tohá, con la intervención de la lombriz roja californiana **Eisenia foetida**; diseñó su experimento con tres Lombrifiltros multicapa (5 cm arena fina como base, 5 cm de grava, 5 cm de aserrín y 5 cm de tierra orgánica en la parte superior), con densidades de lombrices de 10, 20 y 30 lombrices/m³, operados bajo un caudal de 250 l/día, con una carga hidráulica de 1 m³/m²/día y diferentes tiempos de retención hidráulica (15, 30 y 45 días). Determinó que después del tratamiento las concentraciones de DBO₅ y DQO para el lombrifiltro operado con 30 lombrices/m³, con caudal de entrada de 250 l/día y un tiempo de retención hidráulica de 45 días fueron 13.62 mg/l y 34.27 mg/l respectivamente. Logrando la mayor eficiencia de remoción de materia orgánica, 47% (DBO₅) y 44% (DQO), en comparación con los demás tratamientos. Al reducir las concentraciones iniciales DBO (25.7 mg/l) y DQO (61.2 mg/l) de las aguas residuales.

Según Rivero (2021), en su investigación titulada: Eficiencia del sistema Tohá y canal de fitodepuración en la reducción de la DBO₅, DQO y SST de aguas residuales provenientes del camal municipal de la Provincia de Calca – Cusco 2021 se planteó determinar la eficiencia del Sistema TOHÁ y canal de fitodepuración en la reducción de la DBO₅, DQO y SST de aguas residuales provenientes del camal Municipal de la Provincia de Calca – Cusco – 2021, para lo cual empleo un sistema combinado de filtración consistente en un canal de fitodepuración y un vermifiltro (TOHÁ), donde evaluó la eficiencia de remoción de contaminantes del agua mediante los parámetros DBO₅, DQO y SST, en tal

sentido realizó un análisis de las aguas residuales antes y después de recibir el tratamiento con el sistema de filtración combinado llegando a obtener que el sistema de vermifiltro reduce la DBO₅, DQO y SST con una eficiencia superior al 79 %, 77 % y 86 % respectivamente.

Según Barragán y Espinoza (2019), en su investigación titulada “Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domesticas” se planteó como objetivo evaluar la eficiencia del vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno en la remoción de la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas. En sus ensayos experimentales trabajó con diferentes caudales (553, 708 y 1005 ml/min) y tiempos de retención hidráulica (4.97, 7.07 y 9.04 h), por cada lombrifiltro inoculado con distintas densidades de lombrices (0, 5000 y 10000 lombrices *Eisenia foetida*/m³), determinó que las concentraciones de DBO₅ y DQO de las aguas residuales en la entrada del lombrifiltro fueron 179 mg/l y 484 mg/l respectivamente y las concentraciones de DBO₅ y DQO a la salida del lombrifiltro fueron 9.8 mg/l y 25 mg/l; para el lombrifiltro operado con 10000 lombrices/m³ caudal de entrada de 553 ml/min y un tiempo de retención hidráulica de 9.03 h. logrando bajo estas condiciones la mayor eficiencia de remoción de materia orgánica 94.5% (DBO₅) y 94.8% (DQO) en comparación con los demás tratamientos.

Según Bermúdez (2019), en su investigación titulada “Tratamiento de agua residual del camal municipal de Chimbote, usando un Biofiltro de lombrices para el riego de parques y jardines se planteó como objetivo tratar el agua residual del camal municipal de Chimbote mediante el uso del Biofiltro de lombrices. La presente investigación consistió en realizar un análisis previo a las muestras de aguas residuales del camal para determinar la concentración inicial de DBO₅, DQO, nitratos, solidos totales disueltos, coliformes termo tolerantes, pH,

aceites, grasas y Turbidez para luego ser tratado mediante un vermifiltro y proceder a medir su concentración final, de esta manera evaluar la eficiencia del vermifiltro en la remoción de contaminantes del agua. Se determinó que el vermifiltro de lombrices demostró una efectiva remoción en todos los parámetros analizados alcanzando porcentajes que pasan el 50% de efectividad con la utilización de la lombriz *Eisenia foetida* (lombriz roja californiana), con respecto a los parámetros demanda biológica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO) encontró eficiencias de remoción de 81.36% y 80.82% respectivamente.

1.6. Bases teóricas

El sistema Tahó o más conocido como lombrifiltro es un método aeróbico percolador utilizado para el tratamiento de aguas residuales, el cual tiene un lecho filtrante compuesto por varios estratos por donde circula las aguas residuales. En el estrato superior se colocan lombrices que se encargan de la degradación de la materia orgánica (Sistema Tohá, s.f.). El primer estrato o base del lombrifiltro está compuesto de bolones de piedra, el segundo lo conforma una capa de ripio o grava, como tercer estrato hay una capa de aserrín de madera blanca sobre el cual reposan las lombrices y microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica presentes en el agua residual. La materia orgánica les sirve de alimento a las lombrices para obtener o producir energía. Al termino del proceso digestivo de la lombriz éste elimina deyecciones que se conoce con el nombre de humos, el cual puede ser retirado para abonar el suelo.(Quille, 2017).

Según Bravo (2019), menciona que las condiciones adecuadas de operación en el lombrifiltro se producen cuando las lombrices *Eisenia foetida* actúan en el medio filtrante a una temperatura de 20 °C, pH neutro, baja iluminación y una humedad no mayor a 80 °C. Las lombrices bajo condiciones de humedad elevada, disminuyen la producción de humus, retrasan su reproducción y sufren por la falta de oxígeno. Por otro lado, en condiciones de

temperatura y pH inadecuados, las lombrices inhiben su actividad sexual, desarrollo evolutivo y baja la productividad de humus.

Tabla 1

*Rangos de operación y sobrevivencia lombriz **Eisenia foetida***

Parámetro	Optimo	Adecuado	Inadecuado
Temperatura (°C)	20	15-24	<5; >37
Humedad (%)	75	70-80	<70; >85
Ph	6.5-7.5	6-8	<4.5; >8.5

Según Singh et al. (2017), establece que hay tres formas de alimentar el agua residual al vermifiltro una de ellas es la alimentación continua, la cual es la más simple y común, consiste en el paso constante del agua residual por el lecho filtrante, la otra manera de alimentar el vermifiltro es mediante batch o lote proceso secuencial en el cual el agua residual se vierte y se retiene en el lecho filtrante por un determinado tiempo para luego ser drenado completamente y continuar con el mismo procedimiento. Por último, se tiene la alimentación del agua residual de manera intermitente, en el cual el agua residual se inunda y se drena periódicamente facilitando la aireación.

Así mismo, menciona que la alimentación continua después de largo periodo de operación presenta una reducción del oxígeno disuelto debido a la acción microbiana lo que implica menor eficiencia en la reducción de la materia orgánica y nutrientes necesitando aireación asistida para mejor su eficiencia. La máxima eficiencia de operación del vermifiltro se logra mediante periodos secos del lecho filtrante debido a que permite la entrada de oxígeno lo que genera la oxidación de la materia orgánica. Otro factor que contribuye es la

destrucción endógena de las biopelículas que se forman, lo cual reduce la obstrucción del lecho filtrante recuperando su porosidad.

Por otro lado, Singh et al. (2017) indica que para lograr un adecuado diseño y operación del vermifiltro se requiere tener en consideración la adecuada selección de los siguientes parámetros: Tasa de retención hidráulica (HRT), tasa de carga o flujo hidráulico (HLR), selección de lombrices, materiales utilizados en la preparación de lombrices, altura de lombrices y densidad de población de lombrices.

Además, define la tasa de carga hidráulica ($m^3/m^2 \cdot día$) como la cantidad de agua residual a tratar por metro cuadrado de superficie de lecho filtrante, en un tiempo determinado indica que la selección adecuada de la tasa de carga hidráulico es importante ya que al seleccionar una tasa demasiado alta generaría la inundación del lecho filtrante aumentando la humedad. Así mismo, produciría una mayor infiltración reduciendo el tiempo de retención hidráulica, por el contrario una baja tasa reduce la eficiencia del proceso.

Por otro lado, define el tiempo de retención hidráulica (HLR) como el tiempo en el que el agua residual a ser tratada está en contacto con las lombrices y microorganismos del lecho filtrante indicando que es en este tiempo en el que las lombrices y los microorganismos realizan los procesos físicos y químicos para la degradación de la materia orgánica y nutrientes lo que se traduce en la reducción de los parámetros de DBO_5 , DQO y sólidos disueltos totales (TDSS) en el agua residual.

Según Baumgartner (2013), la tasa de carga y tiempo de retención hidráulica se determinan con las siguientes formulas:

$$\text{Tasa de hidraulica (m/h)} = \frac{\text{Tasa de flujo volumétrico de agua residual (m}^3\text{)}}{\text{area (m}^2\text{)} \times \text{tiempo para fluir a traves del perfil (h)}}$$

$$\text{Tiempo de retención hidráulica (h)} = \frac{\text{Porosidad} \times \text{volumen del perfil del suelo (m}^3\text{)}}{\text{Tasa de flujo que atraviesa el filtro} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}$$

Además, recomienda que para concentraciones de DBO₅ entre 200 a 400 mg/L se debe emplear un tiempo de retención hidráulica de 30 a 40 minutos para reducir el DBO₅, DQO y TDSS, en caso de tratamiento de aguas residuales recomienda tasas de retención hidráulica de 1 a 2 horas debido a que se requiere la eliminación de patógenos, productos químicos tóxicos y concentración de metales.

Así mismo, indica que la población y densidad de lombrices antes del arranque del sistema debe ser entre 15000 a 20000 lombrices /m³ para que el tratamiento sea efectivo, las cuales irán aumentando y fluctuando conforme se opere el sistema. Además, menciona que una reducción en su densidad podría estar asociado a malas condiciones ambientales en el sistema.

Según Vargas – Machuca et al. (2007), menciona que en el mundo existe más 4400 especies de lombrices de tierra, pero solo media docena de ellas tienen capacidades para la degradación de la materia orgánica indicando que dentro de las especies más utilizadas por su eficiencia en la biodegradación de la materia orgánica tenemos a la *Eisenia foetida* y la *Eisenia Andrei*.



Figura 1

Lombrices de tierra a) Eisenia fétida; b) Eisenia Andrei.

Tabla 2

Comparación de algunos aspectos de la biología de las especies vermicompostadoras

Características	<i>Eisenia foetida</i>	Eisenia. Andrei
Color	Bandas marrones y beige	rojo
Tamaño de lombrices de tierra adultas	4-8 mm(D) x 50-100 mm (L)	4-8 mm(D) x 50-100 mm (L)
Peso promedio de adultos	0.55 g	0.55 g
Tiempo hasta la madurez (días)	28-30	21-28
Numero de cocones diarios	0.35-0.5	0.35-0.5
Tamaño promedio de cocones	4.85 mm x 2.82 mm	4.8 mm x 2.82 mm
Tiempo de incubación (días)	18-26	18-26
Viabilidad de eclosión (%)	73-80	72
Numero de lombrices por cocones	2.5-3.8	2.5-3.8
Autofecundación	+	+

Ciclo de vida (días)	45-51	45-51
Límites y temperatura optima	25°C (0°C-35°C)	25°C (0°C-35°C)
Límites y humedad optima	80%-85% (70%-90%)	80%-85% (70%-90%)

Wiki (2007), clasifica las industrias en 5 grupos de acuerdo con los contaminantes específicos que arrastran sus aguas residuales:

Industrias con efluentes principalmente orgánicos: Papeleras, Azucareras, Mataderos (Camales), curtidos, conservas, lecherías y subproductos, fermentación, fabricación de productos alimenticios (aceites y otros), bebidas, lavanderías; Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos: Refinerías y petroquímicas, coquerías, textiles, fabricación de productos químicos, varios; Industrias con efluentes principalmente inorgánicos: Limpieza y recubrimiento de metales, explotaciones mineras y salinas, fabricación de productos químicos, inorgánicos; Industrias con efluentes con materias en suspensión: Lavaderos de mineral y carbón, corte y pulido de mármol y otros minerales, laminación en caliente y colada continua; e Industrias con efluentes de refrigeración: centrales térmicas y nucleares. (p.17)

El Servicio Nacional de Sanidad Agraria (SENASA (2017), menciona que las aguas residuales en los camales son generadas durante el proceso de faenamiento de animales estableciendo que estas actividades están obligadas a tratarlas y que dependiendo de sus características físicas, químicas y biológicas podrán recibir un pretratamiento; tratamiento primario, secundario y de lodos. Además, menciona que el sistema de tratamiento a implementar debe contar con la autorización de la autoridad competente y debe tener la capacidad de tratar 500 litros por bovino, 350 litros por porcinos y 200 litros por las especies

de rumiantes menores indicando que las aguas no deben ser vertidas de ninguna manera al sistema de alcantarillado, sin antes recibir el tratamiento correspondiente que lo ajuste a las condiciones establecidas en las normas vigentes que regulan los vertimientos líquidos de estas actividades.

Según Flowen (2022), la producción y composición de las aguas residuales de un camal varían en función al tipo de carne a procesar ya sea de res oveja, ave, etc. Además, menciona que las principales fuentes de contaminación se deben a la presencia de sangre, heces, orina, grasas, residuos de alimentos y agua de limpieza, los cuales generan altas cargas orgánicas, nitrógeno total, fosforo, grasas y solidos suspendidos principalmente. Así mismo, indica que el tratamiento a implementar depende de la calidad de agua que se pretende conseguía manifestando que para camales de pequeña y mediana producción se requiere reducir la concentración de aceites y grasas como también los sólidos suspendidos. Por el contrario, menciona que para camales con mayor producción es necesario además la reducción en la concentración de DBO₅ y DQO.

López et al. (2017), divide los contaminantes del agua en categorías, tal como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Contaminantes presentes en las aguas residuales

Contaminantes de las aguas residuales

Microorganismos	Organismos patógenos	Riesgo para actividades
	como bacterias, virus y	acuáticas, baños y el
	huevos de helminto.	consumo de mariscos.

Materia orgánica biodegradable	Disminución del oxígeno disuelto en ríos, lagos y fiordos	Muerte de peces, olor.
Otros compuestos orgánicos	Detergentes, plaguicidas, grasas y aceites, colorante, solventes, fenoles, cianuro.	Efectos tóxicos, inconvenientes estéticos, bio-acumulación en la cadena alimenticia.
Nutrientes	Nitrógeno, fósforo, amoníaco	Eutrofización, agotamiento del oxígeno disuelto, efectos tóxicos.
Metales	Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni	Efectos tóxicos y bio-acumulación.
Otros compuestos inorgánicos	Ácidos, por ejemplo sulfuro de hidrógeno, bases	Corrosión. Efectos tóxicos.
Efectos térmicos	Agua caliente	Cambios en las condiciones de vida de la flora y fauna.
Olor (y gusto)	Sulfuro de hidrógeno	Inconvenientes estéticos, efectos tóxicos.
Radioactividad		Efectos tóxicos, acumulación.

Nota: en la tabla se muestra los contaminantes del agua, sus indicadores y efectos que producen.

Además, menciona que la materia orgánica es uno de los principales contaminantes de las aguas residuales y que por años esta se ha medido en función de la concentración de los parámetros DBO₅ y DQO.

Lazcano (2016), define la DBO₅ como la cantidad de oxígeno disuelto (OD) consumido por los microorganismos para la degradación de la materia orgánica carbonácea (DBO carbonácea: DBO₅C) e inorgánica (DBO nitrogenácea: DOB₅N) indica que es un procedimiento mediante el cual los microorganismos oxidan la materia orgánica y lo transforman en dióxido de carbono y agua.

Así mismo, describe el procedimiento para la determinación de la DBO₅ indicando que esta se lleva a cabo en laboratorio mediante la medición inicial de la concentración de OD en la muestra de agua o muestra diluida en un frasco de 300 ml para DBO. Luego la muestra se somete a un periodo de incubación durante cinco días a temperatura de 20 °C. Posteriormente, a la incubación se procede a medir la OD residual para el cálculo de la DBO₅ se efectúa la diferencia entre las concentraciones de OD final y OD inicial (después de cinco días) expresando el resultado en mg de oxígeno por litro de agua residual (mg/l), para López et al. (2017) la medición de la DBO₅ es un procedimiento lento y engorroso por las diluciones en serie que se deben de realizar a la muestra de agua.

Para Menéndez Gutiérrez & Pérez Olmo (2007), el parámetro de DQO brinda una medida más real de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en CO₂ y H₂O para lo cual, se hace uso de un oxidante fuerte. Además, menciona que el mejor método para la determinación de DQO es aquel cuyo resultado es igual o cercano al obtenido por el método de demanda teórica de oxígeno (DTO), indicando que este método es el estándar del dicromato, el cual utiliza una solución de dicromato de potasio a una concentración molar equivalente de 0.25%, en 50% de ácido sulfúrico utiliza como

catalizador al sulfato de plata quien acelera la reacción de oxidación, manifiesta que bajo estas condiciones la mayoría de los compuestos orgánicos son oxidados entre 90 y 100%. Determinando los compuestos degradables, los no degradables biológicamente y los compuestos inorgánicos reductores que son oxidados por el dicromato en medio ácido (anión cloruro, Cl^-).

La NTP 214.060.2016 (2016), establece dos tipos de muestras de agua: muestras puntuales y muestras compuestas. Así mismo, menciona que una muestra simple es aquellas que es recolectada en un lugar y tiempo específico y que refleja las circunstancias particulares del cuerpo de agua para el momento y sitio de su recolección. Además, la norma indica que para el análisis de los parámetros DBO_5 y DQO de las aguas residuales industriales se pueden tomar muestras puntuales o compuestas.

Con respecto a la ubicación del punto de muestreo, la norma en mención establece que se debe considerar las facilidades de acceso y las condiciones de seguridad laboral, el punto de monitoreo debe asegurar un flujo constante y homogéneo de los efluentes. Además, las dimensiones de punto de muestreo, deben ser las adecuadas para la toma de muestra representativa.

Por otro lado, la referida norma establece ciertas consideraciones a tener en cuenta para la conservación de las muestras puntuales y compuestas la cual se resume en la presente tabla.

Tabla 4

Consideraciones de preservación y tipo de recipiente para análisis de los parámetros considerados

Parámetro	Cantidad mínima (ml)	Tipo de recipiente	de Preservación/ conservación	Almacenamiento máximos recomendado	Observaciones
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	1000	Plástico o vidrio	Refrigerar a 6°C	≤ 48 h	Almacenar la muestra en un recipiente oscuro. Llenar el frasco completamente sin dejar burbujas de aire.
Demanda química de oxígeno (DQO)	100	Plástico o vidrio	Analizar antes posible o agregar H ₂ SO ₄ hasta llegar a un pH < 2, y refrigerar a 6°C	los 28 días	Preferentemente colectar las muestras en botellas de vidrio. Analizar las muestras inestables sin demora. De no poder evitar la demora antes del

análisis,
preservar la
muestra por
acidificación a
pH < 2

El DECRETO LEGISLATIVO N°1280 (2016), en su artículo 5 establece la prohibición de descargar en las redes de alcantarillado sanitario, sustancias o elementos extraños que contravengan las normas vigentes sobre la calidad de los efluentes; para ello, los usuarios del servicio de alcantarillado sanitario tienen prohibido descargar al sistema de alcantarillado sanitario, aguas residuales no domésticas que excedan los Valores Máximos Admisibles de los parámetros que establezca el Ente rector, excepto aquellos parámetros en los que el usuario no doméstico efectúe el pago adicional por exceso de concentración, conforme lo determinen las normas sectoriales y las normas de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, la contravención o incumplimiento de esta disposición ocasiona la suspensión de los servicios de saneamiento.

El DECRETO SUPREMO N° 010-2019-VIVIENDA (2019), tiene por objetivo establecer los parámetros de los Valores Máximos Admisibles (VMA) y regular el procedimiento para controlar las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario, con la finalidad de preservar las instalaciones, la infraestructura sanitaria, maquinarias, equipos de los servicios de alcantarillado sanitario e incentivar el tratamiento de las aguas residuales para disposición o reúso, garantizando la sostenibilidad de los sistemas de alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales; así como la disminución del riesgo sobre el personal del prestador de los servicios de saneamiento que tenga contacto con las descargas de aguas residuales no domésticas.

Así mismo, el numeral 11.1 del artículo 11 del mismo dispositivo legal, menciona que los laboratorios acreditados por el INACAL están facultados a efectuar la toma de muestra y el análisis de las descargas de aguas residuales no domésticas a fin de verificar el cumplimiento de los VMA establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento. Para dicho fin deben obtener el certificado de acreditación emitido por la Dirección de Acreditación del INACAL mencionando en el numeral 12.1 del artículo 12 que los laboratorios acreditados por el INACAL son responsables de efectuar la toma de muestra puntual y de efectuar el análisis de los parámetros establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento, en las descargas de aguas residuales no domésticas cumpliendo lo dispuesto en la Norma Técnica Peruana NTP 214.060.2016 “AGUAS RESIDUALES. Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado” en tanto no se contraponga con el presente Reglamento.

Por otro lado, en los artículos 13 y 14 del referido decreto supremo, se menciona que está permitida la descarga directa de aguas residuales no domésticas realizadas por el usuario no doméstico (UND) en el sistema de alcantarillado sanitario siempre que estas no excedan los VMA establecidos en los Anexos N° 1 y N° 2 del presente Reglamento, estas descargas no demandan el pago adicional o la suspensión temporal del servicio de agua potable y alcantarillado sanitario precisando que los UND cuyas descargas sobrepasen los VMA contenidos en el Anexo N° 1 del presente Reglamento efectúan el pago adicional por exceso de concentración conforme a las disposiciones establecidas por la SUNASS. Por el contrario, los UND están prohibidos de descargar aguas residuales no domésticas al sistema de alcantarillado sanitario que sobrepasen los VMA establecidos en el Anexo N° 2 del presente Reglamento.

En los Anexos N° 1 del Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA se establece los valores máximos admisibles para la DBO₅ y DQO de descargas de aguas residuales provenientes de usuarios no domésticos del sistema de alcantarillado, los cuales se describen a continuación:

Tabla 5

Valores máximos admisibles para DBO₅ y DQO para aguas residuales no domesticas

PARÁMETRO	UNIDAD	SIMBOLOGÍA	VMA	PARA DESCARGAS SISTEMA ALCANTARILLADO
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO ₅	500	
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	DQO	1000	

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA**2.1. Materiales instrumentos y métodos****2.1.1. Materiales e instrumentos****2.1.1.1. Unidad de estudio**

La unidad de estudio está ubicada en: La Av. Indoamérica. Sector Ramiro Prialé Mz. 11 Lote 2 del distrito de La Esperanza, Provincia de Trujillo, departamento de La Libertad, Perú

Tabla 6

Ubicación del camal municipal del distrito de la Esperanza

Punto de Monitoreo	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)
	Este	Norte	
Camal Municipal San Luis	715088.8	9108453.8	131

2.1.1.2. Población y muestra**2.1.1.2.1 Población**

La población está representada por la cantidad volumétrica de agua residual por día de trabajo ($m^3/día$), que produce el camal del distrito de la Esperanza, el cual es de $34.5 m^3/día$.

2.1.1.2.2 Muestra y muestreo

La muestra estuvo conformada por 20 litros de agua residual del camal municipal de la Esperanza, cuyo volumen se obtuvo mediante la mezcla de cuatro muestreos puntuales de cinco litros realizados durante el horario en que el faenamiento de animales en el camal era

mayor, esta acción cumplió con los lineamientos de la Norma Técnica Peruana NTP 214.060.2016.

2.1.1.2.3 Método de muestreo

Se empleó el método de muestreo discrecional (o muestreo por juicio) toda vez que se pretendió tomar las muestras bajo las condiciones más críticas de contaminación por materia orgánica, hecho que sucedió cuando el faenamiento de animales en el camal era mayor.

2.1.1.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

2.1.1.3.1 Eficiencia de remoción de materia orgánica

- Técnica: Observación
- Instrumento: Ficha de recolección de datos (Ver Tabla 12)

2.1.2. Métodos

2.1.2.1. Enfoque de estudio

Según el enfoque de estudio es una investigación cuantitativa, toda vez que medirá la concentración de DBO y DQO5 de las aguas residuales del camal antes y después del tratamiento permitiendo cuantificará la remoción de materia orgánica. Así mismo, tiene un enfoque cuantitativo por que pretende probar las hipótesis propuestas mediante análisis estadístico, comparando tres tratamientos para determinar la densidad optima de lombrices que permita la mayor remoción de la materia orgánica en el agua residual (Hernández-Sampieri & Torres, 2018).

2.1.2.2. Tipo de investigación

2.1.2.2.1 Según el conocimiento que se persigue:

Investigación Aplicada, debido a que los resultados obtenidos de esta investigación se podrán aplicar al tratamiento de las aguas residuales por la técnica de vermifiltración con la finalidad de optimizar sus procesos (Nieto, 2018).

2.1.2.2.2 Según la planificación en las mediciones o recolección de datos:

Investigación prospectiva porque la recolección de los datos de las concentraciones de DBO y DQO5 de las aguas residuales se realizaron una vez que se puso en marcha el experimento. Por otro lado, al ser una investigación experimental esta es prospectiva (Martínez & Hernández, 2021).

2.1.2.2.3 Según el número de mediciones en un determinado tiempo:

Investigación Transversal porque se registra la información de la concentración de DBO y DQO5 en un tiempo determinado. Antes y después del tratamiento con distintas densidades de lombrices para posteriormente determinar la eficiencia de remoción de materia orgánica de las aguas residuales (Pérez et al., 2020).

2.1.2.2.4 Según la intervención del investigador:

Investigación Experimental Puro, porque se realizó la manipulación de la variable independiente, densidad de lombrices del lombrifiltro representada por tres tratamientos, a fin de observar cambios en la variable dependiente, eficiencia de remoción de materia orgánica expresada en porcentaje de DBO y DQO5 (González, 2009).

2.1.2.3. Diseño de investigación

La investigación corresponde a un diseño Experimental Puro con dos grupos aleatorizados, con pre y post prueba.

Tabla 7

Diseño experimental puro

	Grupo	Pre prueba	V. Independiente	Post prueba
(R)	E	O ₁	X	O ₂
(R)	C	O ₁	(-)	O ₂

R: asignación aleatoria

E: Grupo experimental, está representado por las muestras de 1000 ml de agua residual para el análisis de DBO₅ y 100 ml para el análisis de DQO, las cuales se someterán a una pre prueba y postprueba.

C: Grupo de control, está representado por las muestras de 1000 ml de agua residual para el análisis de DBO₅ y 100 ml para el análisis de DQO, las cuales se someterán a una pre prueba y postprueba. A estas muestras no se le aplicó tratamiento.

X: Es el tratamiento, condición experimental o variable experimental está representado por la densidad de lombrices *Eisenia foetida*.

O: Observación y medición de las muestras de agua residual antes y después del tratamiento.

(-): Ausencia de tratamiento.

2.1.2.4. Procedimiento de recolección de datos

2.1.2.4.1 Ubicación del punto de monitoreo

Para la ubicación del punto de monitoreo se tuvo en cuenta los lineamientos para la toma de muestras establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP 214.060.2016 “AGUAS RESIDUALES, protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado”.

Tabla 8

Ubicación del punto de monitoreo de los efluentes líquidos del camal la Esperanza

Punto de monitoreo	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)
	Este	Norte	
CE-1	715076.5	9108504.4	131

2.1.2.4.2 Recolección de muestras de aguas residuales

Se realizó la toma de muestra puntual de las aguas residuales del camal de la Esperanza en el punto de monitoreo especificado, esta acción se efectuó en el horario en que el faenamiento de animales es mayor, consistió en recolectar en cuatro baldes de 20 litros un total de 80 litros de aguas residuales; para luego ser trasladados al área de tratamiento piloto, esta acción cumplió con los lineamientos de la Norma Técnica Peruana NTP 214.060.2016.

2.1.2.4.3 Tratamiento de las aguas residuales del camal

En el área de tratamiento piloto, las aguas residuales recolectadas del camal se filtraron mediante el uso de una malla raschel, con la finalidad de retirar residuos orgánicos de mayor tamaño, luego se procedió a homogenizar las aguas residuales mezclándolas en un bidón de 80 litros.

En seguida, de los 80 litros de aguas residuales se tomó dos muestras de agua de un volumen de 1000 ml y 100 ml para los análisis de DBO y DQO respectivamente los cuales fueron realizados en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Trujillo. El volumen restante de las aguas residuales se vertió en los tanques de almacenamiento llenando 20 litros de agua por cada tanque. Luego, se procedió a abrir las llaves de alimentación regulando el caudal de salida a 13.3 ml/min en cada uno de los cuatro sistemas de filtración.

Por consiguiente, se trató 20 l/día de agua residual en una área y volumen de capa vermifiltrante (Aserrín o viruta + suelo) de 0.075 m² y 0.009 m³ respectivamente con un tiempo de retención hidráulica (HRT) de 1.08 h y una tasa de carga hidráulica (HLR) de 0.011 m³/m²/h. A cada una de las cuatro unidades de filtración se lo alimentó con un caudal de aguas residuales de 800 ml/h (13.3 ml/min), mediante el uso de mangueras de venoclisis las mismas que cuentan con regulador de flujo.

Tabla 9

Parámetros de diseño y operación de la capa vermifiltrante

Parámetros	Unidad de control	Unidad de prueba		
Caudal de descarga = 0.0008 m ³ /h				
HLR= 0.011 m ³ /m ² /h				
Altura de la cama filtrante: 12 cm (120 mm)	V0	V1	V2	V3
HRT= 1.08 h.				
Volumen de la cama filtrante: 9000 cm ³ (0.009 m ³)				

Las aguas residuales que salían de cada sistema de tratamiento se recolectaron en recipientes, los cuales se ubicaron en la parte inferior y por debajo de los cuatro sistemas de tratamiento, estas aguas se vertieron en los frascos de toma de muestras para los parámetros DBO (1000 ml) y DQO (100 ml), este procedimiento de toma de muestras se realizó por triplicado por cada sistema de filtración (V0, V1, V2 y V3) etiquetando y rotulando cada

muestra para poder identificarlos y evitar confusiones. A Las muestras de DQO se les adicionó una solución de ácido sulfúrico hasta llegar a un pH menor 6, todas las muestras fueron conservadas en un cooler a temperatura menor a 6°C, para luego ser trasladadas al Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Trujillo, para su respectivo análisis.

Cabe precisar que, como actividades previas al tratamiento de las aguas residuales se efectuó el diseño del sistema de tratamiento, el cual estuvo compuesto por el tanque de almacenamiento de aguas residuales (capacidad 20 l), el recipiente que contiene el vermifiltro y sus demás capas (capacidad 20 l), el recipiente de recolección de agua residual tratada (capacidad 10 l) y las mangueras de conexión y goteo. El diseño del sistema de tratamiento fue replicado cuatro veces con la finalidad de realizar el experimento que consistió en una unidad de control (al cuál no se le inoculo las lombrices) y tres tratamientos a los que se le inoculó tres densidades de lombrices (10, 20 y 40 g/l) que corresponden a cantidades máxicas de lombrices de 86.4 g, 172.8 g y 345.6 g por litro de vermicomposta (capa vermifiltrante). Las densidades de lombrices para el estudio fueron seleccionadas en base a la investigación realizado por Lourenço y Nunes (2017).

Las capas que conformaron el vermifiltro empezando desde la base, estuvieron ubicadas en el siguiente orden: capa de agregado de 3/4 (19 mm), capa de agregado de 3/8 (9.5 mm), capa de arena (2.36 mm), malla raschel (1 mm) y una capa de mezcla de aserrín y suelo a razón de 1:3, sobre la cual se colocaron las lombrices, la composición y los espesores de las capas se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 10

Clases de capas del vermifiltro

Capa	Grosor y tamaño de la capa (cm)	Materiales			
		Unidad de prueba		Unidad de control	
		(V1,V2,V3)		(V0)	
Capa superior	12	Aserrín o viruta + suelo+ lombrices	Aserrín o viruta + suelo		
Capa intermedia	1 mm	Malla raschel	Malla raschel		
2da capa	3	Arena (2.36 mm)	Arena (2.36 mm)		
3era. capa	3	Agregado (9.5 mm)	3/8" (9.5 mm)	Agregado (9.5 mm)	3/8"
4ta. capa	4	Agregado (19 mm)	3/4" (19 mm)	Agregado (19 mm)	3/4"

Nota: La malla raschel se coloca entre la capa superior y la segunda capa para evitar que las lombrices puedan penetrar en la capa de arena.

Otra actividad que se realizó, previo al tratamiento de las aguas residuales fue el acondicionamiento de las lombrices de tierra, antes de su inoculación en el sistema de tratamiento, este procedimiento se llevó a cabo colocando 50 lombrices en un sustrato compuesto de tierra fértil y aserrín dentro de seis recipientes de plástico con base agujerada y cubierta de malla raschel; a los cuales se le roció mediante un frasco atomizador, una mezcla de agua residual y agua potable por tres veces al día durante de 7 días. Se empezó el primer día con una solución compuesta por 100 ml de agua residual aforado con agua potable a un volumen de 500 ml. Los días posteriores el volumen de agua residual de la mezcla fue

umentando en 200, 250, 300, 350, 400 y 500 ml. Además, se controló los parámetros de humedad, temperatura y pH.

Culminado los siete días de adaptación, se evaluó la población actual en cada envase con la finalidad de comprobar su adaptabilidad.

2.1.2.4.4 Análisis de DBO₅ y DQO de las muestras

El análisis de las muestras de agua residuales antes y después del tratamiento en los cuatro sistemas se realizaron en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Trujillo, el cual utilizó las metodologías que se detallan en la tabla 11

Tabla 11

Métodos de análisis de los parámetros estudiados

Parámetros	Metodología
DBO ₅	
DQO	

2.1.2.4.5 Determinación de las eficiencias de remoción de materia orgánica

Teniendo los resultados del análisis de laboratorio se procedió al cálculo de las eficiencias de remoción de materia orgánica para los parámetros DBO₅ y DQO, para lo cual se utilizó las siguientes fórmulas matemáticas:

$$\frac{DBO5\ inicial - DBO5\ final}{DBO5\ inicial} * 100$$

$$\frac{DQO\ inicial - DQO\ final}{DQO\ inicial} * 100$$

Los resultados de los cálculos se re registraron en la tabla 12, para luego ser procesados y analizados estadísticamente en la fase de presentación de resultados.

Tabla 12

Ficha de recolección de datos

Densidad de lombrices (g/l)	Repeticiones de tratamiento	DQO inicial mg/l	DQO final mg/l	Eficiencia de remoción (%)	DBO ₅ inicial mg/l	DBO ₅ final mg/l	Eficiencia de remoción (%)
0	E1						
	E2						
	E3						
10	E1						
	E2						
	E3						
20	E1						
	E2						
	E3						
40	E2						
	E3						
	E1						

2.1.2.5. Análisis estadístico

Para validar nuestros resultados se utilizó el análisis de varianza simple (ANOVA de un solo factor) con un nivel de significancia de 0.05 para determinar la existencia de igualdad entre las eficiencias medias de remoción de materia orgánica de las aguas residuales del camal obtenidas en cada tratamiento al inocular distintas densidades lombrices *Eisenia foetida* (0 g/ ml, 10 g/ ml, 20 g/ ml, 40 g/ ml), en el lombrifiltro.

Al encontrar diferencias significativas entre las eficiencias medias de remoción de materia orgánica de cada tratamiento se procedió a utilizar la prueba de Tukey con nivel de significancia de 0.05, con la finalidad de determinar las diferencias significativas entre cada par de eficiencias medias de remoción de materia orgánica por tratamiento y de esta manera se encontró la densidad de lombrices optima que debe inocularse al lombrifiltro para lograr la mayor remoción de materia orgánica.

Para la realización de las pruebas estadísticas antes mencionadas se utilizó el complemento Real Statistics en EXCEL 2016.

2.1.2.6. Consideraciones éticas

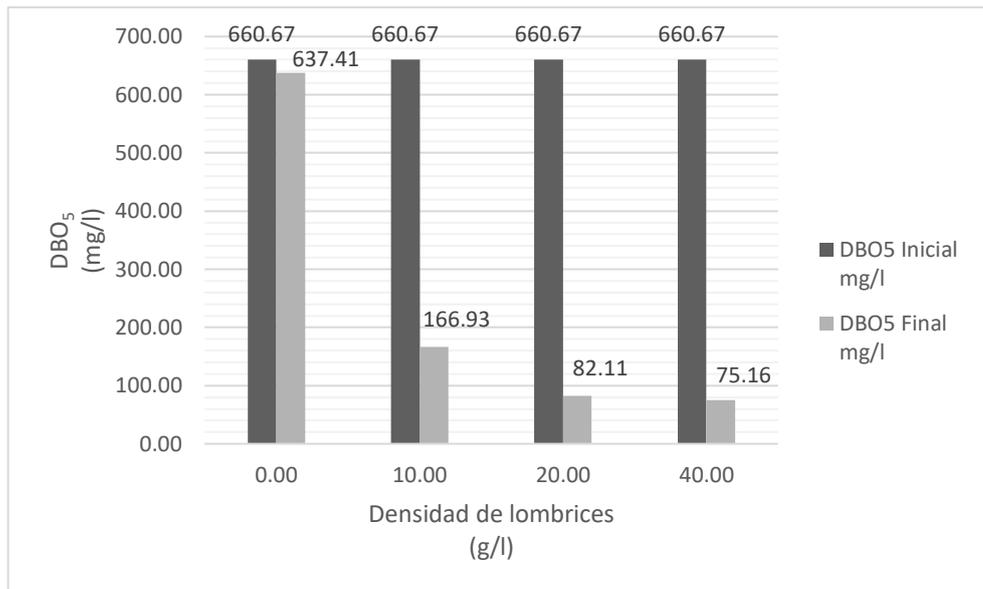
La presente investigación manejó la información registrada con honestidad en base a principios éticos y morales del investigador a fin de garantizar el uso exclusivo de dicha información para los fines que requiera la investigación, exponiendo datos y resultados de manera real y veraz.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Carga orgánica en los efluentes del camal

Figura 2

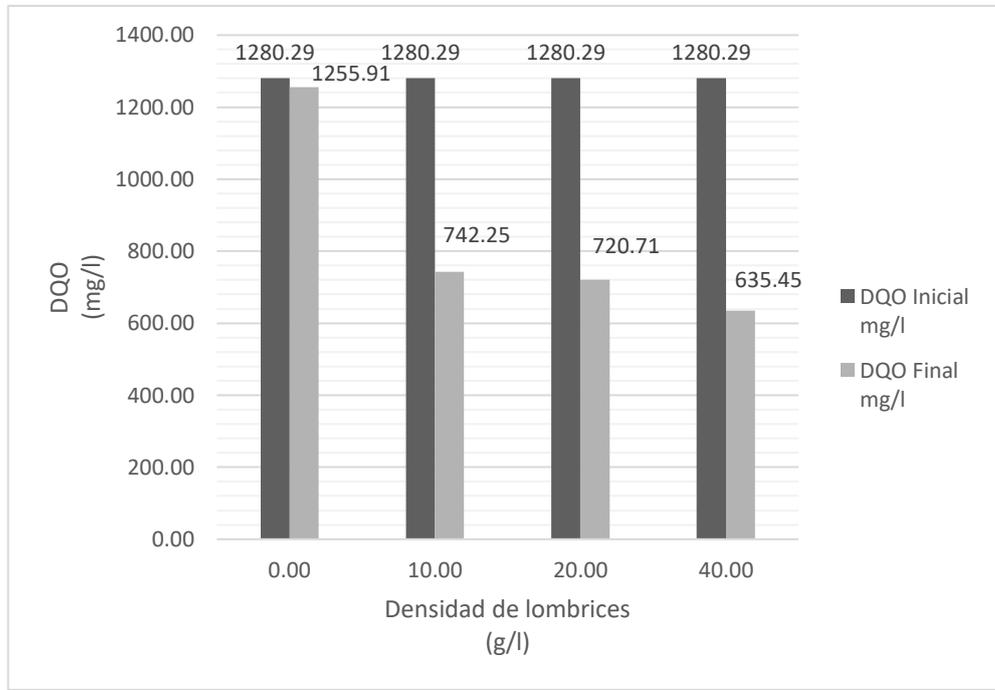
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) como indicador de carga orgánica en los efluentes del camal antes y después del tratamiento



En la figura 2, se observa que la concentración de DBO₅ en las aguas residuales del camal antes de aplicar el tratamiento fue de 660.67 mg/l, y después de aplicar el tratamiento con diferentes densidades de lombrices (0, 10, 20 y 40 g/l), las concentraciones de DBO₅ en las aguas residuales disminuyeron a 637.41 g/l, 166.93 g/l, 82.11 g/l y 75.16 g/l respectivamente evidenciando que los tratamientos con distintas densidades de lombrices logran concentraciones de DBO₅ por debajo del valor máximos admisible de 500 mg/l para descargas de aguas residuales provenientes de usuarios no domésticos del sistema de alcantarillado.

Figura 3

Demanda química de oxígeno (DQO) como indicador de carga orgánica en los efluentes del camal antes y después del tratamiento

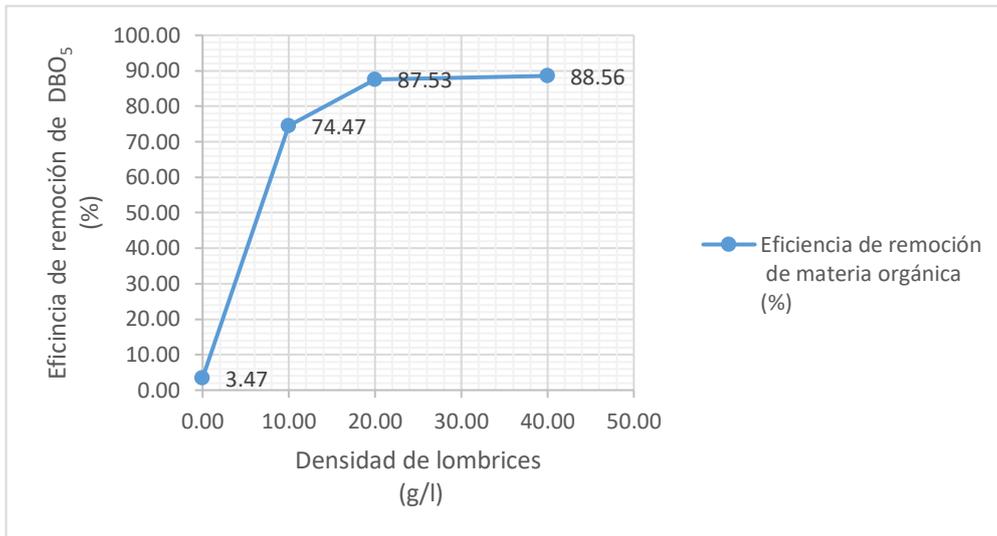


En la figura 3, se observa que la concentración de DQO en las aguas residuales del camal, antes de aplicar el tratamiento fue de 1280.29 mg/l y después de aplicar el tratamiento con diferentes densidades de lombrices (0, 10, 20 y 40 g/l), las concentraciones de DQO disminuyeron a 1255.91 g/l, 742.25 g/l, 720.71 g/l y 635.45 g/l respectivamente evidenciando que los tratamientos con distintas densidades de lombrices logran concentraciones de DQO por debajo del valor máximos admisible de 1000 mg/l para descargas de aguas residuales provenientes de usuarios no domésticos del sistema de alcantarillado.

3.2. Eficiencia de remoción de la carga orgánica en los efluentes del camal

Figura 4

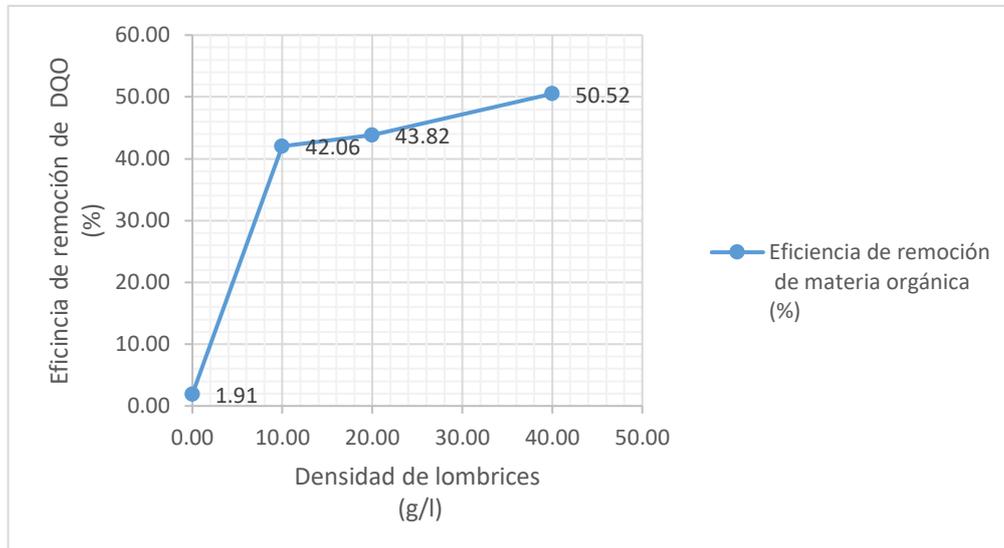
Eficiencia de remoción de materia orgánica expresado como DBO₅ respecto a cada tratamiento.



En la figura 4, se observa que el tratamiento de las aguas residuales del camal sin la inoculación de lombrices (0 g/l) logra una eficiencia de remoción de la DBO₅ en 3.47 % pero después de aplicar los tratamientos con diferentes densidades de lombrices (10, 20 y 40 g/l) se logra un aumento en la eficiencia de remoción de la DBO₅ alcanzando valores de 74.47%, 87.53% y 88.56% respectivamente. Además, se evidencia que la mayor remoción de materia orgánica expresada como DBO₅ se obtiene con el tratamiento con densidad de lombrices de 40 g/l.

Figura 5

Eficiencia de remoción de materia orgánica expresado como DQO respecto a cada tratamiento



En la figura 5, se observa que el tratamiento de las aguas residuales del camal sin la inoculación de lombrices (0 g/l) logra una eficiencia de remoción de la DQO en 1.91 % pero después de aplicar los tratamientos con diferentes densidades de lombrices (10, 20 y 40 g/l) se logra un aumento en la eficiencia de remoción de la DQO alcanzando valores de 42.06 %, 43.82 % y 50.52 % respectivamente. Además, se evidencia que la mayor remoción de materia orgánica expresada como DQO se obtiene con el tratamiento con densidad de lombrices de 40 g/l.

3.3. Densidad óptima de lombrices californianas en el sistema de tratamiento

Se inició determinando si entre los tratamientos con diversas densidades de lombrices (0, 10, 20 y 40 g/l) aplicados al lombrifiltro, existe diferencias significativas en las medias de las eficiencias de remoción de materia orgánica expresada en los parámetros de DBO₅ y DQO para lo cual se utilizó la prueba estadística de ANOVA de un factor verificando

previamente que los datos de cada tratamiento presenten distribución normal bajo la prueba de Shapiro Wilk y además cumplan con el criterio de homocedasticidad del test de Levene.

Una vez determinado la existencia de diferencias significativas entre las medias de los tratamientos, se precedió a utilizar la prueba de Tukey con la finalidad de determinar las diferencias significativas en cada par de medias de las eficiencias de remoción de materia orgánica correspondiente a los tratamientos con distintas densidades de lombrices (0, 10, 20 y 40 g/l) utilizadas el lombrifiltro, y de esta manera encontrar el tratamiento óptimo que posibilite la mayor remoción de materia orgánica expresado con DBO_5 y DQO.

3.3.1. Análisis estadístico de la remoción de materia orgánica, DBO_5

Prueba de hipótesis con ANOVA

a) Hipótesis

$H_0: \mu_0 = \mu_{10} = \mu_{20} = \mu_{40}$. Las medias de las eficiencias de remoción de materia orgánica de las aguas residuales son iguales para los tratamientos con distintas densidades de lombrices (0, 10, 20 y 40 g/l) en el lombrifiltro.

$H_1: \mu_0 \neq \mu_{10} \neq \mu_{20} \neq \mu_{40}$. Las medias de las eficiencias de remoción de materia orgánica son diferentes para los tratamientos con distintas densidades de lombrices (0, 10, 20 y 40 g/l) en el lombrifiltro.

b) Nivel de significancia, $\alpha = 0.05$

c) Valor de probabilidad

Hallamos el valor de probabilidad p con el complemento Real Statistics en EXCEL 2016.

Tabla 13

Análisis de varianza de los promedios de eficiencia de remoción de materia orgánica expresado en DBO₅, con relación a las distintas densidades de lombrices

ANOVA

Sources	SS	df	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE	Omega Sq
Between Groups	14789.2278	3	4929.74261	170.155454	1.3864E-07	0.98456988	7.53116755	0.97689937
Within Groups	231.775944	8	28.971993					
Total	15021.0038	11	1365.5458					

d) Decisión y conclusión

Como el valor de probabilidad $p = 1.3864 \text{ E-}07$ es menor que el valor de significancia $\alpha = 0.05$, esto nos obliga a rechazar la hipótesis nula y aceptar la alterna. En conclusión, se puede decir que para un nivel de confianza del 95%, las medias de las eficiencias de remoción de materia orgánica son diferentes para los tratamientos con distintas densidades de lombrices (0, 10, 20 y 40 g/l) en el lombrifiltro.

Test de Tukey

Tabla 14

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para los promedios de eficiencia de remoción de materia orgánica expresado en DBO₅ con relación a las 4 densidades de lombrices.

Q TEST

groe 1	group 2	mean	std err	q-stat	lower	upper	p-value	mean-crit	Cohen d
0 g/l	10 g/l	71.0025541	3.10762466	22.8478539	56.928122	85.0769862	1.0296E-06	14.0744321	13.1912146
0 g/l	20 g/l	84.0645893	3.10762466	27.0510756	69.9901573	98.1390214	2.81E-07	14.0744321	15.6179458
0 g/l	40 g/l	85.0915973	3.10762466	27.3815556	71.0171653	99.1660294	2.5546E-07	14.0744321	15.8087485
10 g/l	20 g/l	13.0620352	3.10762466	4.20322165	-1.01239683	27.1364673	0.06918569	14.0744321	2.42673115
10 g/l	40 g/l	14.0890432	3.10762466	4.53370172	0.01461118	28.1634753	0.04975725	14.0744321	2.61753391

En la tabla 14, se observa que al realizar las comparaciones entre las medias de cada par de tratamientos 0 y 10 g/l, 0 y 20 g/l, y 0 y 40 g/l se evidencia que el valor de probabilidad p para cada comparación, es menor que el valor de significancia $\alpha = 0.05$. Por lo tanto, existe estadísticamente diferencias significativas entre las medias de cada par de tratamientos comparados concluyendo que al inocular 10, 20 y 40 g/l de lombrices en el Lombrifiltro se logrará una mayor remoción de materia orgánica (74.47%, 87.53% y 88.56% respectivamente) con respecto al tratamiento en el que no se colocó lombrices de tierra, el cual removió el 3.47% de materia orgánica de las aguas residuales del camal mayor eficiencia de remoción de materia orgánica de las aguas del camal, se logra inoculando en el lombrifiltro una densidad de lombrices de 40 g/l. Toda vez que, este tratamiento obtuvo la mayor eficiencia de remoción de materia orgánica (88.56%) con respecto a los demás tratamientos.

3.3.2. Análisis estadístico de la remoción de materia orgánica, DQO

Prueba de hipótesis con ANOVA

a) Hipótesis

$H_0: \mu_0 = \mu_{10} = \mu_{20} = \mu_{40}$. Las medias de las eficiencias de remoción de materia orgánica de las aguas residuales son iguales para los tratamientos con distintas densidades de lombrices (0, 10, 20 y 40 g/l) en el lombrifiltro.

$H_1: \mu_0 \neq \mu_{10} \neq \mu_{20} \neq \mu_{40}$. Las medias de las eficiencias de remoción de materia orgánica son diferentes para los tratamientos con distintas densidades de lombrices (0, 10, 20 y 40 g/l) en el lombrifiltro.

b) Nivel de significancia, $\alpha = 0.05$

c) Valor de probabilidad

Hallamos el valor de probabilidad p con el complemento Real Statistics en EXCEL 2016.

Tabla 15

Análisis de varianza de los promedios de eficiencia de remoción de materia orgánica expresado en DQO con relación a las distintas densidades de lombrices

ANOVA								
Sources	SS	df	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE	Omega Sq
Between Groups	4388.9034	3	1462.9678	66.9709509	5.21E-06	0.96170652	4.72479103	0.94283342
Within Groups	174.758492	8	21.8448115					
Total	4563.6619	11	414.878354					

d) Discusión y conclusión

Como el valor de probabilidad $p = 5.21 \text{ E-}06$ es menor que el valor de significancia $\alpha = 0.05$, esto nos obliga a rechazar la hipótesis nula y aceptar la alterna. En conclusión, se puede decir que para un nivel de confianza del 95%, las medias de las eficiencias de remoción de materia orgánica son diferentes para los tratamientos con distintas densidades de lombrices (0, 10, 20 y 40 g/l) en el lombrifiltro.

Test de Tukey

Tabla 16

Prueba de comparaciones múltiples de Tukey para los promedios de eficiencia de remoción de materia orgánica expresado en DQO con relación a las 4 densidades de lombrices.

Q TEST									
group 1	group 2	mean	std err	q-stat	lower	upper	p-value	mean-crit	Cohen d
0 g/l	10 g/l	40.1557028	2.69844471	14.8810545	27.9344467	52.3769589	2.707E-05	12.2212561	8.59158083
0 g/l	20 g/l	41.9162736	2.69844471	15.5334936	29.6950175	54.1375297	1.9623E-05	12.2212561	8.96826671
0 g/l	40 g/l	48.6108149	2.69844471	18.0143824	36.3895588	60.832071	6.3822E-06	12.2212561	10.4006085
10 g/l	20 g/l	1.76057078	2.69844471	0.65243908	-10.4606853	13.9818269	0.96545048	12.2212561	0.37668588
10 g/l	40 g/l	8.45511212	2.69844471	3.13332791	-3.76614397	20.6763682	0.19856821	12.2212561	1.80902771
20 g/l	40 g/l	6.69454134	2.69844471	2.48088883	-5.52671475	18.9157974	0.35906803	12.2212561	1.43234183

En la tabla 16, se observa que al realizar las comparaciones entre las medias de cada par de tratamientos 0 y 10 g/l, 0 y 20 g/l, y 0 y 40 g/l se evidencia que el valor de probabilidad p para cada comparación, es menor que el valor de significancia $\alpha= 0.05$. Por lo tanto, existe estadísticamente diferencias significativas entre las medias de cada para de tratamientos comparados concluyendo que al inocular 10, 20 y 40 g/l de lombrices en el Lombrifiltro se logrará una mayor remoción de materia orgánica (42.06%, 43.82% y 50.52% respectivamente) con respecto al tratamiento en el que no se colocó lombrices de tierra, el cual removi6 el 1.91% de materia orgánica de las aguas residuales del camal mayor eficiencia de remoción de materia orgánica de las aguas del camal se logra inoculando en el lombrifiltro una densidad de lombrices de 40 g/l. Toda vez que, este tratamiento obtuvo la mayor eficiencia de remoción de materia orgánica (88.56%) con respecto a los demás tratamientos.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

Se encontró que la concentración de DBO₅ en las aguas residuales del camal era de 660.7 mg/l, evidenciando el alto contenido de materia orgánica presente en sus aguas, hecho que se valida al encontrar concentraciones que superaran el valor máximo admisible de 500 mg/l para DBO₅, establecido por Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA; después de su tratamiento a distintas densidades de lombrices (0, 10, 20 y 40 g/l) el agua residual disminuyó su concentración en DBO₅ a 637.41 a 166.93, 82.11 y 75.16 g/l. Esto se debió a la función que tiene la lombriz **Eisenia foetida** de degradar la materia orgánica la misma que es utilizada como alimento para la obtención de energía como lo mencionó Quille (2017). Estas reducciones en la concentración de DBO₅ se tradujo en una remoción del 3.47%, 74.47, 87.53 y 88.56 % de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Resultados que se acercan con los encontrados por Bermúdez (2019) y Rivero (2021) al remover el 81.36 % y 79% en DBO₅ respectivamente.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Así mismo, se determinó que la concentración de DQO en las aguas residuales del camal era de 1280.29 mg/l evidenciando el alto contenido de materia orgánica presente en sus aguas hecho que se valida al encontrar concentraciones que superaran el valor máximo admisible de 1000 mg/l para DQO establecido por Decreto Supremo N° 010-2019-VIVIENDA. Después de su tratamiento a distintas densidades de lombrices (0, 10, 20 y 40 g/l) el agua residual disminuyó su concentración en DQO a 1255.91, 742.25, 720.71 y 635.45 g/l, esto se debió a la función que tiene la lombriz **Eisenia foetida** de degradar la materia orgánica, la misma que es utilizada como alimento para la obtención de energía como lo

mencionó Quille (2017). Estas reducciones en la concentración de DBO_5 se tradujo en una remoción del 1.91 %, 46.06, 43.82 y 50.52 % de la materia orgánica presente en las aguas residuales. Resultados que se acercan con los encontrados por Miito (2021), Lourenco y Nunes (2017), Romero (2022), Medina y Vega (2021) al remover el 50 %, 53.6%, 40.12% y 44% en DQO respectivamente.

Por otro lado, la prueba de Tukey validó la hipótesis de investigación al determinar que el tratamiento con la mayor densidad de lombrices (40 g/l) fue la que provocó la mayor eficiencia de remoción de DBO_5 y DQO en el agua residual tratada.

Estos hechos se corroboraron con las investigaciones de realizadas por Barragán y Espinoza (2019), Mito (2021) y Medina y vega (2021) quienes encontraron las mayores eficiencias en remoción de DBO_5 y DQO con tratamientos que tenían las mayores densidades de lombrices.

Así mismo, la prueba Tukey verificó que los tratamientos a las aguas residuales con distintas densidades de lombrices presentaban deferencias significativas en sus eficiencias de remoción de DBO_5 y DQO en comparación con el tratamiento control, evidenciando de esta manera que las lombrices tienen una actuación importante en el tratamiento de aguas residuales con altos contenidos de materia orgánica.

Por otro lado, la prueba Tukey demostró estadísticamente que no hay diferencias en las eficiencias de remoción de DBO_5 y DQO de las aguas residuales para los tratamientos con densidades de lombrices de 20 y 40 mg/l. Estos resultados, se corroboran con los hallados por Mito (2021), quien encontró que en los tratamientos con mayores densidades de lombrices no se lograba entre ellas diferencias significativas de remoción de DQO.

Durante la realización del presente estudio se presentaron limitaciones que influyeron en el análisis e interpretación de los resultados. La cual, se debe a que la muestra de cada

tratamiento de densidad de lombrices fue pequeña (tres replicas por tratamiento). Por lo tanto, los resultados encontrados no pueden ser generalizados.

4.2. Conclusiones

Se determinó que las aguas residuales del camal municipal del distrito la Esperanza, tenían concentraciones elevadas de DBO₅ y DQO, que superaban los valores máximos admisibles. Luego de ser tratadas con distintas densidades de lombrices se llegó a reducir sus concentraciones por debajo de los valores máximos admisibles para descargas de aguas residuales provenientes de usuarios no domésticos del sistema de alcantarillado.

Se determinó eficiencias altas de remoción de la DBO₅ de 74.47%, 87.53% y 88.56 % al aplicar tratamientos con distintas densidades de lombrices (10, 20 y 40 mg/l), en comparación al 3.47% de eficiencia del tratamiento control (0 g/l). Así mismo, se determinó eficiencias altas de remoción de la DQO de 42.06%, 43.82% y 50.52 % al aplicar tratamientos con distintas densidades de lombrices (10, 20 y 40 mg/l) en comparación al 1.91% de eficiencia del tratamiento control (0 g/l).

Se determinó estadísticamente que el tratamiento con la densidad de lombrices de 40 g/l logra disminuir el mayor porcentaje de materia orgánica en las aguas residuales del camal municipal del distrito de La Esperanza.

REFERENCIAS

- Barragán Ponce, R., & Espinoza Fernández, A. M. (2019). *Eficiencia de vermifiltro asistido con biopelícula en polipropileno para remover la carga orgánica y material particulado en aguas residuales domésticas* [César Vallejo]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/40253/Espinoza_FA_M-Barragan_PR.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Baumgartner, R. (2013). *Developing a Testing Protocol for Vermifiltration-based Onsite Wastewater Treatment Systems (VOWTS)*. 60.
- Bermúdez, G. (2019). *Tratamiento de agua residual del camal municipal de Chimbote, usando un Biofiltro de lombrices, para el riego de parques y jardines* [San Pedro]. <file:///D:/tesis%20ahora/TESIS/BERMUDEZ.%20-%20NACIONAL.pdf>
- Bravo, M. (2019). *Diseño y evaluación del uso de lombrifiltro como alternativa al tratamiento de residuos líquidos industriales en el proceso de producción de carragenina* [Bío-Bío]. http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3456/3/Bravo_Marinni_Marcelo_Andr%c3%a9s.pdf
- Chagua, L., Condori, M., & Quispe, O. (2022). *Evaluación de la remoción de DBO y DQO presente en aguas residuales de camales, mediante el proceso de vermifiltración asistido con tapas PET y esponjas de poliuretano* [Peruana Unión]. https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/5420/Luz_Tesis_Licenciatura_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Decreto Legislativo que aprueba la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento-DECRETO LEGISLATIVO-N° 1280,* (2016).

<http://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-legislativo-que-aprueba-la-ley-marco-de-la-gestion-y-decreto-legislativo-n-1280-1468461-1/>

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

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

Flowen, P. por P. E. (2022, mayo 11). *Planta de tratamiento de aguas residuales para mataderos y plantas procesadoras de carne—Flowen*. <https://flowen.com.pe/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-para-mataderos-y-plantas-procesadoras-de-carne/>

González, H. D. L. (2009). *Metodología de la investigación: Propuesta, anteproyecto y proyecto* (4a ed.). Ecoe Ediciones. <https://ebookcentral.bibliotecaupn.elogim.com/lib/upnpe/detail.action?docID=3198406&query=metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n>

Hernández-Sampieri, R., & Torres, C. P. M. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. McGraw-Hill Interamericana. <https://ebookcentral.bibliotecaupn.elogim.com/lib/upnpe/detail.action?docID=5485814&query=SAMPIERI>

Lazcano, C. A. (2016). *Bioteología ambiental de aguas y aguas residuales (2a. Ed.)*. Ecoe Ediciones. <https://elibro.bibliotecaupn.elogim.com/es/ereader/upnorte/122526?page=276>

López, C., Buitrón, G., García, & Cervantes, F. (2017). *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales: Principios, Modelación y Diseño: Principios, modelación y diseño*. IWA

Publishing.

<https://ebookcentral.bibliotecaupn.elogim.com/lib/upnpe/reader.action?docID=5188465&query=Tratamiento+biol%C3%B3gico+de+aguas+residuales%3A+Principios%2C+modelaci%C3%B3n+y+dise%C3%B1o%3A+principios%2C+modelaci%C3%B3n+y+dise%C3%B1o>

Lourenço, N., & Nunes, L. M. (2017a). Optimization of a vermifiltration process for treating urban wastewater. *Ecological Engineering*, 100, 138-146.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.074>

Lourenço, N., & Nunes, L. M. (2017b). Optimization of a vermifiltration process for treating urban wastewater. *Ecological Engineering*, 100, 138-146.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.074>

Martínez, L. A. C., & Hernández, M. F. (2021). *Acerca del carácter retrospectivo o prospectivo en la investigación científica About the retrospective or prospective character in scientific research*. 4.

Medina, M., & Vega, J. (2021). *Tratamiento del agua contaminada del canal de riego Surco, con la intervención de la lombriz Eisenia foetida, Surco, 2021*. [César Vallejo].
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/84283/Medina_RMP-Vega_DJE-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Menéndez Gutiérrez, C., & Pérez Olmo, J. M. (2007). *Procesos para el tratamiento biológico aguas residuales*.
<https://elibro.bibliotecaupn.elogim.com/es/ereader/upnorte/152077?page=18>

Miito, G. J. (2021). *VERMIFILTRATION AS A LOW-COST NUTRIENT RECOVERY TECHNOLOGY FOR MANAGING DAIRY WASTEWATER*. 163.

Nieto, N. T. E. (2018). *TIPOS DE INVESTIGACIÓN*. 4.

Norma Técnica Peruana NTP 214.060.2016 “AGUAS RESIDUALES. Protocolo de muestreo de aguas residuales no domésticas que se descargan en la red de alcantarillado”, (2016). <https://doku.pub/documents/ntp-214060-muestreo-yl4zvyor85qr>

Organización de las Naciones Unidas. (2020, noviembre 26). *El agua, un recurso que se agota por el crecimiento de la población y el cambio climático*. Noticias ONU. <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484732>

Pérez, L., Pérez, R., & Seca, M. V. (2020). *Metodología de la investigación científica*. Editorial Maipue. <https://elibro.bibliotecaupn.elogim.com/es/ereader/upnorte/138497>

Quille, L. (2017). *Microorganismos eficaces y lombrifiltro para la remoción de residuos lácteos de la planta quesera “la bodeguilla – valle de Moquegua [Nacional del Altiplano]*. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/9483/Lenin_Quille_Quille.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rivero, A. (2021). *Eficiencia del sistema TOHÁ y Canal de Fitodepuración en la reducción de la DBO5, DQO y SST de aguas residuales provenientes del Camal Municipal de la Provincia de Calca – Cusco 2021 [César Vallejo]*. <file:///D:/tesis%20ahora/TESIS/RIVEROS%20-NACIONAL.pdf>

Romero, R. R. (2022). *Eficiencia del sistema Tohá en la depuración de efluentes del camal municipal de la ciudad de Bagua, Amazonas 2022 [UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS]*. <http://52.9.121.169/bitstream/handle/20.500.14077/2791/Romero%20Rojas%20Roly.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- SENASA. (2017). *Guía de Buenas Prácticas de Faenado de animales de abasto*.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2002708/Faenado%20animales%20abasto.pdf.pdf>
- Singh, R., Bhunia, P., & Dash, R. R. (2017). A mechanistic review on vermifiltration of wastewater: Design, operation and performance. *Journal of Environmental Management*, 197, 656-672. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.042>
- Sistema Tohá. (s.f.). *Sistema Tohá*. Sistema Tohá.
<https://sistematoha.cl/newSistematoha/sistema-toha/>
- SUNASS. (2020). *Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el Ámbito de las Empresas Prestadoras* (p. 278). SUNASS.
https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagno%CC%81stico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR_VDigital.pdf
- Tejedor, J. (2019). *Estudio del comportamiento de Eisenia foetida y Schoenoplectus californicus en biofiltros de cáscara de maní para el tratamiento de aguas residuales domésticas* [Escuela Politécnica Nacional].
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20430/1/CD%209911.pdf>
- UNESCO & ONU-Agua. (2020). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y Cambio Climático*.
<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000373611/PDF/373611spa.pdf.multi>
- Wiki. (2007). *Ingeniería de aguas residuales*. Wiki.
<https://elibro.bibliotecaupn.elogim.com/es/ereader/upnorte/35813>
- Vargas-Machuca, Rogelio Nogales, et al. "Vermicompostaje." *Compostaje*, edited by Joaquín Moreno Casco and Raul Moral Herrero, Ediciones Mundi-Prensa, 2007, pp. [188]-207. Gale eBooks,

Efecto de la densidad de lombrices sobre el proceso de lombrifiltración de las aguas residuales del camal municipal del distrito de la Esperanza, La Libertad 2021

link.gale.com/apps/doc/CX7060600013/GVRL?u=univcv&sid=bookmark-GVRL&xid=278a99fa. Accessed 23 May 2022.

ANEXOS

ANEXO 1. Informe de análisis de laboratorio

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189

INFORME DE ANÁLISIS
FQAPERU SAC

SOLICITANTE	: JESUS MANUEL CUEVA RISCO
MUESTRA	: AGUA
PROCEDENCIA	: CAMAL MUNICIPAL DE LA ESPERANZA
FECHA DE INGRESO	: 01 DE AGOSTO DEL 2022
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

1. MUESTRA: AGUA RESIDUAL

Nº DE MUESTRAS	CANTIDAD DE MUESTRA ENSAYADA	PROCEDENCIA
5	100ml.	TRATADA EN LABORATORIO

2. MÉTODOS DE ENSAYO

PARÁMETRO	NORMA - MÉTODO
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	APHA/AWWA/WEF 5220 D para rango alto adaptado a micro-escala
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 A,B, 22 ^{ed} Ed 2012

3. RESULTADOS

CÓDIGO DE MUESTRA	AR1	
	UNIDADES	RESULTADO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	680
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	1297.37

CÓDIGO DE MUESTRA	AR2	
	UNIDADES	RESULTADO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	609
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	1220

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBÓN

CELULAR: 942 844 957 - 949 959 63 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperu@hotmail.com

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189

CÓDIGO DE MUESTRA		AT1	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	90.20	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	622.54	

CÓDIGO DE MUESTRA		AT2	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	77.31	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	539.32	

CÓDIGO DE MUESTRA		AT3	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	57.98	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	744.49	

TRUJILLO, 05 DE AGOSTO DEL 2022


Ing. MSC. Carlos A. Vásquez Guillen
 C.I.P. 12345
 GERENTE GENERAL

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL
 CELULAR: 942 844 957 - 949 959 63 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperu@hotmail.com

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189



CÓDIGO DE MUESTRA		AT1	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	87,23	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	672,54	

CÓDIGO DE MUESTRA		AT2	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	81,43	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	645,89	

CÓDIGO DE MUESTRA		AT3	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	77,67	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	844,01	

TRUJILLO, 05 DE AGOSTO DEL 2022

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.
Ing. MSC. GABRIELA VÁSQUEZ GUILLÉN
D.L. N.º 332844
GERENTE GENERAL

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL
CELULAR: 942 844 957 - 949 959 63 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperu@hotmail.com

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES

RUC: 20605355189



CÓDIGO DE MUESTRA	AT1	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	101.32
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	739.76

CÓDIGO DE MUESTRA	AT2	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	203.45
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	692.90

CÓDIGO DE MUESTRA	AT3	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	196.02
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	794.09

TRUJILLO, 05 DE AGOSTO DEL 2022

FQIAPERÚ S.A.C.
Ing. MSc. Carlos A. Vásquez Guillén
C.I.P. 122888
GERENTE GENERAL

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 942 844 957 - 949 959 63 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperu@hotmail.com

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189

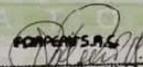


CÓDIGO DE MUESTRA	AT1	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	625.01
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	1254.12

CÓDIGO DE MUESTRA	AT2	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	599.89
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	1200.9

CÓDIGO DE MUESTRA	AT3	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	687.34
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	1312.7

TRUJILLO, 05 DE AGOSTO DEL 2022


Ing. MSC. Carlos A. Vásquez Guillen
GERENTE GENERAL

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBÓN - CAL
CELULAR: 942 844 957 - 949 959 63 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperu@hotmail.com

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

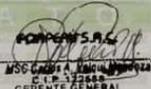
ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189

CÓDIGO DE MUESTRA		AR1	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	680	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	1297.36	

CÓDIGO DE MUESTRA		AR2	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	609	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	1220.81	

CÓDIGO DE MUESTRA		AR3	
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	693	
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	mg/L	1322.68	

TRUJILLO, 05 DE AGOSTO DEL 2022



Ing. MSC. Lorena A. Mancilla
C.I.P. 12288
GERENTE GENERAL

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 942 844 957 - 949 959 63 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperu@hotmail.com

ANEXO 2. Ficha de registro de datos

Densidad de lombrices (g/l)	Repeticiones de tratamiento	DQO inicial mg/l	DQO final mg/l	Eficiencia de remoción (%)	DBO ₅ inicial mg/l	DBO ₅ final mg/l	Eficiencia de remoción (%)
0	E1	1297.37	1254.12	3.33%	680	625.01	8.09%
	E2	1220.81	1200.9	1.63%	609	599.89	1.50%
	E3	1322.68	1312.7	0.75%	693	687.34	0.82%
10	E1	1297.37	739.76	42.98%	680	101.32	85.10%
	E2	1220.81	692.90	43.24%	609	203.45	66.59%
	E3	1322.68	794.09	39.96%	693	196.02	71.71%
20	E1	1297.37	672.23	48.19%	680	87.23	87.17%
	E2	1220.81	645.89	47.09%	609	81.43	86.63%
	E3	1322.68	844.01	36.19%	693	77.67	88.79%
40	E2	1220.81	539.32	55.82%	609	77.31	87.31%
	E3	1322.68	744.49	43.71%	693	57.98	91.63%
	E1	1297.37	622.54	52.02%	680	90.20	86.74%

ANEXO 3. Análisis estadísticos de los datos

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Paso 1: Prueba de normalidad empleando Shapiro Wilk

Las hipótesis estadísticas son las siguientes:

H0: La variable presenta una distribución normal

H1: La variable presenta una distribución no normal

Toma de decisión:

Si $p \leq 0.05$, Se rechaza la hipótesis nula. (no normal)

Si $p > 0.05$, No se rechaza la hipótesis nula. (normal)

Shapiro-Wilk Test				
	0 g/l	10 g/l	20 g/l	40 g/l
W-stat	0.96690795	0.80964124	0.81764821	0.9561018
p-value	0.65062702	0.13772838	0.15736533	0.59686025
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Las muestras de cada uno de los tratamientos, presenta distribución normal.

Paso 2: Prueba de homocedasticidad empleando el test de Levene

Las hipótesis estadísticas son las siguientes:

H0: varianzas de todos los grupos iguales

H1: Al menos una varianza distinta entre todos los grupos.

Toma de decisión:

Si $p \leq 0.05$, Se rechaza la hipótesis nula. (varianzas diferentes)

Si $p > 0.05$, No se rechaza la hipótesis nula. (varianzas iguales)

type	p-value
means	0.05103061
medians	0.60330207
trimmed	0.05103061

Por lo tanto, la varianza de todos los grupos son iguales

Paso 3: Prueba de ANOVA de un factor

Las hipótesis estadísticas son las siguientes:

H0: medias de todos los grupos iguales

H1: Al menos una de las medias de los grupos es diferente de las demás.

Toma de decisión:

Si $p \leq 0.05$, Se rechaza la hipótesis nula. (medias diferentes)

Si $p > 0.05$, No se rechaza la hipótesis nula. (medias iguales)

ANOVA								
Sources	SS	df	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE	Omega Sq
Between Groups	4388.9034	3	1462.9678	66.9709509	5.21E-06	0.96170652	4.72479103	0.94283342
Within Groups	174.758492	8	21.8448115					
Total	4563.6619	11	414.878354					

Por lo tanto, al menos una de las medias de los grupos es diferente de los demás.

Paso 4: Prueba de Tukey

Las hipótesis estadísticas son las siguientes:

H0: medias de todos los grupos iguales

H1: Al menos una de las medias de los grupos es diferente de las demás.

Toma de decisión:

Si $p \leq 0.05$, Se rechaza la hipótesis nula. (medias diferentes)

Si $p > 0.05$, No se rechaza la hipótesis nula. (medias iguales)

TUKEY HSD/KRAMER			alpha	0.05	
group	mean	n	ss	df	q-crit
0 g/l	1.91	3	3.43980843		
10 g/l	42.06	3	6.64005149		
20 g/l	43.82	3	87.9953795		
40 g/l	50.52	3	76.683253		
		12	174.758492	8	4.529

QTEST										
group 1	group 2	mean	std err	q-stat	lower	upper	p-value	mean-crit	Cohen d	
0 g/l	10 g/l	40.1557028	2.69844471	14.8810545	27.9344467	52.3769589	2.707E-05	12.2212561	8.59158083	Si hay diferencias entre medias
0 g/l	20 g/l	41.9162736	2.69844471	15.5334936	29.6950175	54.1375297	1.9623E-05	12.2212561	8.96826671	Si hay diferencias entre medias
0 g/l	40 g/l	48.6108149	2.69844471	18.0143824	36.3895588	60.832071	6.3822E-06	12.2212561	10.4006085	Si hay diferencias entre medias
10 g/l	20 g/l	1.76057078	2.69844471	0.65243908	-10.4606853	13.9818269	0.96545048	12.2212561	0.37668588	No hay diferencias entre medias
10 g/l	40 g/l	8.45511212	2.69844471	3.13332791	-3.76614397	20.6763682	0.19856821	12.2212561	1.80902771	No hay diferencias entre medias
20 g/l	40 g/l	6.69454134	2.69844471	2.48088883	-5.52671475	18.9157974	0.35906803	12.2212561	1.43234183	No hay diferencias entre medias

Demanda Biológica de Oxígeno (DBO₅)

Paso 1: Prueba de normalidad empleando Shapiro Wilk

Las hipótesis estadísticas son las siguientes:

H0: La variable presenta una distribución normal

H1: La variable presenta una distribución no normal

Toma de decisión:

Si $p \leq 0.05$, Se rechaza la hipótesis nula. (no normal)

Si $p > 0.05$, No se rechaza la hipótesis nula. (normal)

Shapiro-Wilk Test				
	0 g/l	10 g/l	20 g/l	40 g/l
W-stat	0.8193957	0.9376769	0.9236885	0.8359788
p-value	0.1616952	0.5181121	0.4654578	0.2036364
alpha	0.05	0.05	0.05	0.05
normal	yes	yes	yes	yes

Las muestras de cada uno de los tratamientos presentan distribución normal.

Paso 2: Prueba de homocedasticidad empleando el test de Levene

Las hipótesis estadísticas son las siguientes:

H0: varianzas de todos los grupos iguales

H1: Al menos una varianza distinta entre todos los grupos.

Toma de decisión:

Si $p \leq 0.05$, Se rechaza la hipótesis nula. (varianzas diferentes)

Si $p > 0.05$, No se rechaza la hipótesis nula. (varianzas iguales)

Levene's Tests	
type	p-value
means	0.03662768
medians	0.41953259
trimmed	0.03662768

Por lo tanto, la varianza de todos los grupos es iguales

Paso 3: Prueba de ANOVA de un factor

Las hipótesis estadísticas son las siguientes:

H0: medias de todos los grupos iguales

H1: Al menos una de las medias de los grupos es diferente de las demás.

Toma de decisión:

Si $p \leq 0.05$, Se rechaza la hipótesis nula. (medias diferentes)

Si $p > 0.05$, No se rechaza la hipótesis nula. (medias iguales)

Por lo tanto, al menos una de las medias de los grupos es diferente de los demás.

ANOVA								
Sources	SS	df	MS	F	P value	Eta-sq	RMSSE	Omega Sq
Between	14789.2278	3	4929.74261	170.155454	1.3864E-07	0.98456988	7.53116755	0.97689937
Groups								
Within	231.775944	8	28.971993					
Groups								
Total	15021.0038	11	1365.5458					

Paso 3: Prueba de Tukey

Las hipótesis estadísticas son las siguientes:

H0: medias de todos los grupos iguales

H1: Al menos una de las medias de los grupos es diferente de las demás.

Toma de decisión:

Si $p \leq 0.05$, Se rechaza la hipótesis nula. (medias diferentes)

Si $p > 0.05$, No se rechaza la hipótesis nula. (medias iguales)

TUKEY		alpha	0.05		
HSD/KRAMER					
group	mean	n	ss	df	q-crit
0 g/l	3.47	3	32.2513647		
10 g/l	74.47	3	182.641531		
20 g/l	87.53	3	2.53326856		
40 g/l	88.56	3	14.3497793		
		12	231.775944	8	4.529

Q TEST										
group 1	group 2	mean	std err	q-stat	lower	upper	p-value	mean-crit	Cohen d	
0 g/l	10 g/l	71.0025541	3.10762466	22.8478539	56.928122	85.0769862	1.0296E-06	14.0744321	13.1912146	Si hay diferencias entre medias
0 g/l	20 g/l	84.0645893	3.10762466	27.0510756	69.9901573	98.1390214	2.81E-07	14.0744321	15.6179458	Si hay diferencias entre medias
0 g/l	40 g/l	85.0915973	3.10762466	27.3815556	71.0171653	99.1660294	2.5546E-07	14.0744321	15.8087485	Si hay diferencias entre medias
10 g/l	20 g/l	13.0620352	3.10762466	4.20322165	-1.01239683	27.1364673	0.06918569	14.0744321	2.42673115	No hay diferencias entre medias
10 g/l	40 g/l	14.0890432	3.10762466	4.53370172	0.01461118	28.1634753	0.04975725	14.0744321	2.61753391	si hay diferencias entre medias
20 g/l	40 g/l	1.02700801	3.10762466	0.33048007	-13.0474241	15.1014401	0.99513976	14.0744321	0.19080276	No hay diferencias entre medias

ANEXO 4: Registro fotográfico

Figura 1

Toma de muestra de aguas residuales del camal



Ilustración 1 Toma de muestras de agua residual



Ilustración 2 Toma de Muestra de Agua Residual

Figura 2

Tratamientos a las aguas residuales del camal mediante Lombrifiltros



Ilustración 3 Tratamiento mediante Lombrifiltros

Figura 3

Recolección de las muestras para análisis de DBO₅ y DQO



Ilustración 4 Toma de Muestra para el análisis de DBO y DQO

ANEXO 5. Cálculos de los parámetros de operación del sistema de tratamiento

Cantidad diaria a tratar por cada lombrifiltro (Q_w): 20 l/día ($0.0008 \text{ m}^3/\text{h}$)

Tiempo de tratamiento (t): 1 h

Volumen de gasto (V_g): $Q_w \times t = 0.0008 \text{ m}^3/\text{h} \times 1 \text{ h} = 0.0008 \text{ m}^3$

Diámetro del lombrifiltro (D): 0.31 m (radio:0.155 m)

Área del Lombrifiltro (A_L): 0.075 m^2

Altura de la capa de vermicomposta (h): 0.12 m

Volumen de la capa de vermicompostaje (V_s) = $A_L \times h$

= $0.075 \text{ m}^2 \times 0.12 \text{ m} = 0.009 \text{ m}^3 = 8.64 \text{ L}$

Eficiencia (e): 96% (0.96)

Tiempo de retención hidráulica (TRH) = $(e \times V_s) / Q_w$

= $(0.96 \times 0.009 \text{ m}^3) / 0.0008 \text{ m}^3/\text{h} = 1.08 \text{ h}$

Tasa de carga hidráulica (HLR) = $(V_g) / (A_L \times t)$

= $0.0008 \text{ m}^3 / (0.075 \text{ m}^2 \times 1 \text{ h}) = 0.011 \text{ m}^3/\text{h}$

Densidad de lombrices (d): 10 g/l, 20 g/l y 40 g/l

Pesos de lombrices por lombrifiltro, considerando un volumen de vermicomposta de 8.64 L:

Para el tratamiento 1 de 10 g/l, se inocula 86.4 g de lombrices.

Para el tratamiento 2 de 20 g/l, se inocula 172.8 g de lombrices

Para el tratamiento 3 de 40 g/l, se inocula 345.6 g de lombrices

ANEXO 6. Matriz de operacionalización de variables

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Indicadores	Escala de Medición
Densidad de lombrices (g/l)	Cantidad en peso (g) de lombrices de tierra por volumen (l) de vermicomposta (Lourenço & Nunes, 2017).	Se evaluarán 3 tratamientos en g/l (86.4 ,172.8 y 345.6 g de lombrices por litro de vermicomposta) de densidad de lombrices por cada 20 l de agua residual, estas serán medidas a través de una balanza.	Cantidad de densidad de lombrices en g/l por cada 20 l de agua residual.	Cuantitativa de razón
Eficiencia de remoción de la materia Orgánica (%)	Cantidad porcentual de materia orgánica removida del agua residual tratada (Larico-Mamani et al., 2021)	Se realizará la determinación de la concentración de DBO y DQO5 de la muestra de agua residual del camal antes y después del tratamiento en el sistema de vermifiltración. Para luego, determinar el porcentaje de remoción de DBO y DQ5 mediante las siguientes formulas: $\frac{DBO\ inicial - DBO\ final}{DBO\ inicial} * 100$ $\frac{DQO\ inicial - DQO\ final}{DQO\ inicial} * 100$	Porcentaje (%) de remoción de DQO y DBO5	Cuantitativa de razón

ANEXO 7. Matriz de consistencia

EFECTO DE LA DENSIDAD DE LOMBRICES SOBRE EL PROCESO DE LOMBRIFILTRACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DEL CAMAL MUNICIPAL DEL DISTRITO DE LA ESPERANZA, LA LIBERTAD 2021															
PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	METODOLOGIA											
¿Cuál es la densidad óptima de lombrices californianas en el sistema de lombrifiltro, que obtenga la mayor eficiencia de remoción de materia orgánica en las aguas residuales del camal municipal del distrito de La Esperanza, La Libertad 2022?	Utilizando la densidad de 40 g de lombrices californianas por litro de vermicomposta en el sistema de lombrifiltro, se obtendrá la mayor eficiencia de remoción de materia orgánica en las aguas residuales del camal municipal del distrito de La Esperanza.	Determinar la densidad óptima de lombrices californianas del sistema de tratamiento biológico Eisenia foetida , que disminuya el mayor porcentaje de materia orgánica en las aguas residuales del camal municipal del distrito de La Esperanza, La Libertad 2022.	Densidad de lombrices (g/l)	DISEÑO											
				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th></th> <th>Grupo</th> <th>Preprueba</th> <th>V. Independiente</th> <th>Postprueba</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R</td> <td>E</td> <td>O1</td> <td>X</td> <td>O2</td> </tr> <tr> <td>R</td> <td>C</td> <td>O1</td> <td>(-)</td> <td>O2</td> </tr> </tbody> </table> <p>R: Asignación aleatoria E: Grupo experimental, está representado por las muestras de 1000 ml de agua residual para el análisis de DBO₅ y 100 ml para el análisis de DQO, las cuales se someterán a una preprueba y Postprueba. C: Grupo de control, está representado por las muestras de 1000 ml de agua residual para el análisis de DBO₅ y 100 ml para el análisis de DQO, las cuales se someterán a una preprueba y Postprueba. A estas muestras no se le aplicó tratamiento. X: Es el tratamiento condición experimental o variable experimental, está representado por la densidad de lombrices californianas. O: Observación y medición de las muestras de agua residual antes y después del tratamiento. (-): Ausencia de tratamiento.</p>		Grupo	Preprueba	V. Independiente	Postprueba	R	E	O1	X	O2	R
	Grupo	Preprueba	V. Independiente	Postprueba											
R	E	O1	X	O2											
R	C	O1	(-)	O2											
				POBLACION											

				La población está representada por la cantidad volumétrica de agua residual por día de trabajo (m ³ /día) que produce el camal del distrito de la Esperanza, el cual es de 34.5 m ³ /día.
--	--	--	--	---