

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE TRUJILLO
“BENEDICTO XVI”
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA
AMBIENTAL



REMOCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN UN
SISTEMA DE BIOPELÍCULA DE LECHO MÓVIL Y CARGA
ORGÁNICA, TRUJILLO, 2025

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR

Br. Cabrera Valentín, Álvaro Antony

<https://orcid.org/0009-0009-4040-1160>

ASESOR

Dr. Saldaña Milla, Fernando Arístides

<https://orcid.org/0000-0002-7274-6974>

LINEA DE INVESTIGACIÓN

Calidad del Agua y Saneamiento

TRUJILLO - PERÚ

2026

DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

Mg. Henry Alexander Chipana Saldaña:

Yo, Dr. Ing. Fernando Arístides Saldaña Milla con DNI N° 18135414, como asesor del trabajo de investigación titulado “REMOCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN UN SISTEMA DE BIOPELÍCULA DE LECHO MÓVIL Y CARGA ORGÁNICA, TRUJILLO, 2025”, desarrollado por el bachiller Álvaro Antony Cabrera Valentín con DNI N° 76841401 del Programa de estudios Ingeniería Ambiental; considero que dicho trabajo reúne las condiciones técnicas y científicas, las cuales están alineadas a las normas establecidas en el Reglamento de Estudiantes y de Grados y Títulos de la Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI” y en la normativa para la presentación de trabajos de titulación de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Por tanto, autorizo la presentación del mismo ante el organismo pertinente para que sea sometido a evaluación por los jurados designados por la mencionada facultad.



Dr. Ing. Fernando Arístides Saldaña Milla

Asesor

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

EXCMO. MONS. GILBERTO ALFREDO VIZCARRA MORI, S.J.

Arzobispo Metropolitano de Trujillo

Gran Canciller

Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI”

DR. MARCOANTONIO PACHERRES TORREJÓN

Rector de la Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI”

DRA. SILVIA ANA VALVERDE ZAVALA

Vicerrectora Académica

DRA. GINA GENARA ZAVALA ESPEJO

Vicerrectora de Investigación

MS. HENRY ALEXANDER CHIPANA SALDAÑA

Decano de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura

DRA. TERESA SOFÍA REATEGUI MARÍN

Secretaria General

DEDICATORIA

A Dios,

por ser mi guía constante, por darme la fortaleza en los momentos de dificultad y la sabiduría para continuar este camino. Por recordarme siempre que cada logro es también una bendición.

A mi mamá,

por ser el pilar de mi vida, por su amor incondicional, su paciencia y su confianza en mí incluso en los momentos en que yo misma dudaba. Gracias por cada sacrificio, cada palabra de aliento y por enseñarme que la perseverancia siempre abre caminos.

Este logro también es tuyo.

Álvaro Antony Cabrera Valentín

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la vida, la fortaleza y la sabiduría necesarias para culminar esta etapa importante de mi formación profesional.

A mi madre, por su amor incondicional, su apoyo constante y por ser siempre mi mayor motivación para seguir adelante. Gracias por cada esfuerzo, cada consejo y por creer en mí incluso en los momentos más difíciles. Este logro también es fruto de todo lo que me has enseñado.

*Expreso mi sincero agradecimiento a mi casa de estudios, la **Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI”**, por brindarme la formación académica y los conocimientos que hicieron posible el desarrollo de esta investigación.*

*De igual manera, agradezco a mi asesor, el **Dr. Fernando Saldaña Milla**, por su orientación, apoyo académico y valiosas recomendaciones durante el desarrollo de este trabajo de investigación.*

Finalmente, agradezco a todas las personas que de una u otra forma contribuyeron al desarrollo y culminación de esta tesis.

Álvaro Antony Cabrera Valentín

DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

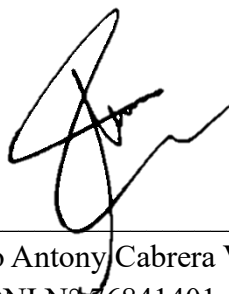
Yo, Álvaro Antony Cabrera Valentín , con DNI N.º 76841401, egresado del Programa de estudios de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI”, doy fe de que he seguido rigurosamente los procedimientos académicos y administrativos establecidos por la Facultad de Ingeniería y Arquitectura para la elaboración y sustentación del informe de tesis titulado: “REMOCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN UN SISTEMA DE BIOPELÍCULA DE LECHO MÓVIL Y CARGA ORGÁNICA, TRUJILLO, 2025”, el cual consta de un total de 64 páginas, incluyendo 12 tablas y 18 figuras y 6 páginas de anexos.

Dejo constancia de la originalidad y autenticidad de la mencionada investigación y declaro, bajo juramento y en cumplimiento de los principios éticos, que el contenido del documento es de mi exclusiva autoría en cuanto a redacción, organización, metodología y diagramación. Asimismo, garantizo que los fundamentos teóricos están debidamente sustentados en fuentes bibliográficas, asumiendo la responsabilidad de cualquier omisión involuntaria en la citación de autores.

En este sentido, declaro que el uso de herramientas de inteligencia artificial en el presente trabajo se ha limitado exclusivamente a la mejora de la redacción y corrección de errores gramaticales y sintácticos, sin que ello haya influido en la generación del contenido, análisis o interpretación de los resultados de la investigación.

Del mismo modo, reconozco que cualquier vulneración a los derechos de autor derivada del presente trabajo será de mi exclusiva responsabilidad, asumiendo las consecuencias académicas y legales que pudieran derivarse conforme a la normativa vigente.

El autor



Br. Álvaro Antony Cabrera Valentín
DNI N.º 76841401

ÍNDICE

DECLARATORIA DE ORIGINALIDAD	2
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD	6
ÍNDICE.....	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN.....	12
II. METODOLOGÍA.....	33
III. RESULTADOS.....	38
IV. DISCUSIÓN.....	49
V. CONCLUSIONES.....	51
VI. RECOMENDACIONES	52
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
ANEXOS.....	59
Anexo 1: Matriz de consistencia	59
Anexo 2: Cuadro de operacionalización de variables	60
Anexo 3: Instrumentos de recolección de la información	61
Anexo 4: Ficha Técnica del Instrumento para medición de DQO	62
Anexo 5: Panel Fotográfico.....	63
Anexo 6: Reporte de Turnitin	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descarga de diferentes aguas residuales en cuerpos naturales en el Perú	24
Tabla 2. Características de agua residual agroindustrial de la alcachofa.....	24
Tabla 3. Comparación de tratamiento anaeróbico y aeróbico.....	30
Tabla 4. Ventajas y desventajas del sistema de membrana de lecho móvil	32
Tabla 5. Esquema de diseño de investigación.....	34
Tabla 6. Tabla utilizada en Excel para procesamiento de datos.....	36
Tabla 7. Resultado de muestreo DQO (mg/L)	40
Tabla 8. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para las concentraciones de DQO (carga orgánica alta) de entrada y salida del sistema de tratamiento.....	40
Tabla 9. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para las concentraciones de DQO (carga orgánica baja) de entrada y salida del sistema de tratamiento.....	41
Tabla 10. Resultados de la prueba t de Student para muestras emparejadas entre la DQO carga orgánica alta de entrada y salida del sistema de tratamiento.	41
Tabla 11. Prueba t de muestras emparejadas para la DQO de entrada y salida del reactor bajo condiciones de carga orgánica baja	42
Tabla 12. Muestras evaluables para eficiencia de remoción en carga orgánica alta.....	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación entre la DBO y la DQO	26
Figura 2. Clasificación de microorganismos según la condición	27
Figura 3. Etapa de tratamiento preliminar - tamizado	28
Figura 4. Secuencia del proceso anaerobio	29
Figura 5. Desarrollo del proceso aerobio	30
Figura 6. Método industrial para la generación de ozono en el tratamiento de aguas residuales utilizando la técnica de descarga corona.	31
Figura 7. Diagrama de proceso de sistema de membrana de lecho móvil	32
Figura 8. Esquema del sistema de tratamiento de efluentes basado en reactores MBBR evaluado en el presente estudio.	38
Figura 9. Vista de la Planta de Tratamiento.....	38
Figura 10. Promedio de ingreso de efluente vs salida de efluente - DQO (mg/L)	39
Figura 11. Comparación de la eficiencia de remoción de DQO del sistema MBBR bajo condiciones de carga orgánica alta y baja.....	42
Figura 12. DQO vs etapas del proceso bajo carga orgánica alta - día 22/10/2025, hora: 15:00 pm	44
Figura 13. DQO vs etapas del proceso bajo carga orgánica alta - día 23/10/2025, hora: 09:00 am	44
Figura 14. DQO vs etapas del proceso bajo carga orgánica alta – días 23 y 24 en la mañana.....	45
Figura 15. DQO vs etapas del proceso bajo carga orgánica baja – días 27 y 28 en la mañana - tarde	46
Figura 16. Promedio de concentraciones de DQO en las diferentes etapas del sistema de tratamiento MBBR.	47
Figura 17. Recolección de muestras (izquierda), COD Reactor CR25 (derecha)	63
Figura 18. Muestra de carga orgánica alta (a), muestra de carga orgánica baja (b)	63

RESUMEN

El tratamiento de las aguas residuales constituye un desafío ambiental debido a la elevada presencia de materia orgánica, la cual puede generar contaminación en los cuerpos de agua receptores si no es removida eficientemente. En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia en la remoción de materia orgánica oxidante en efluentes mediante la combinación de procesos anaerobios y aerobios en condiciones reales de operación en la ciudad de Trujillo durante el año 2025. La metodología se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, mediante el monitoreo de las concentraciones de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en puntos específicos del sistema de tratamiento, considerando el ingreso al proceso biológico (Pre MBBR) y el efluente final (Post MBBR) dentro de un sistema basado en reactores *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR). Los resultados evidenciaron una reducción significativa de la carga orgánica a lo largo del proceso, registrándose concentraciones iniciales de hasta 676.75 mg/L en el influente del proceso biológico, mientras que en el efluente final se obtuvieron valores entre 7 mg/L y 49.3 mg/L. A partir de estos datos se determinaron eficiencias de remoción entre 92.05 % bajo condiciones de carga orgánica alta y 95.55 % bajo condiciones de carga orgánica baja, con una eficiencia promedio de 93.8 %. Estos resultados demuestran que el sistema mantiene un alto desempeño incluso frente a variaciones en la carga orgánica del influente. En conclusión, el sistema de tratamiento basado en reactores MBBR mostró una alta eficiencia y estabilidad operativa en la remoción de materia orgánica oxidante.

Palabras Clave: *Moving Bed Biofilm*, aguas residuales, materia orgánica, DQO

ABSTRACT

Wastewater treatment represents an environmental challenge due to the high presence of organic matter, which can cause pollution in receiving water bodies if it is not efficiently removed. In this context, the objective of this research was to evaluate the efficiency of oxidizable organic matter removal in effluents through the combination of anaerobic and aerobic processes under real operating conditions in the city of Trujillo during 2025. The methodology was developed under a quantitative approach through the monitoring of Chemical Oxygen Demand (COD) concentrations at different points of the treatment system, considering the inlet to the biological process (pre-MBBR) and the final effluent (post-MBBR) within a system based on Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) technology. The results showed a significant reduction of the organic load throughout the process, with initial concentrations of up to 676.75 mg/L in the influent to the biological process, while the final effluent presented values between 7 mg/L and 49.3 mg/L. From these data, removal efficiencies between 92.05% under high organic load conditions and 95.55% under low organic load conditions were determined, with an average efficiency of 93.8%. These results demonstrate that the system maintains high performance even under variations in the influent organic load. In conclusion, the treatment system based on MBBR reactors showed high efficiency and operational stability in the removal of oxidizable organic matter.

Keywords: *Moving Bed Biofilm, wastewater, organic matter, COD.*

I. INTRODUCCIÓN

La gestión de las aguas residuales constituye uno de los desafíos ambientales más persistentes a escala global, particularmente en contextos donde el crecimiento urbano e industrial ha superado la capacidad de la infraestructura de saneamiento. A pesar de los avances tecnológicos disponibles, una gran proporción de los efluentes generados continúa siendo descargada a desagües sin un tratamiento, lo que provoca una degradación progresiva de los ecosistemas acuáticos y genera riesgos directos e indirectos para la salud humana. Diversos informes internacionales han señalado que el tratamiento insuficiente de aguas residuales representa una de las principales fuentes de contaminación hídrica a nivel mundial, contribuyendo al deterioro de ríos, lagos y zonas costeras, así como a la pérdida de servicios ecosistémicos esenciales, como lo menciona la UNESCO en su informe World Water Assessment Programme (WWAP) el 2017.

En este escenario, la materia orgánica presente en los efluentes juega un papel central. Cuando no es removida de manera eficiente, su oxidación en los cuerpos receptores provoca un consumo significativo de oxígeno disuelto, afectando la vida acuática y favoreciendo condiciones anaerobias no deseadas. Este fenómeno se manifiesta con especial intensidad en zonas urbanas y periurbanas, donde las descargas domésticas e industriales se concentran y donde los cuerpos de agua receptores suelen tener una capacidad limitada de autodepuración. Por ello, la reducción de la carga orgánica oxidante se ha convertido en uno de los objetivos prioritarios de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. (WWAP, 2017).

A nivel internacional, organismos como las Naciones Unidas han advertido que una gran proporción de las aguas residuales generadas en el mundo no recibe tratamiento alguno antes de su vertimiento, lo que evidencia una brecha estructural entre la producción de efluentes y la capacidad real de los sistemas de saneamiento. Esta situación no solo compromete la calidad del agua, sino que también incrementa los costos asociados al abastecimiento, al tratamiento posterior y a la restauración ambiental. Asimismo, la Organización Mundial de la Salud ha señalado que la descarga de efluentes con altas concentraciones de materia orgánica incrementa los riesgos sanitarios, especialmente en contextos donde existe reutilización indirecta del agua o contacto con poblaciones vulnerables, recomendando el uso de sistemas de tratamiento capaces de operar de manera estable frente a variaciones de carga y caudal.

En América Latina, la problemática adquiere características particulares. El crecimiento acelerado de las ciudades, sumado a limitaciones en la inversión y en la

operación de la infraestructura de tratamiento, ha generado escenarios en los que muchas plantas funcionan por debajo de su capacidad de diseño o presentan dificultades para responder a cambios en la carga orgánica del afluente (The World Bank, 2023). En países como el Perú, estas limitaciones se manifiestan tanto en zonas urbanas consolidadas como en áreas de expansión, donde la presión sobre los sistemas de saneamiento es constante. (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2024). Diversos diagnósticos sectoriales han señalado que, si bien se han logrado avances en cobertura, persisten retos importantes relacionados con la eficiencia del tratamiento y con la calidad del efluente final descargado a los cuerpos receptores.

Desde el punto de vista normativo, el Perú cuenta con un marco regulatorio que establece límites claros para la descarga de efluentes y estándares de calidad para los cuerpos de agua. Los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua buscan garantizar que las descargas no representen un riesgo significativo para la salud humana ni para el ambiente. Sin embargo, el cumplimiento de estos estándares depende directamente del desempeño real de los sistemas de tratamiento y de su capacidad para mantener eficiencias adecuadas bajo condiciones variables de operación. En la práctica, los operadores enfrentan escenarios complejos, como incrementos súbitos de carga orgánica, variaciones de caudal asociadas a eventos climáticos y limitaciones en el monitoreo continuo, lo que dificulta asegurar un comportamiento estable del sistema. (Landa, 2021).

En el ámbito regional y local, estas dificultades se hacen aún más evidentes. En la región La Libertad, y particularmente en la ciudad de Trujillo, los cuerpos de agua receptores han mostrado signos de deterioro asociados a descargas domésticas e industriales. La cuenca del río Moche, que recibe aportes de diversas actividades humanas, ha sido objeto de monitoreos que evidencian problemas de calidad del agua para determinados usos, lo que genera preocupación tanto por sus implicancias ambientales como por su impacto en actividades productivas y en la salud pública. A ello se suman episodios de sobrecarga y desbordes en infraestructuras de tratamiento reportados a nivel local, los cuales ponen de manifiesto la vulnerabilidad de los sistemas frente a condiciones operativas exigentes. (Espinoza, 2017; Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2022).

En este contexto, la eficiencia de los procesos de tratamiento adquiere una relevancia estratégica. No basta con contar con una infraestructura instalada; es necesario demostrar que el sistema es capaz de remover de manera efectiva la materia orgánica

oxidante, incluso cuando el afluente presenta cargas elevadas o cuando las condiciones de operación fluctúan. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se utiliza ampliamente como indicador de esta carga orgánica, ya que permite cuantificar la cantidad de materia susceptible de oxidación presente en el efluente y evaluar, de manera integral, el desempeño del sistema de tratamiento (APHA et al., 2017; Metcalf y Eddy, 2014).

Una de las estrategias tecnológicas que ha cobrado interés en los últimos años es la combinación de procesos biológicos anaerobios y aerobios. Esta configuración busca aprovechar las ventajas de cada proceso: por un lado, los sistemas anaerobios permiten una reducción significativa de la carga orgánica con menores requerimientos energéticos y, en determinadas condiciones, con una menor producción de lodos; por otro, los procesos aerobios permiten un pulimiento final del efluente, reduciendo las fracciones residuales de materia orgánica y mejorando la estabilidad de la calidad del agua tratada. La literatura internacional reporta experiencias exitosas con sistemas combinados, incluidos aquellos basados en reactores de lecho móvil con biopelícula (MBBR), aunque también destaca que el desempeño depende en gran medida de las características del afluente y de las condiciones de operación (Freitas et al., 2022; Prosperi y Grard, 2024; Tayler, 2021).

No obstante, la extrapolación directa de resultados obtenidos en otros contextos no siempre es apropiada. Cada sistema opera bajo condiciones específicas de carga, caudal y manejo operativo, lo que hace indispensable evaluar su eficiencia en escenarios reales y locales. En el caso de Trujillo, la combinación de un tanque físico inicial con una serie de reactores MBBR y un postratamiento aeróbico representa una alternativa relevante, pero cuya eficacia debe ser analizada a partir de datos reales de operación y monitoreo.

La problemática central de este estudio se sitúa, por tanto, en la necesidad de generar evidencia cuantitativa sobre la eficiencia de remoción de materia orgánica oxidante en un sistema que combina procesos anaerobios y aerobios, bajo condiciones reales de operación y frente a variaciones de carga orgánica. Esta necesidad se ve reforzada por la disponibilidad de datos de monitoreo que, si bien no son homogéneos en todos los puntos y fechas, reflejan situaciones reales de funcionamiento del sistema, con escenarios de carga orgánica alta y baja.

Adicionalmente, existe una problemática metodológica asociada al análisis de este tipo de información. Los datos de campo suelen presentar limitaciones, como la ausencia de mediciones en ciertos puntos del proceso o la realización de muestreos en diferentes

momentos. Frente a ello, surge el desafío de definir criterios claros para el cálculo de eficiencias, la comparación entre campañas y la evaluación del cumplimiento de objetivos operativos específicos, como alcanzar porcentajes mínimos de remoción bajo determinadas condiciones de carga. Abordar esta problemática implica no solo calcular eficiencias, sino también interpretar tendencias y consistencia del proceso, evitando conclusiones que no estén respaldadas por la evidencia disponible.

De acuerdo con la problemática observada se planteó la siguiente **pregunta de investigación**:

¿Cuál es la relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y a carga orgánica, Trujillo, 2025?

Y como **preguntas específicas** surgieron las siguientes:

¿Cuál es la relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y la carga orgánica alta?

¿Cuál es la relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y la carga orgánica baja?

¿Cuál es la relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y Variabilidad de DQO entre etapas?

Esta investigación tuvo por **justificación metodológica** el planteamiento de un análisis ordenado basado en la tratabilidad de efluentes domésticos, ya que estas aguas residuales generan un impacto significativo en los ecosistemas acuáticos y el medio ambiente debido a su alto contenido de materia orgánica, nutrientes y otros contaminantes. En este enfoque se estudiaron de dos fases: el pretratamiento y el tratamiento biológico secuencial. Esta secuencia permitió evaluar de forma sistemática la eficiencia de remoción de materia orgánica oxidante. Se realizó la toma de muestra de efluentes durante el proceso anaeróbico y el proceso aerobio.

De acuerdo con la **justificación social**, el tratamiento de efluentes domésticos presentó un gran desafío para el bienestar social en muchas partes de nuestro país, particularmente en la provincia de Trujillo, que enfrenta un problema significativo debido a la descarga de efluentes con alta carga orgánica de nutrientes al sistema de alcantarillado, ríos, entre otros.

Esta investigación tiene **justificación ambiental** dado que el problema de los efluentes residuales es una preocupación ambiental importante a nivel mundial, siendo especialmente problemático en el Perú debido a la gestión inadecuada y el vertido imprudente de efluentes domésticos. Esta práctica común resulta en una grave

contaminación de ríos, arroyos y playas, lo que ha llevado a la declaración de estado de emergencia en algunas áreas. Esta contaminación representa una amenaza significativa para el medio ambiente y la vida silvestre, así como para la salud humana (Noriega y Villanueva, 2024). El tratamiento eficaz de los efluentes contribuye a la sostenibilidad a largo plazo de la actividad agrícola e industrial en la región, protegiendo los recursos hídricos para las generaciones futuras.

Como **objetivo general** se planteó el siguiente:

Determinar la relación entre la carga orgánica y la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en un sistema de biopelícula de lecho móvil en Trujillo, 2025.

Como objetivos específicos:

Determinar la relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y la carga orgánica alta.

Determinar la relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y la carga orgánica baja.

Determinar la relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y la variabilidad de DQO entre etapas.

De acuerdo con estos objetivos y para dar consistencia a la investigación se tomaron los siguientes antecedentes internacionales:

Chen et al. (2026), en su investigación, evaluó un sistema de humedales contruidos de varias etapas en un campus en Xiamen para eliminar micropoluentes orgánicos en efluentes de aguas residuales y analizar los cambios en la materia orgánica disuelta y la biotoxicidad. Se analizaron tres etapas (BOP, SSFW y SFW) mediante indicadores espectroscópicos y moleculares. Los resultados mostraron que las tres unidades contribuyeron a la eliminación de demanda química de oxígeno (25%, 25% y 50% respectivamente), reduciendo la intensidad de la materia orgánica disuelta y manteniendo la biotoxicidad por debajo del 10%. En conclusión, la configuración BOP–SSFW–SFW fue la más eficiente para lograr una purificación avanzada y controlar la biotoxicidad del efluente.

Feng et al. (2025), en su artículo científico, tuvieron como objetivo analizar la eficiencia de un sistema integrado de tratamiento de aguas residuales en un campus de investigación, evaluando la eliminación de contaminantes, la transformación de la materia orgánica disuelta y la relación con las comunidades microbianas. La metodología consistió en el análisis de muestras de agua en diferentes etapas del sistema, compuesto

por una planta de tratamiento con proceso anóxico-óxico, humedales construidos y un río paisajístico, utilizando técnicas de caracterización de la materia orgánica disuelta y análisis de comunidades microbianas mediante secuenciación. Los resultados mostraron una alta eficiencia en la eliminación de contaminantes, alcanzando reducciones del 74.6 % en carbono orgánico disuelto, 97.2 % en nitrógeno total, 99.4 % en amonio y 96.0 % en fósforo total, además de cambios en la composición de la materia orgánica y en las comunidades microbianas a lo largo del sistema. En conclusión, el sistema integrado demostró ser una estrategia eficaz para el tratamiento y la reutilización sostenible de aguas residuales en campus o sistemas de pequeña escala.

Mompó-Curell et al. (2024b), en su artículo científico, analizó el impacto del Bisfenol A (BPA) en el tratamiento biológico de aguas residuales, evaluando la eliminación de materia orgánica y el proceso de nitrificación. La metodología consistió en exponer el sistema a diferentes concentraciones de BPA (1, 5 y 10 mg·L⁻¹) y analizar el rendimiento del reactor y la comunidad microbiana mediante secuenciación del gen 16S rRNA. Los resultados mostraron que a 10 mg·L⁻¹ el BPA afectó la eliminación de demanda química de oxígeno e inhibió la nitrificación, aumentando el nitrógeno amoniacal y reduciendo la abundancia de Nitrosomonas. Sin embargo, tras la adaptación microbiana, el BPA no fue detectado en el efluente. En conclusión, altas concentraciones de BPA pueden alterar el proceso de nitrificación, aunque la biomasa microbiana mantiene su capacidad de degradar este compuesto.

Ferrer et al. (2024), en su investigación, evaluó la eficiencia de un tratamiento aeróbico con reactores biológicos secuenciales para tratar efluentes textiles. Se utilizaron reactores aeróbicos de 2 L con ciclos operativos de 12 y 16 horas, midiendo color, turbidez, pH y materia orgánica en la entrada y salida del sistema. Los resultados mostraron remociones superiores al 73% de materia orgánica, 86% de color y 94% de turbidez, permitiendo que el efluente tratado cumpla con la normativa venezolana para su descarga en cuerpos de agua. En conclusión, los reactores aeróbicos representan una alternativa eficiente y sostenible, especialmente para pequeñas y medianas empresas textiles, al reducir el impacto ambiental de sus descargas.

Nuno, J. et al (2023), tuvo como objetivo evaluar la degradación del ácido cafeico (CA) tanto en modo discontinuo como continuo, en un reactor LED UV-A con una longitud de onda de 365 nm, utilizando H₂O₂ como oxidante y Fe²⁺ como catalizador. Para ello, se llevaron a cabo experimentos por lotes basados en el proceso Fenton en un reactor a escala de laboratorio de forma rectangular con un volumen de 500 ml y una

profundidad de 1,4 cm. El sistema LED estaba compuesto por 12 lámparas UV de nitruro de indio y galio, emitiendo a 365 nm, y se utilizó una solución de 250 ml de CA con una concentración de 5.5×10^{-4} mol/L, agitada con una placa calefactora magnética a 350 rpm durante 15 minutos. Por otro lado, en los experimentos continuos, se bombeó una solución de CA con una concentración de 5.5×10^{-4} mol/L y H₂O₂ al reactor UV-A, aplicando caudales de 1-4 ml/min al medio acuoso con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 15 minutos. Se determinó la concentración de eliminación de CA y carbono orgánico disuelto (DOC), y se calcularon los consumos de energía eléctrica mediante ecuaciones. Los resultados mostraron lo siguiente: Para los experimentos por lotes, se observó una alta tasa cinética en la eliminación de CA (>99,5%) con las siguientes concentraciones: CA = 5.5×10^{-4} mol/L, H₂O₂ = 2.2×10^{-3} mol/L, Fe²⁺ = $1,1 \times 10^{-4}$ mol/L y un consumo de energía eléctrica de aproximadamente 7.23 kWh/m³. En cuanto al experimento en modo continuo, los resultados indicaron que al aumentar el caudal (1-4 ml/min), la tasa de eliminación de CA ($k = 0.468 \text{ min}^{-1}$) y DOC ($k = 0.00896 \text{ min}^{-1}$) también aumentó. Se concluyó que los sistemas continuos son más favorables para el tratamiento de aguas residuales agroindustriales.

Solís Núñez S. (2023), realizó una investigación con el fin de plantear un diseño preliminar de humedal artificial destinado a disminuir la carga contaminante del efluente y, al mismo tiempo, promover un entorno biológico que favorezca la biodiversidad y el equilibrio ambiental; para ello, se desarrollaron seis prototipos de humedales de flujo vertical utilizando *Heliconia psittacorum* como vegetación. El sistema de tratamiento comprendió fases de pretratamiento, tratamiento primario, secundario y manejo de lodos, ejecutadas durante un periodo de 16 semanas, con tiempos de retención hidráulica de 5 horas en el sedimentador primario y 13 horas en el secundario. Tres de los humedales fueron alimentados con efluente del tratamiento primario y los otros tres con efluente del tratamiento secundario; los resultados mostraron que los primeros alcanzaron eficiencias de remoción de 86.7% en DQO, 12.5% en nitrógeno total y 62.5% en fosfatos, mientras que los segundos lograron reducciones de 58.4% en DQO, 25.2% en nitrógeno total y 82.6% en fosfatos.

Gelves C. (2021), en su investigación, tuvo como objetivo evaluar la capacidad de depuración biológica de dicho filtro para tratar aguas residuales generadas durante la extracción de aceite, empleando cuescos de palma como soporte. Se tomaron muestras de agua residual de una empresa palmera y se construyó el filtro tipo Airlift, equipado con un sistema de aireación, un calentador, una entrada de aire en la parte inferior, salida de

gas y un filtro interno para los cuescos de palma. Se evaluaron diferentes tiempos de retención hidráulica (0 horas, 6 horas, 12 horas y 24 horas) con y sin aireación. Los resultados indicaron que el tiempo de retención de 12 horas con aireación mostró mejores resultados en términos de los parámetros fisicoquímicos del agua.

De la misma manera que se hizo una revisión internacional, se hizo una revisión de investigaciones a nivel nacional, y se muestra a continuación:

Tupacyupanqui (2023), en su tesis de pregrado, evaluó la remoción de materia orgánica mediante procesos de oxidación aerobia en aguas residuales domésticas provenientes de la PTAR Alejandro Vincas Araoz, ubicada en Surco. La metodología empleada fue de tipo no experimental con diseño longitudinal, utilizando muestras de aguas residuales domésticas que fueron comparadas con los Límites Máximos Permisibles establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM. El monitoreo y la caracterización del agua residual se realizaron en el Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE, analizando parámetros fisicoquímicos como pH, temperatura, conductividad eléctrica, sólidos disueltos totales, turbidez, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, DQO, DBO, nitrógeno total y fósforo total. Los resultados mostraron que el sistema de tratamiento M2 presentó mayor eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos, alcanzando un 90.2% de remoción en comparación con el sistema M1, que logró 88.6% en un periodo de evaluación de 5, 10 y 15 días. En conclusión, el proceso de oxidación aerobia permitió una reducción significativa de la materia orgánica y de los parámetros fisicoquímicos presentes en las aguas residuales domésticas.

Acuña et al. (2022), en el estudio titulado *Evaluación de la remoción de materia orgánica mediante microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas residuales*, analizaron el uso de microorganismos eficientes (EM) para disminuir la carga orgánica en aguas residuales municipales a escala piloto en la planta de tratamiento de Yauli, en Huancavelica. Para ello, aplicaron un diseño experimental factorial que consideró cuatro concentraciones de EM (0, 10, 20 y 30 ml) y tres tiempos de retención hidráulica (11, 22 y 33 días), con tres repeticiones por cada tratamiento. Los hallazgos evidenciaron que la combinación más efectiva correspondió a una dosis de 20 ml y un TRH de 33 días, logrando reducciones de 65.52% en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y 66.88% en la demanda química de oxígeno (DQO). En consecuencia, se concluyó que la aplicación de estos microorganismos favorece significativamente la disminución de la materia orgánica en aguas residuales municipales, contribuyendo al cumplimiento de la normativa ambiental vigente en Perú.

Bastidas y Vásquez (2022), en su estudio, tuvieron como propósito evaluar la efectividad de un filtro en geotextil no tejido para eliminar sólidos suspendidos totales y DQO en aguas residuales procedentes del lavado del mucílago fermentado del café. Para ello, se instaló un sistema de filtración compuesto por dos filtros: uno de prueba y otro de réplica. El geotextil utilizado tenía una apertura de tamaño de 0.025 mm y un espesor de 0.0254 m. Los resultados demostraron que la capacidad de remoción fue del 26% para el DQO, 22% para los SST y 19% para otros sólidos suspendidos.

Chacón, O. (2021), en su tesis, tuvo como objetivo principal desarrollar un sistema de tratamiento de aguas residuales y su posterior reutilización en la mencionada empresa agroindustrial. Para esto, se estableció el diseño del tratamiento basado en análisis y factores ponderados, que incluyó un tratamiento primario. Este último consistió en un sedimentador circular con los siguientes parámetros: un caudal de 4851.37 m³/día, un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 2 horas, un volumen de tanque de 404.29 m³, un área superficial de 48.52 m², un diámetro del sedimentador de 7.86 m y una altura de 8.33 m. En cuanto al tratamiento secundario, se diseñó un reactor aerobio en forma rectangular con suministro de oxígeno, con un caudal de 4851.57 m³/día, un TRH de 4 horas, un volumen de tanque secundario de 808.59 m³, un área superficial de 121.29 m², un diámetro del sedimentador secundario de 12.42 m y una altura de 6.67 m.

Chura et al. (2021), en el estudio titulado *Depuración de aguas residuales domésticas mediante microorganismos eficientes en condiciones altiplánicas en un sistema mixto (anaerobio-aeróbico)*, evaluaron la eficiencia del tratamiento de efluentes domésticos en zonas de elevada altitud empleando consorcios de microorganismos eficientes (ME) en un sistema híbrido de flujo continuo, conformado por un reactor séptico, un módulo de aireación por bandejas y un canal de oxidación. El sistema operó con un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 15 días y un caudal de 5.6 m³/día, bajo condiciones ambientales no controladas. Se efectuó el monitoreo periódico de los parámetros demanda bioquímica de oxígeno a cinco días (DBO₅), sólidos suspendidos totales (SST) y coliformes totales (CTT) con una frecuencia quinquenal, considerando tres tratamientos experimentales: T1 (control), T2 (dosificación de 3 L de ME) y T3 (dosificación de 4 L de ME). Los resultados evidenciaron que el tratamiento T3 presentó la mayor eficiencia de abatimiento, alcanzando remociones de 78% en DBO₅, 73% en SST y 99.97% en CTT; concluyéndose que la bioaumentación con microorganismos eficientes optimiza significativamente la depuración de efluentes domésticos en condiciones altiplánicas a 3 850 msnm.

Vidal (2021), en el estudio titulado *Fotocatálisis del dióxido de titanio en la reducción de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en aguas residuales de una empresa agroindustrial, Lima 2020*, tuvo como objetivo evaluar la eficacia del proceso fotocatalítico basado en dióxido de titanio (TiO_2) sobre la disminución de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en efluentes agroindustriales. Para ello, implementó un reactor fotocatalítico artesanal equipado con dos lámparas UV de 15 W, dispuesto en una estructura de madera con recubrimiento interno de múltiples capas de aluminio para optimizar la reflectancia de la radiación. Se trabajó con un volumen de 30 L de agua residual, aplicando diferentes concentraciones de TiO_2 (50, 75, 100, 150 y 250 g/L). Los resultados evidenciaron una significativa inactivación microbiológica, con reducciones desde 49×10^7 hasta 12×10^5 , alcanzando la máxima eficiencia con un tiempo de irradiación UV de 60 minutos y una dosificación óptima de 150 g/L de TiO_2 .

Wong (2021), en la tesis titulada *Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales para su reutilización y reducción de costos de consumo de agua en la empresa Alpes Chiclayo S.A.C.*, formuló un sistema integral orientado al tratamiento de efluentes generados en el procesamiento de gandul, con el objetivo de optimizar el uso del recurso hídrico mediante su reutilización y reducir los costos operativos. Inicialmente, se realizó una caracterización fisicoquímica del efluente, evidenciando la necesidad de implementar un sistema de depuración, lo que sustentó la propuesta técnica. La selección del tratamiento se efectuó mediante el método de factores ponderados, definiéndose una línea de tratamiento compuesta por pretratamiento mediante tamizado, tratamiento primario basado en procesos de coagulación–floculación empleando cloruro férrico, y tratamiento secundario a través de un filtro percolador. El diseño hidráulico del sistema incluyó un canal de entrada dimensionado para un caudal promedio de $601.08 \text{ m}^3/\text{día}$ mediante el software Hcanales, obteniéndose dimensiones de 0.20 m de ancho, 0.30 m de altura y una velocidad de 0.3392 m/s. El sistema de tamizado contempló un tamiz estático con capacidad de $60 \text{ m}^3/\text{h}$ y un tamiz tipo escalera con una abertura de 6 mm. Asimismo, el reactor de coagulación–floculación fue diseñado con un volumen de 70 m^3 , un diámetro y altura de 4.46 m, y velocidades de agitación de 200 rpm para coagulación y 70 rpm para floculación. El sedimentador presentó un volumen de 120.02 m^3 , con 7.81 m de diámetro, 2.50 m de altura y un sistema de barrido a 0.03 rpm. Por su parte, el filtro percolador de geometría circular fue dimensionado con un volumen de 1963.48 m^3 , un diámetro de 25 m y una altura de 5 m, operando con una velocidad de rotación de los brazos distribuidores de 0.66 rev/min. Finalmente, el sistema propuesto alcanzó eficiencias de remoción del

95% en DBO₅, 86% en DQO, 96.77% en SST y 84% en coliformes fecales, cumpliendo con los estándares normativos para su reutilización y evidenciando viabilidad técnico-económica.

También se tienen investigaciones locales que refuerzan la presente investigación y se muestran a continuación:

Cueva y Vásquez (2022), en la tesis titulada *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*, evaluaron la aplicación de la lombrifiltración como tecnología biológica para el tratamiento de efluentes generados en un camal municipal, caracterizados por una elevada carga orgánica susceptible de generar impactos negativos en los sistemas de alcantarillado y en la capacidad operativa de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). El objetivo del estudio fue determinar la densidad óptima de *Eisenia foetida* en un sistema de lombrifiltro para maximizar la remoción de materia orgánica. Para ello, se analizó la eficiencia de abatimiento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y la demanda química de oxígeno (DQO) bajo cuatro niveles de densidad (0, 10, 20 y 40 g/L). Los resultados, validados estadísticamente, evidenciaron que la mayor eficiencia se alcanzó con una densidad de 40 g/L, logrando remociones de 88.56% en DBO₅ y 50.52% en DQO, lo que demuestra la efectividad de la lombrifiltración como alternativa sostenible para el tratamiento de efluentes con alta carga orgánica.

Jáuregui y Melo (2020), en la tesis de pregrado titulada *Tratamiento de las aguas residuales de la PTAR Covicorti - Trujillo mediante el método de electrocoagulación*, tuvieron como propósito optimizar la reducción de parámetros fisicoquímicos como pH, turbidez, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) en efluentes de la PTAR-COVICORTI, empleando la electrocoagulación como tecnología alternativa de tratamiento. La población de estudio estuvo constituida por los efluentes de la planta, utilizándose a nivel experimental una muestra de 3 L en condiciones de laboratorio. El procesamiento de datos se realizó mediante estadística descriptiva utilizando Microsoft Excel 2016 y SPSS versión 26, con el fin de identificar las condiciones óptimas de operación. Los resultados evidenciaron que la mayor eficiencia en la reducción de turbidez se alcanzó a los 40 minutos de tratamiento, mientras que a los 60 minutos el sistema presentó inestabilidad operativa y a los 20 minutos la remoción no fue significativa; en consecuencia, el análisis estadístico determinó que el tiempo óptimo de operación fue de 40 minutos. En relación con la DBO, no se obtuvieron valores

cuantificables, debido a que durante una prueba piloto con reactivos indicadores de oxígeno la muestra presentó una apariencia lechosa, evidenciando ausencia de oxígeno disuelto, lo cual imposibilitó la medición mediante el equipo correspondiente.

Vásquez (2018), en la tesis titulada *Remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la Universidad César Vallejo - Trujillo utilizando Jacinto de Agua (Eichhornia crassipes) en humedales artificiales*, evaluó la eficiencia de sistemas de humedales artificiales plantados con *Eichhornia crassipes* para la depuración de efluentes universitarios. Las muestras fueron recolectadas del efluente de la institución y sometidas a caracterización fisicoquímica mediante la determinación de parámetros como demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos suspendidos totales (SST), antes y después del tratamiento. El sistema experimental consistió en humedales artificiales a escala de laboratorio con una capacidad de 20 L, acondicionados con macrófitas flotantes, evaluados durante un periodo de 15 días con monitoreos cada 5 días. Los resultados evidenciaron eficiencias máximas de remoción de 65.1% para DQO a los 10 días, 63.9% para DBO₅ a los 15 días y 68.2% para SST a los 10 días, demostrando una reducción significativa de la carga orgánica. Asimismo, la comparación entre las condiciones iniciales y finales indicó que, al término del periodo experimental, los efluentes tratados cumplieron con los Límites Máximos Permisibles establecidos para descargas de PTAR según el D.S. N.º 003-2010-MINAM.

Y de acuerdo con la fundamentación de la investigación se tiene que:

Las aguas residuales cuyas características originales han sido alteradas por acciones humanas, generando un deterioro en su calidad inicial (Durant y Medina, 2012). Estas aguas necesitan un tratamiento previo debido a su calidad, ya sea para ser reutilizadas, vertidas en un cuerpo de agua natural o descargadas en el sistema de alcantarillado. (Gonzales, 2016).

Las plantas de lodos activados utilizan un varios mecanismo y procesos para añadir oxígeno disuelto y promover el crecimiento de organismos biológicos que transformen grandes cantidades de materia orgánica, además de retener partículas de material y que pueda, bajo condiciones ideales, convertir amoniaco en nitrito y nitrato, en última instancia en gas nitrógeno.

El **agua residual industrial** son producto de diversas actividades industriales, tales como agropecuarias, agroindustriales, entre otras como se observa en la Tabla 1. Las propiedades de este tipo de agua varían principalmente según el tipo de proceso, subproceso o actividad que se realice. (Durant y Medina, 2012).

Tabla 1. Descarga de diferentes aguas residuales en cuerpos naturales en el Perú

Recurso Hídrico	Número de empresas (*)	N° Vertidas	Tipos de vertido				
			Doméstico	Industrial	Minero	Pesquero	Agrícola
Bahía El Ferrol	27	50	23	1	...	26	...
Rio Rímac	30	62	27	25	10	...	...
Rio Chiri	9	45	26	9	...	...	10
Lago Titicaca	23	34	29	...	5(*)	...	...
Mantaro	9	49	17	...	32	...	...
Rio chillón	3	13	10	3	...(*)	...	...
Rio Vilcanota	...	23	23	...	...	...	...
Rio Hualgayoc	35	13	3	...	10	...	...
Rio Madre de Dios	...	9	9	...	...(*)	...	...
Rio Santa	29	80	52	...	10	18	...
Rio Chira	2	15	13	1	1	...	...
Rio tumbes	12	30	9	...	...	21	...

Nota: Tomando de Giesecke (2021)

A continuación, se hace presente las características del agua residual agroindustrial del proceso de envasado y congelado de la alcachofa.

Tabla 2. Características de agua residual agroindustrial de la alcachofa

Parámetros	Unidad	Concentración
DQO	mg/L	3000 - 17000
DBO5	mg/L	2000 - 1000
pH	-	6.5 – 7.5
SST	mg/L	1400 - 1500
Conductividad	uS/cm	1000 - 1500
Aceites y grasas	mg/L	500 - 7000
Detergentes	mg/L	1 - 10
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	43 – 49
Fosforo	mg/L	10 - 14

Nota: Tomado de Robles, W. (2021).

Entre los parámetros físicos del agua encontramos a los:

Sólidos suspendidos totales, que se define como los productos de la erosión natural del suelo, como el limo, la arena y los virus, los cuales son principalmente responsables de las impurezas presentes en el agua. Estas partículas son pequeñas y

pueden generar problemas para retenerlas, pudiendo ser identificadas por características visibles como la turbidez, el sabor, el color y el olor del agua (Monsalve, 2018).

Potencia de Hidrogeno (pH), se trata de la evaluación del potencial de hidrógeno, que indica, a una temperatura determinada, la intensidad de las características ácidas, básicas o alcalinas en un cuerpo de agua, que por lo general en el tratamiento un pH optimo se debe de encontrar entre 6.50 - 7.50 pH (Inga y Laurence, 2021).

Olor, es el resultado de la descomposición de la materia orgánica, donde los gases liberados, como el ácido sulfhídrico y otras sustancias volátiles, contribuyen a la percepción de olores desagradables. Estos compuestos químicos son producidos por microorganismos durante el proceso de descomposición y pueden ser detectados por el olfato humano. (Inga y Laurence, 2021).

La turbidez, es la presencia de partículas finamente divididas o en estado coloidal que causan dispersarse en la luz y se mide en NTU (*Neophelometric Turbidity Units*). El agua turbia, además de ser poco atractiva visualmente, no es apta para el consumo. La turbidez no solo es un indicador negativo de la pureza del agua, sino que también genera problemas en la desinfección con productos químicos o radiación ultravioleta, lo que ocasiona un riesgo para los consumidores (Atoc, 2019).

La temperatura, es un indicador importante en los ecosistemas acuáticos. Un aumento o disminución en la temperatura representa una variación en la cantidad de oxígeno disuelto, lo que puede resultar en la muerte de especies acuáticas, particularmente peces, si el agua muestra baja cantidad de oxígeno. Además, la contaminación térmica puede alterar los ecosistemas acuáticos, especialmente cuando estos tienen un rango de temperatura amplio (Atoc, 2019).

Así mismo también tenemos parámetros químicos presentes en las aguas residuales, como los que mencionamos a continuación:

El **oxígeno disuelto** según Buenaventura y Tamayo (2010), es la concentración de oxígeno en un cuerpo de agua es el nivel de oxígeno presente, el cual no debe exceder la saturación. Esta medida se expresa en mg/L.

La **demanda biológica de oxígeno DBO₅**, representa la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la fracción orgánica. La determinación de este indicador permite calcular la cantidad de materia orgánica consumida y oxidada mediante un procedimiento que requiere condiciones específicas de tiempo (5 días) y temperatura (20 °C), bajo condiciones de baja iluminación. Se evalúa la concentración de oxígeno disuelto antes y

después del periodo de incubación, y el resultado se expresa en miligramos por litro (mg/L) (Panchana, 2021).

La **demanda química de oxígeno DQO**, es la cantidad de oxígeno químicamente equivalente a la materia orgánica e inorgánica que puede ser descompuesta por un agente oxidante fuerte, como el permanganato de potasio, en condiciones óptimas de temperatura y tiempo. Este método es un indicador utilizado para medir la cantidad de contaminantes orgánicos en el efluente porcino, y el resultado se expresa en mgO_2/L . (Panchana, 2021).

Algunas diferencias entre el DQO y el DBO_5 se muestran en la Tabla X a continuación.

Figura 1. Comparación entre la DBO y la DQO

DBO	DQO
Tiempo prolongado de análisis	Análisis rápido
Baja reproducibilidad	Altamente reproducible
Es más común para el diseño aerobio	Es común en el diseño de sistemas anaerobios
No asegura nitrificación	No permite la oxidación del NH_4^+
Medición directa de la biodegradabilidad	Biodegradabilidad solo con gradientes de medición
No es posible el balance de electrones	El balance de electrones se basa en la medición

Nota: Tomado de *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*, por Comisión Nacional del Agua, 2015

La **materia orgánica**, según Noriega y Villanueva (2024) está formada por compuestos carbonados obtenidos de fuentes biológicas como restos de plantas, animales y microorganismos. En los procesos de tratamiento, se utilizan métodos biológicos para descomponer, reducir o eliminar esta materia orgánica, con el objetivo de generar un efluente tratado que cumpla con los estándares ambientales.

Las **bacterias**, según Quintero (2022), se denomina a organismos procariotas unicelulares, donde las bacterias se involucran en los procesos de desintegración y neutralización de los organismos vivos, tanto en condiciones naturales o en plantas de tratamiento. En la Figura X se puede apreciar la clasificación de microorganismos, así como su donador de electrones.

Figura 2. Clasificación de microorganismos según la condición

Condición	Donador de electrón	Aceptor final de e
Aerobia	Materia orgánica o inorgánica	O ₂
Anóxica	Materia inorgánica	NO ₃ ⁻ , NO ₂ ⁻
Anaerobio	Materia orgánica o inorgánica	Materia orgánica, HCO ₃ ⁻ , SO ₄ ⁻²

Nota: Tomado de *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*, por Comisión Nacional del Agua, 2015

El **tiempo de retención hidráulico**, según Chupayo (2017), es el tiempo promedio en el que un cuerpo de agua residual se encuentra retenido en un tanque. Este tiempo se determina desde la entrada hasta la salida, y tiene gran importancia ya que define el tiempo promedio durante el cual el sustrato orgánico está sometido a tratamiento.

La **eficiencia** según Lozano (2023), es la relación entre la masa o concentración removida de la masa o concentración aplicada en un proceso o planta de tratamiento para un parámetro determinado, y el resultado puede ser expresado en decimales o porcentajes.

A continuación, se mencionarán los diferentes tipos de tratamiento del agua, así como sus procesos (anaeróbico y aeróbico).

El **tratamiento de las aguas residuales**, según Wong (2021), es un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos utilizados principalmente para purificar aguas residuales hasta alcanzar una concentración específica, logrando los parámetros ideales para su uso o disposición final. El tratamiento de aguas residuales comprende generalmente cuatro etapas: tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario. En estas etapas se aplican procesos físicos, biológicos y químicos con el objetivo de remover sólidos, materia orgánica, nutrientes y microorganismos presentes en el agua residual. Este conjunto de procesos permite reducir la carga contaminante antes de su descarga o reutilización.

Las etapas a utilizar durante este trabajo consistirán en un proceso de **pretratamiento, tratamiento biológico y sedimentación**.

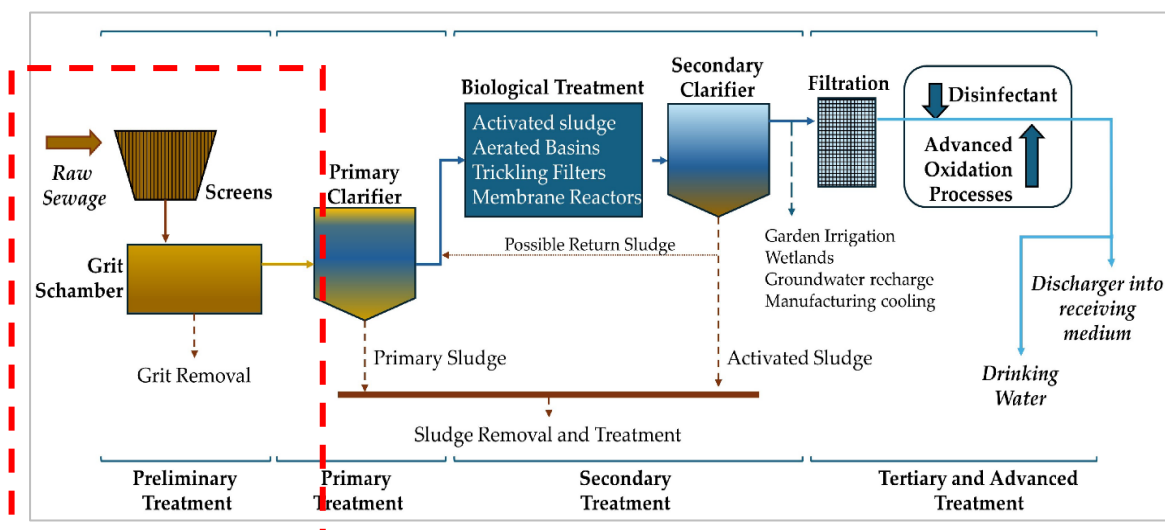
En primer lugar, se tiene la etapa de **pretratamiento**, que se utiliza para la retención de los sólidos flotantes de diámetro grande y mediano que puedan ocasionar

obstrucciones, deterioro o bloqueos en los procesos, logrando así evitar problemas durante la siguiente etapa. El tratamiento inicia con el proceso de desbaste para eliminar los sólidos, que consiste en un tamizado de las partículas. (Murillo, 2023).

El tamizado tiene la finalidad de filtrar la mayor parte de los sólidos flotantes presentes en los cuerpos de agua residual, utilizando sistemas de rejillas finas tanto para partículas grandes como medianas, reteniéndolas para ser removidas del sistema. Mientras menor sea el diámetro del orificio de las rejillas, mayor será su efectividad de retención. (Miño, 2019).

- Tamiz grueso: dimensiones de paso de luz > 3.2 mm.
- Tamiz fino: dimensiones de paso de luz entre 0.25 y 3.2 mm.

Figura 3. Etapa de tratamiento preliminar - tamizado



Nota: Tomado de *A Comprehensive Review on Various Phases of Wastewater Technologies: Trends and Future Perspectives*, por Fernandes et al., 2024

Por otro lado, dentro del tratamiento de aguas también se tiene el tratamiento primario, a pesar de que no se ha trabajado con ese proceso se hará mención, el tratamiento primario según Fernández et al. (2024), constituye una etapa fundamental dentro del proceso de depuración de aguas residuales, ya que permite remover sólidos suspendidos de mayor tamaño, materiales flotantes y parte de la materia orgánica que permanece después del tratamiento preliminar. En esta fase se emplean principalmente procesos físicos, como la sedimentación por gravedad, los cuales pueden complementarse con la adición de coagulantes o floculantes con el propósito de mejorar la eliminación de compuestos hidrofóbicos. Mediante estos mecanismos es posible lograr la remoción aproximada del 60 % de aceites y grasas, cerca del 50 % de la demanda bioquímica de

oxígeno a cinco días (DBO₅) y alrededor del 70 % de los sólidos suspendidos. Asimismo, los materiales flotantes, como aceites, grasas y residuos textiles, son retirados de la superficie del agua en forma de espuma. Esta etapa se desarrolla antes del tratamiento secundario o biológico y tiene como finalidad principal separar los sólidos presentes en el agua residual de la fracción líquida.

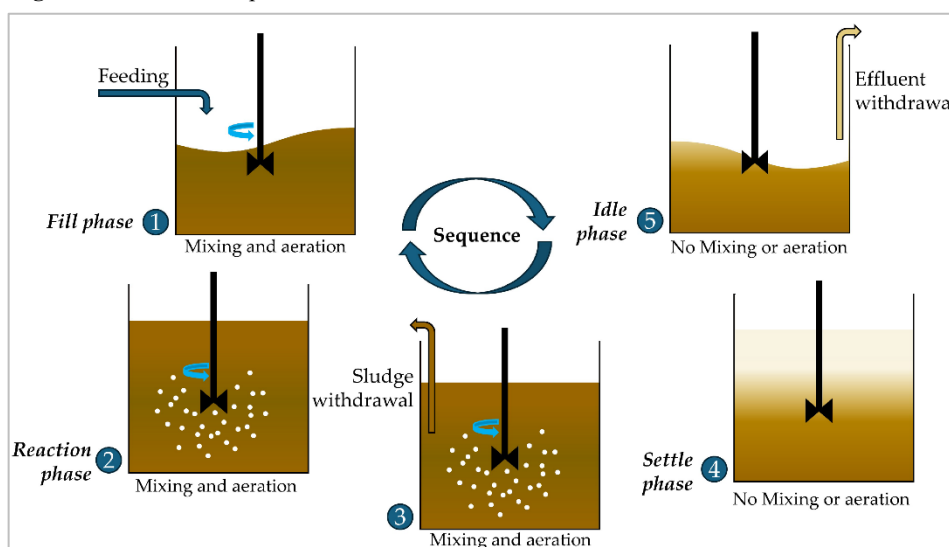
Asimismo, el tratamiento secundario se enfoca principalmente en procesos biológicos orientados a la eliminación de la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales. En esta etapa, los microorganismos utilizan los compuestos orgánicos contaminantes como fuente de alimento, transformándolos en energía necesaria para su metabolismo y en otros subproductos más simples. De esta manera, se logra reducir significativamente la carga orgánica del agua. (Miñope, 2019).

Existen tipos de tratamiento biológico entre ellos tenemos al:

Proceso anaeróbico, conocido como proceso que se utiliza para depurar las aguas residuales en ausencia de oxígeno molecular. En este proceso, los microorganismos utilizan compuestos orgánicos en lugar de oxígeno. Esto provoca la producción de biomasa celular y la descomposición de materia orgánica biodegradable en productos finales como metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂).

Los procesos anaerobios se llevan a cabo en digestores anaerobios cerrados, donde las condiciones del proceso se controlan y poder registrar la actividad de los microorganismos anaerobios. Estos microorganismos descomponen varios contaminantes orgánicos de las aguas residuales, como grasas, aceites, proteínas y carbohidratos, transformándolos en gases y compuestos estables. Este proceso tiene lugar en digestores, donde la biomasa activa se mantiene dentro del reactor. (Miñope, 2019).

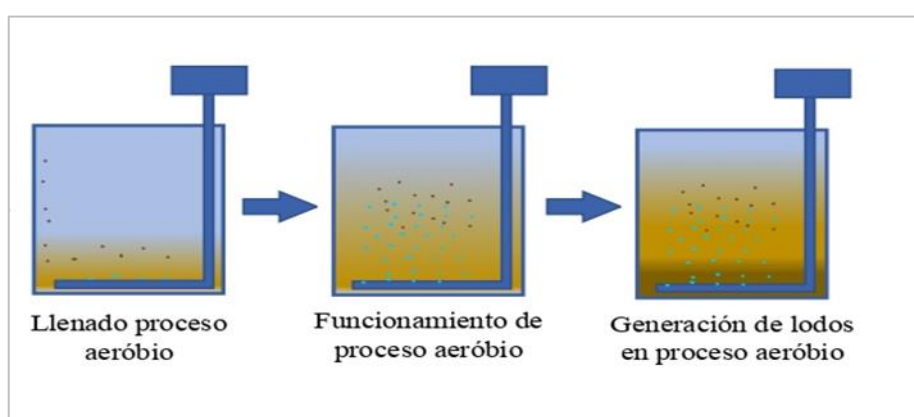
Figura 4. Secuencia del proceso anaerobio



Nota: Tomado de *A Comprehensive Review on Various Phases of Wastewater Technologies: Trends and Future Perspectives*, por Fernandes et al., 2024

Así mismo, tenemos a los **procesos aeróbicos**, que Molina (2016), nos menciona que este proceso es un tipo de tratamiento biológico utilizado para la depuración de aguas residuales en el que los microorganismos degradan la materia orgánica utilizando oxígeno. Este proceso se lleva a cabo en presencia de oxígeno disuelto en el agua o en el aire donde los microorganismos descomponen la materia orgánica biodegradable en dióxido de carbono (CO_2), agua (H_2O) y biomasa celular durante el proceso. Este tipo de tratamiento mejora la calidad del agua tratada, reduce la carga orgánica y reduce el contenido de compuestos nitrogenados, fósforo y otros contaminantes biodegradables. (Molina, 2016).

Figura 5. Desarrollo del proceso aerobio



A continuación, se realizará una comparación y se mostraran en la Tabla X las ventajas y desventajas de los procesos aerobios y anaerobios.

Tabla 3. Comparación de tratamiento anaeróbico y aeróbico

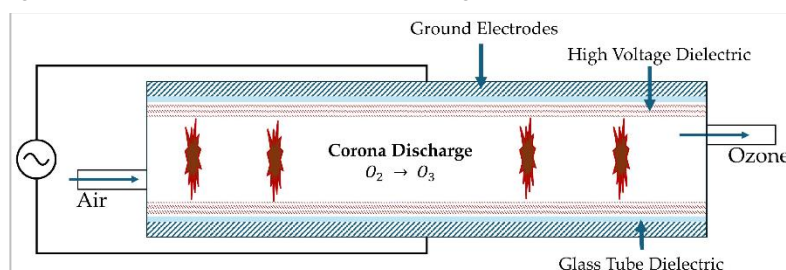
Características	Anaerobio	Aerobio
Eficiencia de remoción orgánica	Alta	Alta
Calidad del efluente	Moderada a pobre	Excelente
Tasa de carga orgánica	Alta	Moderada
Producción de lodos	Bajo	Alto
Requerimiento de nutrientes	Bajo	Alto
Requisitos de alcalinidad	Alta para ciertos residuos industriales	Bajo
Requerimiento de energía	Baja o moderada	Alto
Sensibilidad a la temperatura	Baja	Alta
Tiempo de inicio	2 – 4 semanas	2 – 4 meses

Características	Anaerobio	Aerobio
Olor	Posiblemente problemas de olores	Menor oportunidad para los olores
Recuperación de bioenergía y nutrientes	Si	No
Modo de tratamiento	Esencial pretratamiento	Total

Nota: Tomando de Inga y Laurente (2021).

Por último, tenemos a la etapa terciaria, que según Fernández et al. (2024), tiene como finalidad reducir o eliminar diversos contaminantes presentes en el agua tratada, tales como compuestos orgánicos, nutrientes, turbidez, nitrógeno, fósforo, metales pesados, así como microorganismos patógenos como bacterias y virus. Inicialmente, el agua tratada puede destinarse a usos no potables, como el riego; sin embargo, después de un proceso adecuado de desinfección, puede alcanzar condiciones aptas para otros usos más exigentes. En esta fase se emplean diferentes procesos de tratamiento, entre los que destacan la eliminación de nutrientes, la desinfección, el intercambio iónico, los procesos de membrana y la filtración. Asimismo, existen diversas tecnologías complementarias que pueden aplicarse para optimizar la remoción de contaminantes. Entre los métodos de desinfección más utilizados se encuentran la radiación ultravioleta (UV), la ozonización y la cloración.

Figura 6. Método industrial para la generación de ozono en el tratamiento de aguas residuales utilizando la técnica de descarga corona.



Nota: Tomado de *A Comprehensive Review on Various Phases of Wastewater Technologies: Trends and Future Perspectives*, por Fernandes et al., 2024

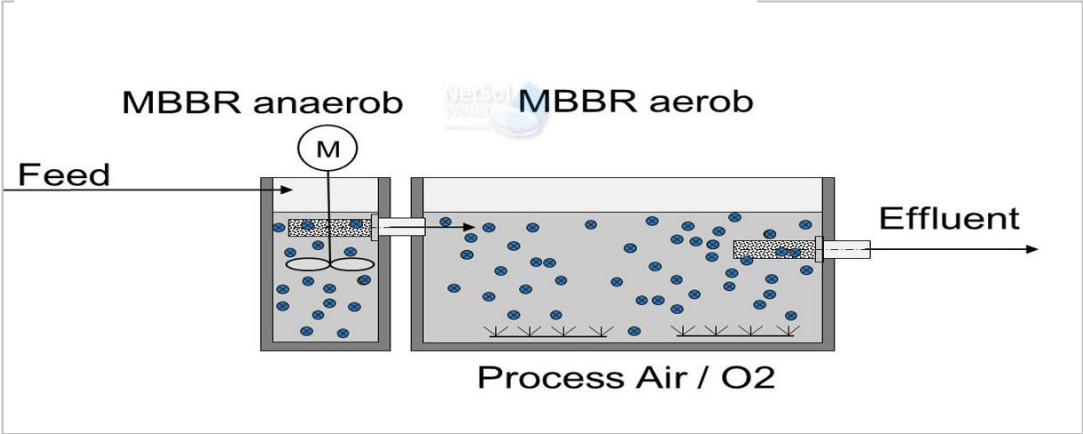
Por otro lado, una **biopelícula**, que también es conocida como *biofilm* está compuesto por una comunidad sésil muy dinámica de microorganismos, siendo una de sus características principales células irreversiblemente unidas a un sustrato o interfaz, empotradas en una matriz extracelular de sustancias polimerizadas producidas por ellas y que tienen un alto índice de crecimiento (Farinati, s. f.). Por lo que, un biorreactor de lecho móvil (MBBR) es una tecnología de tratamiento biológico basada en el crecimiento adherido de microorganismos. En este sistema, los microorganismos responsables del tratamiento se desarrollan y fijan sobre medios de soporte plásticos especialmente

diseñados, los cuales poseen una gran área superficial por unidad de volumen. Estos soportes se mantienen en movimiento dentro del reactor mediante aireación o agitación provocada por difusores. Esta tecnología permite incrementar la capacidad de tratamiento sin necesidad de realizar grandes cambios estructurales al sistema, ya que la eficiencia no depende del crecimiento de la biomasa suspendida, sino de la cantidad de medios de soporte disponibles dentro del reactor. De esta forma, se logra una mayor concentración de biomasa y un tratamiento más eficiente en comparación con otros sistemas convencionales (Cerezo y Mujica, 2023). Algunas ventajas y desventajas de este sistema de membranas se aprecian en la Tabla 4.

Tabla 4. Ventajas y desventajas del sistema de membrana de lecho móvil

VENTAJAS	DESVENTAJAS
• Mejor toleración de variaciones temporales de pH, temperatura u otros factores ambientales. • La parte interna de la biopelícula funciona como una reserva de biomasa • La presencia de sólidos en suspensión en el efluente del reactor es mínima	• El ingreso de sólidos de gran tamaño puede provocar la obstrucción de los medios de soporte afectando la eficiencia del tratamiento. • Las rejillas retenedoras de medios de soporte pueden obstruirse si no se realiza un pretratamiento adecuado del efluente.

Figura 7. Diagrama de proceso de sistema de membrana de lecho móvil



Nota: Tomado de *A Comprehensive Review on Various Phases of Wastewater Technologies: Trends and Future Perspectives*, por Fernandes et al., 2024

II. METODOLOGÍA

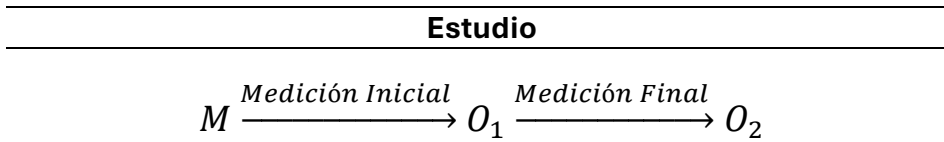
2.1. Enfoque y tipo de investigación

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque **cuantitativo**, debido a que se basó en la recolección y análisis de datos numéricos Hernández et al. (2014) obtenidos a partir de la medición de parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales. El alcance del estudio es **descriptivo–correlacional**, ya que se describe el comportamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales y se analizan las relaciones entre las diferentes etapas del proceso y la remoción de la carga orgánica. Este enfoque permite identificar la asociación entre las variables del sistema dentro de su contexto real de operación, conforme a la clasificación metodológica propuesta por Sampieri et al. (2014)

2.2. Diseño metodológico

El diseño de la presente investigación es **no experimental y de tipo transeccional**, debido a que las variables de estudio no fueron manipuladas deliberadamente, sino observadas y analizadas tal como se presentan en el sistema de tratamiento de efluentes. La recolección de datos se realizó mediante campañas de muestreo específicas, lo que permitió evaluar el comportamiento del sistema en su contexto real de operación y en un momento determinado del tiempo. En este sentido, la investigación no experimental se caracteriza por estudiar los fenómenos en su ambiente natural, sin intervenir ni modificar las variables de estudio, limitándose el investigador a observarlos y analizarlos tal como ocurren en la realidad (Arias, 2012). Este enfoque metodológico permitió examinar el funcionamiento del sistema de tratamiento y el desempeño de sus diferentes etapas bajo condiciones operativas reales. Asimismo, el estudio presenta un **alcance descriptivo–correlacional**, ya que se caracteriza la eficiencia de remoción de materia orgánica oxidante presente en las aguas residuales y se analizan las relaciones entre las etapas del proceso de tratamiento y la reducción de la carga orgánica. De esta manera, se busca describir el comportamiento del sistema y determinar la posible asociación entre las variables evaluadas, conforme a la clasificación metodológica propuesta por Sampieri et al. (2014).

Tabla 5. Esquema de diseño de investigación



Nota: Para visualizar el diseño de la investigación, se puede utilizar el siguiente esquema, donde las flechas indican el flujo temporal del estudio. Además, mencionar que el sistema de tratamiento no ha sido manipulado ya que el presente estudio es no experimental.

Donde:

M: muestra de aguas residuales del sistema de tratamiento.

O1: Simboliza la medición de los parámetros de calidad del agua antes del tratamiento

O2: Representa la medición de los parámetros después del tratamiento para evaluar la eficiencia de remoción.

2.3. Población y muestra

La población del presente estudio estuvo constituida por el sistema de tratamiento de efluentes que combina procesos biológicos aerobios mediante reactores de lecho móvil con biopelícula (MBBR). En este contexto, la unidad de análisis no corresponde a individuos ni a muestras aisladas de agua, sino al proceso de tratamiento en su conjunto, evaluado a partir del comportamiento de la remoción de materia orgánica oxidante a lo largo de sus diferentes etapas del sistema.

La muestra estuvo conformada por nueve eventos de muestreo realizados durante el periodo de estudio en los diferentes puntos accesibles del proceso de tratamiento, en los cuales se efectuaron mediciones de materia orgánica oxidante expresada como Demanda Química de Oxígeno (DQO). Estos eventos incluyeron mediciones efectuadas bajo condiciones de carga orgánica alta y baja, de acuerdo con las condiciones operativas del sistema y la disponibilidad de acceso a los puntos de muestreo, lo que permitió analizar el desempeño del sistema de tratamiento bajo distintas condiciones de funcionamiento.

El tipo de muestreo utilizado fue no probabilístico por conveniencia, debido a que la selección de los eventos de muestreo y de los puntos de medición dependió de la accesibilidad operativa del sistema y de las condiciones reales de funcionamiento, sin la posibilidad de establecer un marco muestral ni realizar una selección aleatoria. Este enfoque es consistente con estudios de diseño no experimental y observacional, en los cuales los fenómenos se analizan tal como ocurren en su contexto natural, sin manipulación deliberada de las variables (Arias, 2012).

En consecuencia, los resultados obtenidos y las inferencias derivadas del estudio se circunscriben al contexto específico del sistema evaluado y a los eventos de muestreo realizados, sin pretender realizar generalizaciones estadísticas a otras poblaciones o sistemas de tratamiento distintos.

2.4. Técnicas e instrumentos de recojo de datos

Para el desarrollo de la investigación se empleó la **técnica de observación directa** del sistema de tratamiento de efluentes en operación, con el propósito de identificar las condiciones de funcionamiento de cada una de las etapas del proceso, tales como el tanque físico, los reactores de lecho móvil con biopelícula (MBBR) y la etapa de postratamiento, así como las variaciones en la carga orgánica de entrada. Esta técnica permitió contextualizar los resultados analíticos dentro del comportamiento real del sistema y comprender las condiciones operativas bajo las cuales se realizaron las mediciones.

Asimismo, se aplicó la **técnica de medición analítica** para cuantificar la concentración de materia orgánica oxidante en los diferentes puntos del proceso de tratamiento. Las mediciones se realizaron durante eventos de muestreo específicos en los distintos puntos accesibles del sistema, incluyendo la entrada del tratamiento, las etapas del proceso biológico y la salida del sistema, considerando condiciones de carga orgánica alta y baja. Esto permitió evaluar la eficiencia de remoción del sistema a lo largo de sus diferentes etapas de tratamiento.

En el presente estudio se emplearon **registros de laboratorio y fichas de registro** como instrumentos para la recopilación y organización de la información. Los **registros de laboratorio** fueron utilizados para consignar los valores obtenidos del análisis de materia orgánica oxidante, expresada como **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**, correspondientes a cada punto del proceso y a cada evento de muestreo, constituyendo la fuente primaria de datos cuantitativos para el análisis de la eficiencia de remoción del sistema. Por su parte, las **fichas de registro** permitieron organizar la información recolectada durante los eventos de muestreo, incluyendo las concentraciones medidas, la ubicación de los reactores dentro del sistema de tratamiento y las observaciones operativas relevantes registradas durante el proceso de monitoreo.

2.5. Técnicas de procesamiento y análisis de la información

El procesamiento de la información se realizó mediante la organización, depuración y sistematización de los datos obtenidos en los eventos de muestreo. Los valores registrados fueron organizados en matrices de datos considerando el punto de

medición dentro del sistema de tratamiento, la fecha del muestreo y la condición de carga orgánica (alta o baja). Posteriormente, los datos fueron revisados para verificar su consistencia y facilitar su análisis.

Para el procesamiento de los datos y la elaboración de tablas y gráficos se utilizó el software Microsoft Excel, herramienta que permitió organizar la información y representar el comportamiento del sistema de tratamiento en los diferentes eventos de monitoreo.

El análisis de la información se realizó bajo un enfoque cuantitativo y un diseño no experimental de alcance descriptivo–correlacional. Se aplicaron técnicas de estadística descriptiva, incluyendo el cálculo de promedios, porcentajes de remoción y la elaboración de gráficos comparativos para describir el comportamiento del sistema de tratamiento bajo condiciones de carga orgánica alta y baja.

La eficiencia de remoción de materia orgánica oxidante, expresada como Demanda Química de Oxígeno (DQO), fue calculada mediante la comparación entre las concentraciones medidas en los diferentes puntos del sistema de tratamiento, utilizando la siguiente expresión (Allen et al., 1998):

$$\%Remoción = \frac{Concentración\ A_f - Concentración\ E_f}{Concentración\ A_f} * 100$$

Donde:

A_f : Afluente; E_f : Efluente

Este cálculo permitió evaluar el desempeño del sistema de tratamiento y determinar el grado de reducción de materia orgánica oxidante a lo largo de las diferentes etapas del proceso. Asimismo, se elaboraron tablas y gráficos comparativos que permitieron describir el comportamiento del sistema de tratamiento en sus diferentes etapas, así como analizar las variaciones en la eficiencia de remoción bajo condiciones de carga orgánica alta y baja.

Tabla 6. Tabla utilizada en Excel para procesamiento de datos

Resultado de muestreo DQO (mg/L)								
Fecha	Hora	Carga Orgánica	T. Físico	Pre Mbbr	MbbrA	MbbrB	MbbrC	Post Mbbr

2.6. Aspectos éticos en investigación

La presente investigación se desarrolló respetando los principios éticos de la investigación científica promovidos por la Universidad Católica de Trujillo, orientados a la responsabilidad académica, la integridad científica y el respeto por el entorno social y ambiental. En primer lugar, el estudio se llevó a cabo bajo un diseño no experimental y observacional, sin manipulación deliberada de las condiciones de operación del sistema de tratamiento de efluentes, evitando cualquier alteración que pudiera generar riesgos ambientales, técnicos u operativos. Los datos analizados corresponden a mediciones realizadas durante el funcionamiento normal del sistema, garantizando que la investigación no ocasionó impactos negativos sobre el proceso ni sobre el entorno.

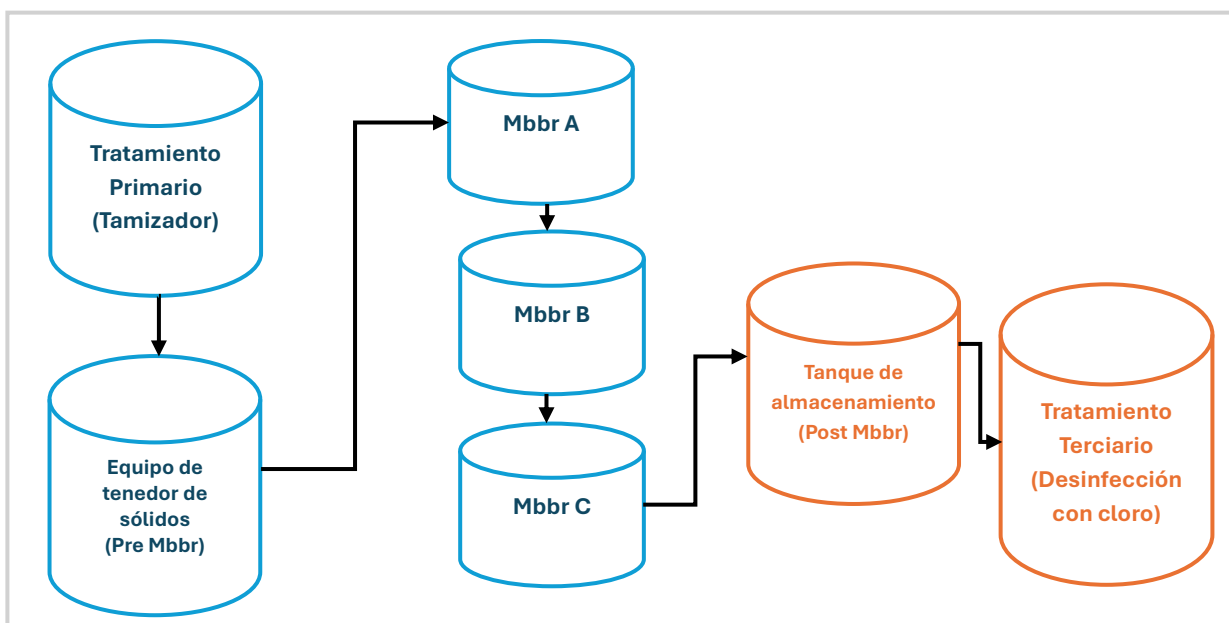
Asimismo, la información utilizada fue tratada con criterios de confidencialidad y uso responsable, empleándose exclusivamente con fines académicos y científicos. Los resultados obtenidos fueron presentados de manera objetiva, transparente y veraz, sin alteración, omisión ni manipulación de los datos recolectados.

Finalmente, la investigación respetó los principios de honestidad intelectual, reconociendo adecuadamente las fuentes bibliográficas empleadas y evitando cualquier forma de plagio o uso indebido de información, en concordancia con los valores éticos y formativos que promueve la Universidad Católica de Trujillo en el desarrollo de trabajos de investigación.

III. RESULTADOS

El sistema de tratamiento de la planta de aguas residuales, comprende las etapas mostradas en la Figura 7. y en la Figura 8 se puede apreciar una vista de esta.

Figura 8. Esquema del sistema de tratamiento de efluentes basado en reactores MBBR evaluado en el presente estudio.



Nota: El esquema representa el sistema de tratamiento de efluentes evaluado en el presente estudio. El proceso inicia con el tratamiento primario mediante rejilla para la retención de sólidos gruesos, seguido de un equipo de separación de sólidos. Posteriormente, el efluente ingresa al proceso biológico compuesto por tres reactores de lecho móvil con biopelícula (MBBR A, B y C), donde se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica. Luego, el flujo pasa a un sedimentador para la separación de los sólidos biológicos generados durante el proceso. Finalmente, el efluente tratado es sometido a un tratamiento terciario mediante desinfección con cloro antes de su descarga. La eficiencia del sistema se evaluó a partir de la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) a lo largo de las diferentes etapas del tratamiento.

Figura 9. Vista de la Planta de Tratamiento

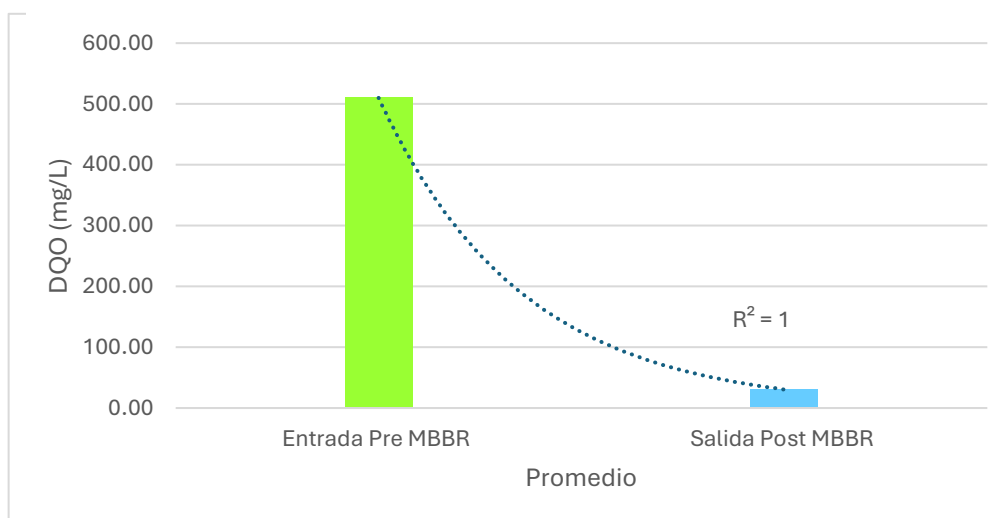


Carga orgánica y la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en un sistema de biopelícula de lecho móvil en Trujillo

Los resultados obtenidos en los eventos de monitoreo muestran una reducción significativa de la concentración de materia orgánica oxidante, expresada como Demanda Química de Oxígeno (DQO), a lo largo del sistema de tratamiento. Las concentraciones registradas en el punto de entrada del proceso biológico (Pre MBBR) oscilaron entre 427.5 mg/L y 676.75 mg/L, mientras que en el efluente final tratado (Post MBBR) se registraron valores entre 7 mg/L y 49.3 mg/L.

A partir de estos valores se calculó la eficiencia de remoción del sistema, obteniéndose eficiencias que variaron entre 92.05 % (carga orgánica alta) y 95.55 % (carga orgánica baja), con una eficiencia promedio aproximada de 93.8 %. Estos resultados evidencian un alto desempeño del sistema de tratamiento basado en la combinación de procesos anaerobios y aerobios mediante reactores de lecho móvil con biopelícula (MBBR), incluso bajo condiciones variables de carga orgánica.

Figura 10. Promedio de ingreso de efluente vs salida de efluente - DQO (mg/L)



Nota: La gráfica muestra el promedio de las concentraciones de Demanda Química de Oxígeno (DQO) registradas en la entrada del proceso biológico (Pre MBBR) y en la salida final del sistema (Post MBBR) durante los eventos de monitoreo realizados. Se observa una reducción significativa de la concentración de materia orgánica oxidante a lo largo del sistema de tratamiento, evidenciando la eficiencia del proceso biológico en la remoción de carga orgánica.

Tabla 7. Resultado de muestreo DQO (mg/L)

Fecha	Hora	Carga Orgánica	T. Físico	Pre Mbbr	MbbrA	MbbrB	MbbrC	Post Mbbr
22/10/2025	15:00	Alta	677.7	-	516.6	306.5	318.3	-
23/10/2025	9:00	Alta	676.75		533.3	600	427.5	-
23/10/2025	11:30	Alta	-	427.5	-	-	-	49.3
24/10/2025	9:00	Alta	-	551.2	-	-	-	33.9
24/10/2025	11:30	Alta		501.2	-	-	-	30.8
27/10/2025	9:00	Baja	-	601	-	99	-	35
27/10/2025	11:30	Baja	-	548	-	40	-	7
28/10/2025	11:30	Baja	-	431	-	56	-	27
28/10/2025	12:00	Baja	-	464	-	-	-	-

La tabla 7 presenta los resultados obtenidos durante los eventos de monitoreo realizados al sistema de tratamiento de efluentes en diferentes puntos del proceso. Las mediciones corresponden al parámetro Demanda Química de Oxígeno (DQO), expresado en mg/L, el cual permite evaluar la concentración de materia orgánica oxidante presente en el efluente a lo largo de las distintas etapas del tratamiento.

El análisis de tendencia de las curvas indicó un comportamiento decreciente de tipo exponencial que concuerda con el comportamiento real de los sistemas bioquímicos, con coeficientes de determinación (R^2) elevados cercanos a 1, lo que evidencia que la disminución de la DQO guarda una relación funcional directa con el avance del efluente a través de las etapas del proceso. Estos valores de R^2 confirman que la remoción observada es consistente y no aleatoria.

Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para evaluar la distribución de los datos correspondientes a las concentraciones de DQO de carga orgánica alta de entrada y salida del sistema de tratamiento. Los resultados mostraron valores de significancia de 0.790 para la DQO de entrada y 0.300 para la DQO de salida, ambos superiores al nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, se concluye que los datos presentan una distribución normal, lo que permite la aplicación de análisis estadísticos paramétricos.

Tabla 8. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para las concentraciones de DQO (carga orgánica alta) de entrada y salida del sistema de tratamiento

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
DQO entrada	.988	3	.790
DQO salida	.872	3	.300

Se realizó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para evaluar la distribución de los datos de DQO de carga orgánica baja de entrada y salida del sistema de tratamiento. Los resultados mostraron valores de significancia de 0.591 para la DQO de entrada y 0.537 para la DQO de salida, ambos superiores al nivel de significancia de 0.05, lo que indica que los datos presentan una distribución normal.

Tabla 9. Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para las concentraciones de DQO (carga orgánica baja) de entrada y salida del sistema de tratamiento

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
DQO entrada	.955	3	.591
DQO salida	.942	3	.537

Con el objetivo de evaluar si la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) entre el influente y el efluente (carga orgánica alta) del sistema de tratamiento era estadísticamente significativa, se aplicó la prueba t de Student para muestras emparejadas. Los resultados mostraron una diferencia media de 455.30 mg/L entre las concentraciones de entrada y salida, con un valor de $t = 11.143$ y un nivel de significancia de 0.008 ($p < 0.05$). Estos resultados indican que existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos puntos del sistema, confirmando la alta eficiencia del proceso de tratamiento en la remoción de materia orgánica oxidante.

Tabla 10. Resultados de la prueba t de Student para muestras emparejadas entre la DQO carga orgánica alta de entrada y salida del sistema de tratamiento.

	Media	Desviación Estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
DQOentrada – DQOsalida	455.3	70.7681	40.85	279.5	631.09	11.143	2	.008

Se realizó una prueba t de muestras emparejadas para comparar la DQO de entrada y salida del reactor bajo condiciones de carga orgánica baja. Los resultados mostraron una diferencia significativa entre ambas variables ($t = 10.003$; $p = 0.010 < 0.05$), evidenciando una reducción significativa de la carga orgánica en el sistema de tratamiento.

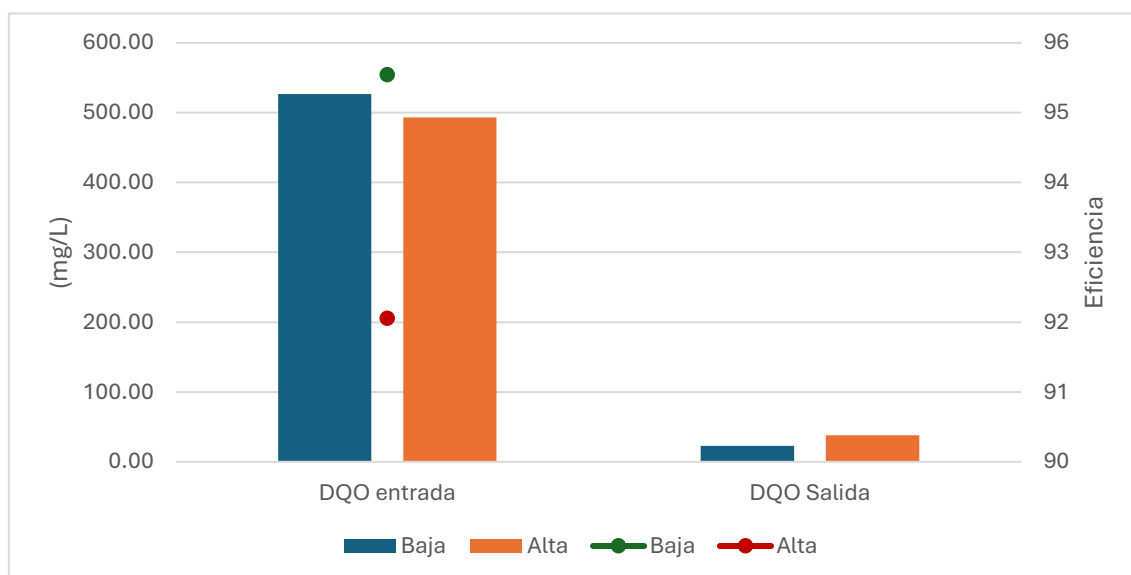
Tabla 11. Prueba t de muestras emparejadas para la DQO de entrada y salida del reactor bajo condiciones de carga orgánica baja

	Media	Desviación Estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
DQO entrada – DQO salida	503.6	87.21	50.35	287.014	720.31	10.0	2	.010

Para evaluar la estabilidad del sistema de tratamiento se analizaron las concentraciones de Demanda Química de Oxígeno (DQO) registradas durante los eventos de monitoreo clasificados como condiciones de carga orgánica alta y baja. Este análisis permitió determinar el comportamiento del sistema frente a variaciones en la carga contaminante que ingresa al proceso biológico.

Durante los eventos clasificados como carga orgánica alta, las concentraciones de DQO en el influente del sistema biológico registraron valores entre aproximadamente 427.5 mg/L y 551.2 mg/L, mientras que el efluente final presentó concentraciones significativamente menores, con valores entre 30.8 mg/L y 49.3 mg/L. Estos resultados evidencian una elevada capacidad de remoción del sistema incluso cuando la carga orgánica inicial es alta.

Figura 11. Comparación de la eficiencia de remoción de DQO del sistema MBBR bajo condiciones de carga orgánica alta y baja.



Nota: La Figura 11 presenta la comparación de las concentraciones promedio de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el influente y efluente del sistema de tratamiento bajo condiciones de carga orgánica alta y baja. Los resultados muestran que, aunque las concentraciones de entrada presentan variaciones entre ambas condiciones, el sistema mantiene concentraciones finales significativamente bajas. Asimismo, la

eficiencia de remoción registrada fue aproximadamente de 92 % bajo carga alta y cercana al 95.5 % bajo carga baja, lo que evidencia un comportamiento estable del sistema de tratamiento frente a variaciones en la carga orgánica del influente.

Por otro lado, en los eventos correspondientes a carga orgánica baja, las concentraciones registradas en el influente oscilaron entre 431 mg/L y 601 mg/L, mientras que en el efluente final se obtuvieron valores entre 7 mg/L y 35 mg/L, lo que refleja igualmente una reducción significativa de la carga orgánica.

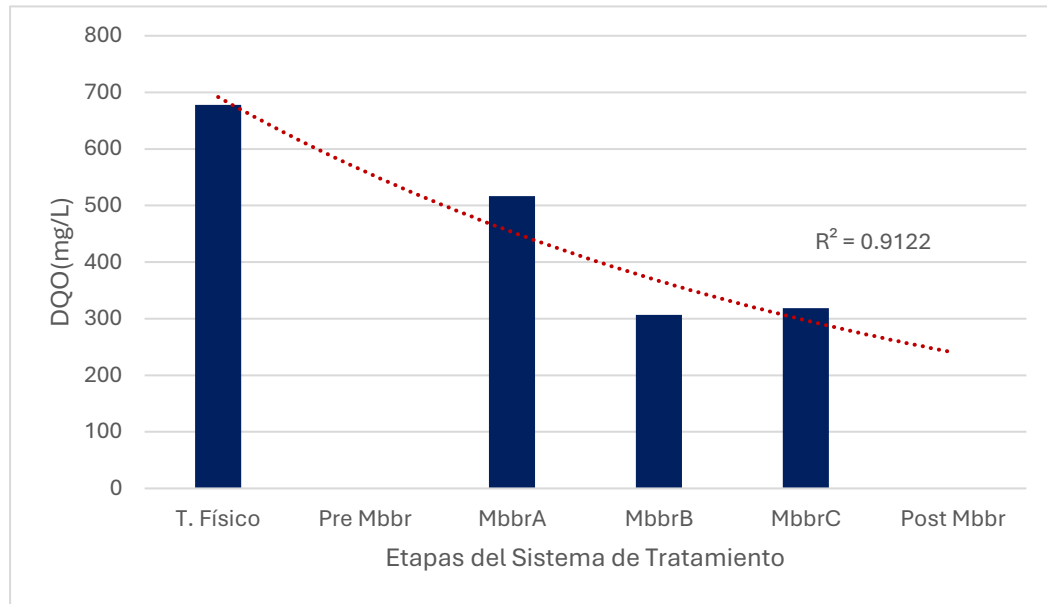
En términos generales, los resultados obtenidos demuestran que el sistema de tratamiento mantiene altas eficiencias de remoción de DQO bajo diferentes condiciones de carga orgánica, evidenciando un comportamiento estable del proceso biológico. Esta estabilidad sugiere que el sistema presenta una adecuada capacidad de adaptación frente a variaciones en la carga contaminante, garantizando la calidad del efluente tratado.

Remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y la carga orgánica alta.

Con el fin de evaluar la eficiencia total de remoción de materia orgánica oxidante del sistema de tratamiento, se analizaron los eventos de monitoreo correspondientes a condiciones de carga orgánica alta. Para ello, se consideraron las concentraciones registradas en el punto de entrada del proceso biológico (Pre MBBR) y en la salida del sistema (Post MBBR), expresadas como Demanda Química de Oxígeno (DQO).

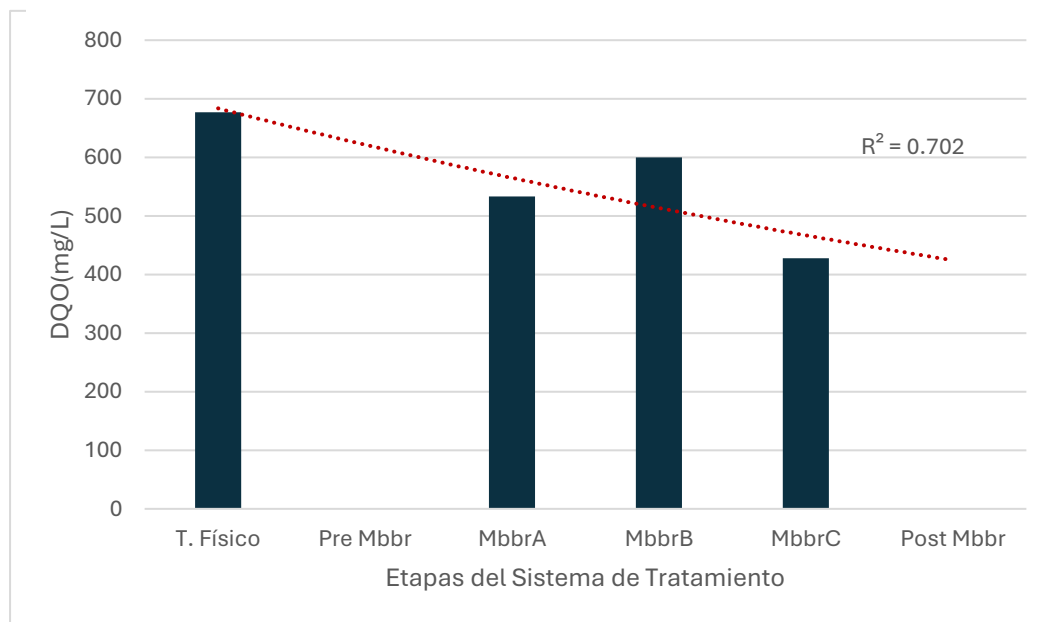
En la Figura 11, 12 y 13, que corresponde a los cinco eventos de los días 23, 24 por la mañana y 22 por la tarde, bajo carga orgánica alta, se observó que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) disminuye desde 667.7 mg/L en el Pre-MBBR hasta 30.8 mg/L en el Post-MBBR, lo que representa una eficiencia total de remoción del 92.06%. La forma decreciente de la curva confirma que, aun bajo condiciones de elevada carga orgánica, el sistema es capaz de reducir de manera sustancial la concentración de materia orgánica oxidante.

Figura 12. DQO vs etapas del proceso bajo carga orgánica alta - día 22/10/2025, hora: 15:00 pm



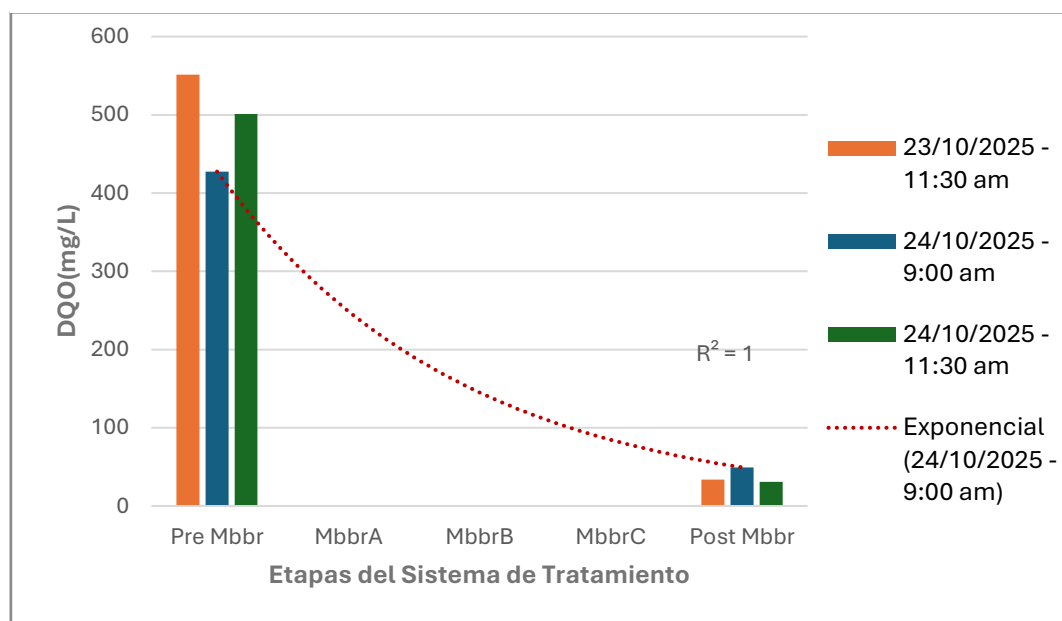
Nota: El gráfico representa los niveles de DQO en las diferentes etapas del sistema de tratamiento en el día 22 de octubre del 2025 a las 3 pm.

Figura 13. DQO vs etapas del proceso bajo carga orgánica alta - día 23/10/2025, hora: 09:00 am



Nota: El gráfico representa los niveles de DQO en las diferentes etapas del sistema de tratamiento en el día 23 de octubre del 2025 a las 9 am.

Figura 14. DQO vs etapas del proceso bajo carga orgánica alta – días 23 y 24 en la mañana



Nota: El grafico representa los niveles de DQO en las diferentes etapas del sistema de tratamiento en los días 23 y 24 en diferentes horarios.

Según los resultados obtenidos se demuestra que, la eficiencia de remoción del sistema de tratamiento en carga orgánica alta supero ampliamente el valor mínimo establecido en el objetivo de investigación (60 %). Estos resultados evidencian el adecuado desempeño del sistema de tratamiento basado en reactores de lecho móvil con biopelícula (MBBR) para la reducción de materia orgánica oxidante en condiciones reales de operación. Para comprobar el cumplimiento del objetivo, solo se consideraron las campañas de alta carga orgánica con datos completos de entrada (Pre-MBBR) y salida (Post-MBBR), ya que la eficiencia total requiere ambos puntos.

Tabla 12. Muestras evaluables para eficiencia de remoción en carga orgánica alta

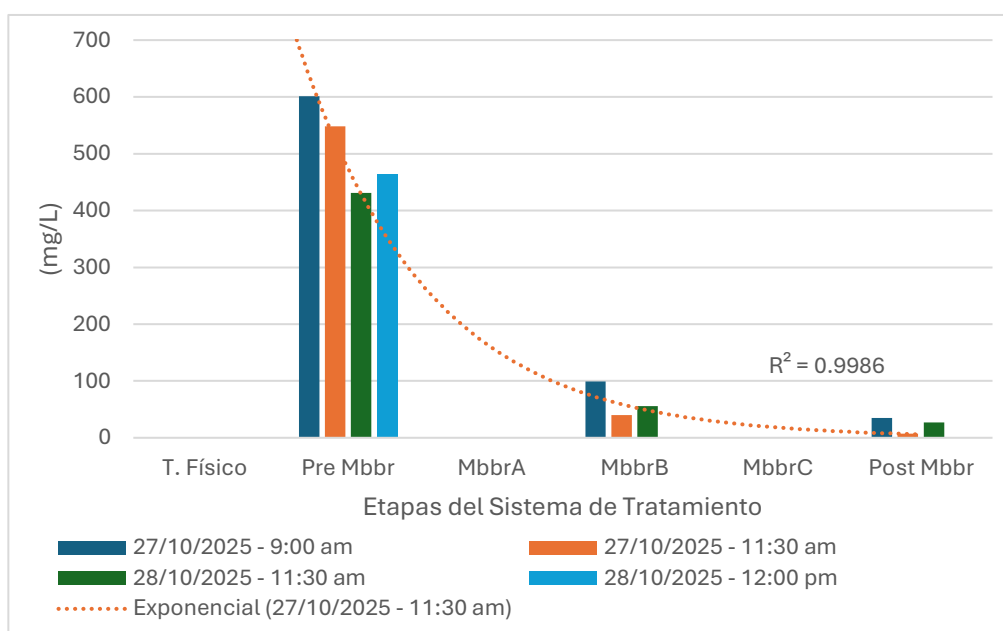
Fecha	Hora	Concentración	Concentración
23-Oct	11:30:	Pre-MBBR = 427.5 mg/L	Post-MBBR = 49.3 mg/L
24-Oct	09:00:	Pre-MBBR = 551.2 mg/L	Post-MBBR = 33.9 mg/L
24-Oct	11:30:	Pre-MBBR = 501.2 mg/L	Post-MBBR = 30.8 mg/L

Remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y la carga orgánica baja.

Los resultados obtenidos bajo condiciones de carga orgánica baja evidencian un alto desempeño del sistema de biopelícula de lecho móvil (MBBR) en la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). Las concentraciones registradas en el punto de entrada al sistema biológico (Pre MBBR) oscilaron entre 431 mg/L y 601 mg/L, mientras que en el efluente tratado (Post MBBR) se obtuvieron valores significativamente

menores, comprendidos entre 7 mg/L y 35 mg/L. A partir de estos datos, se estimaron eficiencias de remoción superiores al 90% en todos los eventos analizados, alcanzando valores cercanos al 98% en algunos casos, lo que demuestra una elevada capacidad del sistema para la degradación de materia orgánica bajo condiciones de baja carga. En conjunto, estos resultados evidencian que el sistema mantiene una alta eficiencia y estabilidad operativa bajo condiciones de carga orgánica baja.

Figura 15. DQO vs etapas del proceso bajo carga orgánica baja – días 27 y 28 en la mañana - tarde

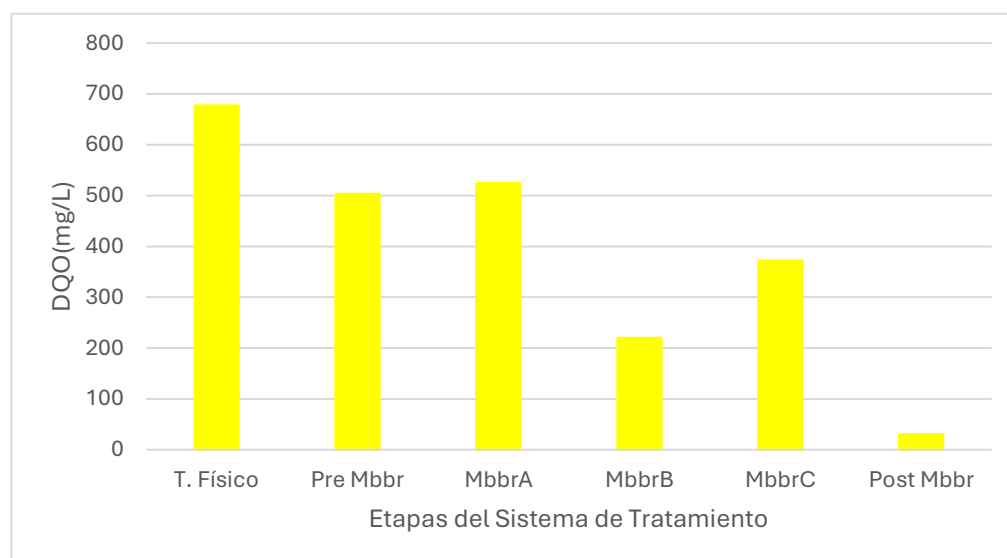


Nota: El gráfico muestra que la mayor reducción de DQO ocurre en las primeras etapas del tratamiento biológico, particularmente entre el ingreso al sistema y el reactor MBBR B, lo cual indica una elevada actividad microbiológica en la biopelícula. La curva de tendencia exponencial presenta un coeficiente de determinación elevado ($R^2 = 0.9986$), lo que sugiere un ajuste adecuado del modelo y confirma el comportamiento típico de degradación de la materia orgánica en sistemas biológicos. En conjunto, estos resultados evidencian que el sistema mantiene un alto nivel de eficiencia y estabilidad operativa bajo condiciones de carga orgánica baja.

Remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y variabilidad de DQO entre etapas.

Para evaluar la eficiencia de remoción de DQO en un sistema de biopelícula de lecho móvil, se analizaron las concentraciones registradas en los diferentes reactores del sistema biológico tipo MBBR. Las mediciones corresponden al parámetro Demanda Química de Oxígeno (DQO), el cual permite estimar la cantidad de materia orgánica presente en el efluente a lo largo de las etapas del tratamiento.

Figura 16. Promedio de concentraciones de DQO en las diferentes etapas del sistema de tratamiento MBBR.



Nota: Los valores representan el promedio de las concentraciones de Demanda Química de Oxígeno (DQO) registradas en cada punto de muestreo del sistema de tratamiento durante el periodo de monitoreo. Se observa una reducción progresiva de la concentración de DQO a lo largo de las etapas del proceso, alcanzando los valores más bajos en el efluente final (Post MBBR).

Como se observa en la Figura 14, las concentraciones promedio de DQO disminuyen progresivamente a lo largo de las diferentes etapas del sistema de tratamiento. La mayor reducción se presenta en los reactores biológicos del sistema MBBR, alcanzándose las menores concentraciones en el efluente final, lo que evidencia la alta eficiencia del proceso en la remoción de materia orgánica. Los resultados obtenidos evidencian una reducción progresiva de las concentraciones de DQO a medida que el efluente atraviesa los reactores del sistema biológico. En el punto de ingreso al proceso biológico (Pre MBBR), se registraron concentraciones de hasta 677.7 mg/L. Posteriormente, en los reactores intermedios del sistema, particularmente en el reactor MBBR B, las concentraciones disminuyeron considerablemente, registrándose valores promedios de 524.95 mg/L, lo que evidencia la degradación progresiva de la materia orgánica por acción de la biomasa adherida presente en los medios móviles.

Asimismo, en el efluente final del sistema (Post MBBR) se registraron concentraciones aún menores, con valores promedios de 30.5 mg/L. Estos resultados reflejan una reducción significativa de la carga orgánica a lo largo del proceso biológico. En términos generales, el comportamiento observado demuestra que el sistema de

reactores de lecho móvil con biopelícula logra eficiencias de remoción de DQO superiores al 80 %, cumpliendo con el criterio establecido en el objetivo de investigación.

El análisis de la eficiencia de remoción por tramos del sistema de tratamiento mostró una reducción progresiva de la concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO) a lo largo de las diferentes unidades del proceso. La mayor eficiencia de remoción se observó en los reactores biológicos del sistema MBBR, particularmente entre los reactores MBBR A y MBBR B, donde se evidenció una disminución significativa de la carga orgánica. Asimismo, el efluente final presentó concentraciones promedio cercanas a 30.5 mg/L, lo que representa una eficiencia total de remoción aproximada del 95 % respecto a la concentración inicial registrada después del tratamiento físico.

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian una reducción progresiva de la concentración de DQO a lo largo de las diferentes etapas del sistema de tratamiento. Este comportamiento se relaciona con la acción de los microorganismos adheridos a los soportes móviles del sistema MBBR, los cuales forman biopelículas capaces de degradar la materia orgánica presente en el agua residual. La disminución más significativa observada en los reactores intermedios del sistema sugiere que en estas unidades se desarrolla una actividad biológica más intensa, favoreciendo la oxidación de compuestos orgánicos y la reducción de la carga contaminante. A diferencia de otros estudios en los que se emplearon microorganismos específicos, plantas, compuestos químicos o diversas tecnologías para la reducción de la carga orgánica (Chen et al., 2026; Feng et al., 2025; Mompó et al., 2024b; Nuno et al., 2023), los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que el uso de sistemas Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR) constituye una alternativa altamente eficiente para la remoción de materia orgánica medida como Demanda Química de Oxígeno (DQO). En este estudio se alcanzó una eficiencia de remoción de aproximadamente 93 %, valor que resulta superior al reportado por Solís (2023), quien obtuvo una eficiencia de 58.4 % de remoción de DQO mediante el uso de un humedal artificial como sistema de tratamiento. Esta diferencia podría atribuirse a las características operativas del sistema MBBR, el cual favorece el desarrollo de biopelículas adheridas a medios de soporte móviles, permitiendo una mayor superficie para el crecimiento microbiano y, por ende, una mayor capacidad de degradación de la materia orgánica presente en el efluente.

De manera similar, Tupacyupanqui (2023) realizó un estudio orientado a evaluar la remoción de materia orgánica en dos sistemas de tratamiento diferentes. En dicha investigación se llevó a cabo un periodo de evaluación de 15 días, similar al desarrollado en la presente tesis. Como resultado, el autor reportó una eficiencia de remoción de 90.2 % en el sistema 1 y 88.6 % en el sistema 2, valores que resultan comparables con los obtenidos en este estudio, donde se alcanzó una remoción aproximada del 93 % de Demanda Química de Oxígeno (DQO). La similitud en los resultados podría atribuirse a que en ambos casos los sistemas de tratamiento incluyen procesos de oxidación aerobia, los cuales favorecen la actividad de microorganismos encargados de la degradación biológica de la materia orgánica presente en el agua residual. Estos procesos permiten una reducción significativa de la carga orgánica, lo que contribuye a mejorar la calidad del efluente tratado.

Otro aspecto relevante observado en el presente estudio es la estabilidad del sistema de tratamiento frente a variaciones en la carga orgánica del influente. Los resultados evidenciaron que, tanto en condiciones de carga orgánica alta como baja, el sistema mantuvo altas eficiencias de remoción de DQO. Este comportamiento sugiere que el sistema MBBR posee una adecuada capacidad de adaptación frente a fluctuaciones en la carga contaminante, lo cual representa una ventaja operativa importante en el tratamiento de aguas residuales en condiciones reales de operación.

V. CONCLUSIONES

La evaluación de la eficiencia en la remoción de materia orgánica oxidante en efluentes mediante el uso de membrana de lecho móvil demostró que el sistema de tratamiento presenta un desempeño altamente eficiente en condiciones reales de operación en la ciudad de Trujillo durante el año 2025. Los resultados obtenidos evidencian una reducción significativa de la carga orgánica medida como Demanda Química de Oxígeno (DQO), lo que confirma la efectividad del proceso biológico implementado.

Bajo condiciones de carga orgánica alta, el sistema alcanzó una eficiencia promedio total de remoción de 92.06 % de DQO. Este resultado demuestra la alta capacidad del sistema para reducir la carga orgánica presente en el efluente.

Se concluye que el sistema de biopelícula de lecho móvil (MBBR) presenta una alta eficiencia en la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) bajo condiciones de carga orgánica baja, alcanzando eficiencias superiores al 90% en todos los eventos de monitoreo. La reducción significativa de las concentraciones de DQO desde valores iniciales entre 431 mg/L y 601 mg/L hasta concentraciones finales entre 7 mg/L y 35 mg/L evidencia la efectividad del proceso biológico en la degradación de materia orgánica.

El análisis de los tramos a lo largo de las etapas del sistema evidenció una reducción progresiva de la concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO) a lo largo del sistema de tratamiento. Desde concentraciones iniciales cercanas a 677.7 mg/L en el ingreso al proceso biológico, se registraron valores promedio finales de aproximadamente 30.5 mg/L en el efluente tratado. La mayor reducción se presentó en los reactores biológicos del sistema *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR), particularmente entre los reactores intermedios, lo que evidencia la efectividad del proceso combinado anaerobio-aerobio en la degradación de la materia orgánica. En términos generales, el sistema alcanzó eficiencias de remoción superiores al 80 % en los tramos del proceso y una eficiencia total cercana al 95 %, cumpliendo ampliamente con el objetivo planteado.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar el número de eventos de muestreo y el periodo de monitoreo en futuras investigaciones, con el fin de obtener una base de datos más representativa que permita evaluar con mayor precisión el comportamiento del sistema de tratamiento frente a variaciones temporales en la carga orgánica.

Se sugiere incorporar el análisis de otros parámetros fisicoquímicos y microbiológicos relevantes en el tratamiento de aguas residuales, tales como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Sólidos Suspendedos Totales (SST), nutrientes como Nitrógeno y Fósforo totales, con la finalidad de realizar una evaluación más integral de la eficiencia del sistema de tratamiento.

Se recomienda realizar estudios comparativos con otros sistemas de tratamiento biológico, como lodos activados o humedales artificiales, con el objetivo de analizar el desempeño relativo del sistema *Moving Bed Biofilm Reactor* (MBBR) en condiciones similares de operación.

Se sugiere evaluar la influencia de variables operacionales como el tiempo de retención hidráulica, la carga orgánica aplicada y la concentración de biomasa adherida, a fin de optimizar el funcionamiento del sistema y maximizar la eficiencia en la remoción de materia orgánica.

Finalmente, se recomienda continuar con investigaciones aplicadas en condiciones reales de operación que permitan validar la eficiencia del sistema MBBR en diferentes escalas y tipos de efluentes, contribuyendo al desarrollo de alternativas tecnológicas sostenibles para el tratamiento de aguas residuales.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ábrego, C., Briones, R., Bernal, L., y Escalas, A. (2015). Evaluation of Three Dynamic Models for Aerated Facultative Lagoons. *Journal Of Water Resource and Protection*, 7(14).
<https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1570736>
- Acuña, N., Huamaní, N., y Toribio, F. (2022). Evaluación de la remoción de materia orgánica por medio de microorganismos eficientes en el tratamiento de aguas residuales. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(S1), 417-427.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper*, 56. FAO.
- APHA (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.)*. Washington DC: American Public Health Association.
- Atoc, D. (2019). *Evaluación de la calidad de agua de riego en cultivos de pan llevar en la cuenca baja del río moche, provincia de Trujillo -2019*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. Repositorio de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión
http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/1744/1/T026_70078439_T.pdf
- Bastidas, A. y Vásquez, A. (2022). *Eficiencia de un filtro en geotextil no tejido para el tratamiento de aguas residuales de café en la finca “campo bello” El Zarzal (Tambo-Cauca)*. [Tesis de pregrado, Corporación Universitaria Autónoma Del Cauca]. Repositorio de Corporación Universitaria Autónoma Del Cauca
<https://repositorio.uniautonomia.edu.co/bitstream/handle/123456789/741/T%20I-A-M%20120%202022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Buenaventura, M. y Tamayo, M. (2010). *Análisis de los vertimientos en el área urbana del municipio de puerto Boyacá (Boyacá) al río Magdalena y otras fuentes hídricas*. [Tesis de pregrado, Universidad Libre].
- Chacón, O. (2021). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales y su reutilización en la empresa agroindustrial Tumán S.A.A. para disminuir los costos de producción*. [Tesis pregrado, Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo]. Repositorio de la Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo
https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/4362/1/TL_RamirezChaconOswaldo.pdf

- Chen, Y., Ye, J., Liu, H., Jiang, W., Hu, F., y Xu, Z. (2026). Full-scale analysis of dissolved organic matter in multi-stage wetlands treating wastewater treatment plant effluent and optimization of treatment process. *Bioresource Technology*, 445. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2026.134121>
- Chupayo, E. (2017). *Influencia del tiempo de retención hidráulica en la planta de tratamiento de la provincia de Jauja*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio de la Universidad Peruana Los Andes https://repositorio.upla.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12848/767/T037_41779723_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chura, R., Ccama, N., Molina, R., y Rivera, J. (2021). Depuración de aguas residuales domésticas con Microorganismos Eficientes en condiciones altiplánicas en sistema mixto (anaerobio-aeróbico). *Unaciencia Revista de Estudios E Investigaciones*, 14(26), 60-67. <https://doi.org/10.35997/unaciencia.v14i26.615>
- Comisión Nacional del Agua. (2015). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro25.pdf>
- Cueva, J., y Vasquez, A. (2022). *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 de pregrado, Universidad Privada del Norte].
- Durant, E. y Medina F. (2012). *Diseño y construcción de un reactor biológico secuencial (SBR) para el tratamiento de aguas residuales lácteas procedentes de la planta agroindustrial del Perú S.A.C. Majes – Arequipa 2011-2012*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica De Santa María]. Repositorio de la Universidad Católica De Santa María <https://repositorio.ucsm.edu.pe/server/api/core/bitstreams/5c43b59e-49a1-41b2-8c70-0427d6b84e72/content>
- Espinoza, P. (2017). *Calidad del agua en el Perú: retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales*.
- Farinati, A. (s. f.). *Biopelículas: un desafío para entender la patogénesis y la terapia antiinfectiva*. <https://www.fasgo.org.ar/images/ApunteVI-BIOPELICULAS.pdf>
- Feng, H., Zhou, B., Wu, J., Wang, K., y Zhang, Z. (2025). Sustainable management of wastewater in an enclosed campus via an integrated treatment system: Pollutant removal, organic matter transformation, and microbial interactions. *Journal Of Environmental Chemical Engineering*, 13(6), 120301. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.120301>

- Fernandes, J., Ramísio, P. J., y Puga, H. (2024). A Comprehensive Review on Various Phases of Wastewater Technologies: Trends and Future Perspectives. *Eng*, 5(4), 2633-2661. <https://doi.org/10.3390/eng5040138>
- Ferrer, S., Núñez, D., Piñango, L., y González, G. (2024). Eficiencia de un Tratamiento Aeróbico para la Remoción de Materia Orgánica en Efluentes de Origen Textil Usando Reactores Biológicos. *Revista de Gestão Social E Ambiental*, 18(6). <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n6-091>
- Freitas, I., Rollemberg, S., Ferreira, T., Nascimento, D., y Caldas, V. (2022). Avaliação de Partida de Sistema MBBR Tratando Esgoto Sanitário em Fortaleza-Ce – Escala Piloto. *Anais Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos E Sustentabilidade*. <https://doi.org/10.55449/conresol.5.22.xv-014>
- Gelves, C. (2021). *Evaluación de la capacidad de depuración biológica de un Filtro tipo Airlift para el tratamiento de aguas usadas durante el proceso de extracción de aceite empleando un soporte a partir de cuesco de palma a escala de laboratorio*. [Tesis de pregrado, Universidad de Santander]. Repositorio de Universidad de Santander <https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstreams/10a02514-8187-43d6-aec9-ba200950f6c1/content>
- Giesecke, S. (2021). En nombre de la naturaleza la falta de agua puede ser irreversible y más grave que la pandemia. *Revista Ingeniería Nacional*, (27), 42-51. <https://www.cip.org.pe/publicaciones/revista-digital/revista-digital-ingenieria-nacional-edicion-27.pdf>
- Gonzales, C. (2016). *Eficacia de in biofiltro a base de la microalga Spirulina sp para el tratamiento de las aguas residuales, 2016*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/34566/gonzalez_pc.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). México: McGrwall Hill Education.
- Inga, Á. y Laurente, J. (2021). *Influencia de la carga orgánica y el pH en la eficiencia de remoción de materia orgánica en el tratamiento aerobio de las aguas residuales municipales*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Del Centro Del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional Del Centro Del Perú https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7270/T010_46366263_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2022). *Perú: Anuario de Estadísticas Ambientales* 2022.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1877/libro.pdf
- Jauregui, F., y Melo, B. (2020). *Tratamiento de las aguas residuales de la PTAR Covicorti - Trujillo mediante el método de electrocoagulación* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo].
- Landa, E. (2021). La política ambiental de los límites máximos permisibles (LMP) de efluentes mineros. *Revista Oficial del Poder Judicial Órgano de Investigación de la Corte Suprema de Justicia de la República del Perú*, 13(16), 175-189.
<https://doi.org/10.35292/ropj.v13i16.385>
- Lim, J. y Vadivelu, V. (2014). Treatment of agro based industrial wastewater in sequencing batch reactor: Performance evaluation and growth kinetics of aerobic biomass. *Revista de Gestión Ambiental* (146), 217-225.
doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.023
- Lozano, J. (2023). *Eficiencia del aire disuelto y/o polielectrolito catiónico, en la separación de aceites y grasas del efluente de la industria láctea, Celendín – 2022*. [Tesis de pregrado, Universidad nacional De Cajamarca]. Repositorio de la Universidad nacional De Cajamarca <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5549>
- Metcalf y Eddy (2014) *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery*. 5th Edition, McGraw-Hill, New York.
- Miñope, P. (2019). *Propuesta de un sistema de tratamiento de aguas residuales para su reutilización y reducción de costos sobre consumo de agua en Agroindustria Quicornac SAC*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. Repositorio de la universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
https://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2676/1/TL_Mi%c3%blayPercy.pdf
- Mompó-Curell, R., Ferrer-Polonio, E., Alonso-Molina, J., Mendoza-Roca, J., y Bes-Piá, M. (2024b). Influence of bisphenol A concentration on organic matter removal and nitrification in biological wastewater treatment. *Environmental Technology & Innovation*, 36. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103890>
- Monsalve, K. (2018). *Reactor anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales del camal municipal de José Leonardo Ortiz, 2015*. [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo

https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/32298/monsalve_mk.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Murillo, B. (2018). *Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales en la industria alimentaria*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3188/murillo-carrión-bisseth-nicole.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Noriega K. y Villanueva C. (2024). Diseño de un sistema para el tratamiento de efluentes líquidos de un camal de beneficio équido, Salaverry - Trujillo, 2023. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional De Trujillo]. Repositorio de la Universidad Nacional De Trujillo <https://dspace.unitru.edu.pe/server/api/core/bitstreams/a7cdc3e9-901c-4292-ad14-4f3cc5163c4c/content>
- Nuno, J., Teixeira, A., Fernandes, J., Oliveira, I., Lucas, M., y Perez, J. (2023) Degradation of Agro-Industrial Wastewater Model Compound by UV-A-Fenton Process: Batch vs. Continuous Mode. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2(20). <https://doi.org/10.3390/ijerph20021276>
- Pachana, E. (2021). *Proyección de un sistema de tratamiento biológico de efluentes derivados de una granja porcina como una alternativa viable para el mejoramiento del purín con fines agronómicos en la comuna Zapotal provincia de Santa Elena*. [Tesis de pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. Repositorio de la Universidad Estatal Península de Santa Elena <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/6426/1/UPSE-TIA-2021-0114.pdf>
- Prosperi, J., y Grard, P. (2024). Memorias XXI Congreso Internacional, XXVII Congreso Nacional de Ciencias Ambientales y VIII Iberoamericano de Física y Química Ambiental. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 40. <https://doi.org/10.20937/rica.2024.40.anca>
- Quintero, J. (2022). *Diseño de propuesta de mejora del sistema de tratamiento de aguas residuales para reducir los niveles de contaminantes de un complejo agroindustrial en la ciudad de Ilo, 2022*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio de la Universidad Continental https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/12406/2/IV_FIN_108_TE_Quintero_2022.pdf

- Sampieri, R., Collado, C., Lucio, P., Valencia, S., y Torres, C. (2014). *Metodología de la investigación* (6.a ed.). Interamericana Editores.
- Solís, S. (2023). *Diseño preliminar de un humedal artificial para tratar el efluente generado en el proceso productivo de un ingenio azucarero localizado en Alajuela*. [Tesis de pregrado, Universidad De Costa Rica]. Repositorio de la Universidad De Costa Rica <https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2023/07/TFG-SofiaSolisNunez.pdf>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS]. (2024). Benchmarking Regulatorio de las Empresas Prestadoras 2024. En *SUNASS*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/6905316/5964218-benchmarking-regulatorio-de-las-eps-2024-datos-2023-f.pdf?v=1727904118>
- Tayler, K. (2021). *Tratamiento de lodos fecales: Una Guía Para Los Países de Ingresos Medios Y Bajos*.
- The World Bank. (2023). Annual Report 2023: A New Era in Development. En *The World Bank*. <https://www.worldbank.org/en/about/annual-report-2023>
- Tupacyupanqui, R. (2023). *Remoción de materia orgánica por oxidación aerobia en aguas residuales domésticas, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villareal].
- Vidal, D. (2021). *Fotocatálisis del dióxido de titanio en la reducción de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en aguas residuales de una empresa agroindustrial, Lima 2020*. [Tesis pregrado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio de la Universidad Privada del Norte <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/30431/Tesis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Wong, F. (2021). *Propuesta de un sistema de aguas residuales para su reutilización y reducción de los costos de consumo de agua en la empresa Alpes Chiclayo SAC*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo]. Repositorio de la Universidad Católica Santo Toribio De Mogrovejo <http://hdl.handle.net/20.500.12423/4235>
- World Water Assessment Programme [WWAP]. (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado*. UNESCO.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

Formulación del problema	Hipótesis	Objetivos	Variables	Dimensiones	Metodología
Problema General ¿Cuál es la relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y a carga orgánica, Trujillo, 2025? Problemas específicos ¿Cuál es la relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y la carga orgánica alta? ¿Cuál es la relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y la carga orgánica baja? ¿Cuál es la relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y Variabilidad de DQO entre etapas?	Hipótesis General: Existe una relación significativa entre la carga orgánica y la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en un sistema de biopelícula de lecho móvil en Trujillo, 2025. Hipótesis específicas Existe relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y la carga orgánica alta. Existe relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y la carga orgánica baja. Existe relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y Variabilidad de DQO entre etapas.	Objetivo general Determinar la relación entre la carga orgánica y la eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en un sistema de biopelícula de lecho móvil en Trujillo, 2025. Objetivos específicos Determinar la relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y la carga orgánica alta. Determinar la relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y la carga orgánica baja. Determinar la relación entre la remoción de la demanda química de oxígeno en un sistema de biopelícula de lecho móvil y Variabilidad de DQO entre etapas.	Variable (x): Condición de carga orgánica Variable (y): Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Carga orgánica alta Carga orgánica baja Concentración de DQO (mg/L) Eficiencia de remoción (%)	Enfoque y tipo: Cuantitativo Descriptiva correlacional Diseño: No Experimental, transeccional. Población: Efluentes generados en el sistema de tratamiento con biopelícula de lecho móvil (MBBR) en la ciudad de Trujillo. Muestra: Eventos de monitoreo realizados durante el año 2025 Técnica e instrumento de recolección de datos: - Muestreo de efluentes según NTP 214.060:2016. -Cuaderno de campo. Método y análisis de investigación: Los datos serán procesados en Excel, aplicando estadística descriptiva (promedio, desviación estándar y coeficiente de variación) para evaluar la eficiencia de remoción de DQO bajo diferentes condiciones de carga orgánica.

Anexo 2: Cuadro de operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Instrumento	Escala de medición
Variable (x): Condición de carga orgánica	La carga orgánica es la cantidad de materia orgánica (residuos, plantas, microorganismos) presente en el agua, efluentes industriales, domésticos o agrícolas, que puede ser degradada por microorganismos. Se mide comúnmente mediante DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) o DQO (Demanda Química de Oxígeno) para evaluar el impacto contaminante (Zambrana, 2012).	Se determina a partir de la concentración de DQO en el afluente (Pre MBBR), clasificándose en carga orgánica alta y baja según los valores registrados en los eventos de monitoreo.	Carga orgánica alta Carga orgánica baja Concentración de DQO (mg/L)	Concentración de DQO de entrada (mg/L)	COD Reactor DR 25	Cuantitativa continua (mg/L) y cualitativa ordinal (alta/baja)
Variable (y): Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Nos indica que es la cantidad de materia orgánica total que se encuentra presente en el agua residual y esta puede ser susceptible a ser descompuesta. De esta manera la depuración de materia orgánica se puede presentar como un indicador de actividad de remoción. (Alcántara, 2023).	Se determina mediante la diferencia entre la concentración de DQO de entrada y salida del sistema de tratamiento, expresada como eficiencia de remoción (%) en cada evento de monitoreo.	Eficiencia de remoción (%)	DQO de entrada (mg/L) DQO de salida (mg/L) Eficiencia de remoción (%)	COD Reactor DR 25 Formula de remoción	Cuantitativa continua (mg/L, %)

Anexo 3: Instrumentos de recolección de la información

Nombre original del instrumento:	Ficha de registro y monitoreo de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en sistema de tratamiento de efluentes
Autor y año:	Original: Elaboración propia, 2025 Adaptación: -
Objetivo del instrumento:	Registrar de manera sistemática los valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en los diferentes puntos del sistema de tratamiento de efluentes, con la finalidad de evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica oxidante bajo condiciones de carga orgánica alta y baja.
Usuarios:	Investigador responsable del estudio Personal técnico del sistema de tratamiento de efluentes
Forma de administración o modo de aplicación:	Instrumento de aplicación directa, mediante el registro de resultados obtenidos en análisis fisicoquímicos de DQO realizados en muestras de efluente recolectadas en puntos específicos del proceso (tanque físico inicial, Pre-MBBR, MBBR A, MBBR B, MBBR C y Post-MBBR), en diferentes fechas y condiciones de carga orgánica. Los datos se consignan en una ficha estructurada en formato Excel.
Validez: (presentar la constancia de validación de expertos)	No Aplica
Confiabilidad: (presentar los resultados estadísticos)	No aplica

Anexo 4: Ficha Técnica del Instrumento para medición de DQO

Water Analysis / COD Reactor

COD Reactor



Features

► ISO compliant

CR 25 COD reactor is used to digest closed reflux COD vial according to ST-COD method (ISO 15705:2002) and can meet USEPA 410.4. It is easier and safer than traditional open reflux titrimetric method.

► Designed for COD tests

CR 25 is pre-programmed with 6 heating programs for quick and easy start. Most popular programs include:
(1) COD : 150°C, 120 min (Standard mode)
(2) COD2 : 165°C, 20 min (Preheated mode)

► User-definable programs

Built-in with 2 user-definable programs that allows manual adjustments for temperature (30°C ~ 200°C) and time (1 ~ 999 min).

► Programmable timer & beep alarm

CR 25 stops heating automatically with beeping alarm after the program is complete.

► International certification

CE certification

► One-Year Warranty

Applications

- Waste water test from factories
- Water quality test in lake, pond and river

Ordering Information

179250-11 (22)

CR 25, COD Reactor
AC 110V, 60Hz (AC220V, 50Hz)

179250-43

Protective Lid

197010-36

Multi-Function Test Tube Rack -
White Base

197010-36-1

Multi-Function Test Tube Rack -
Blue Base

CR 25



179250-43 (Optional) Safety Shield
Protect users from splattering reagents in accidents.



(Optional) Multi-Function Test Tube Rack
*Rack only, glass tubes NOT included.

Specification

Model	CR 25	
PERFORMANCE DATA		
Display	OLED	
Temperature range	R.T. +5°C ~ 200°C	
Temperature accuracy	± 2°C	
Temperature stability	± 1°C	
Built-in programs	· COD program: 150°C / 120 min · COD2 program: 165°C / 20 min · TP program: 150°C / 30 min · TN program: 105°C / 30 min · TPN program: 120°C / 30 min · TOC program: 105°C / 120 min	
Timer	(1) Countdown timer: 1 ~ 999 min (2) Continuous mode: On	
Number of vials	25 vials	
Applicable vials	φ 16 mm	
Net weight	5.1 Kg	
Dimension (LxWxH)	31 x 19 x 12 cm	
ELECTRICAL DATA		
Voltage	110V	220V
Frequency	50 / 60Hz	
Max. power	350W	350W
Safety	• Anti-heat PTFE plate on the top of heating block • Overheat Protection (220°C)	

ROCKER

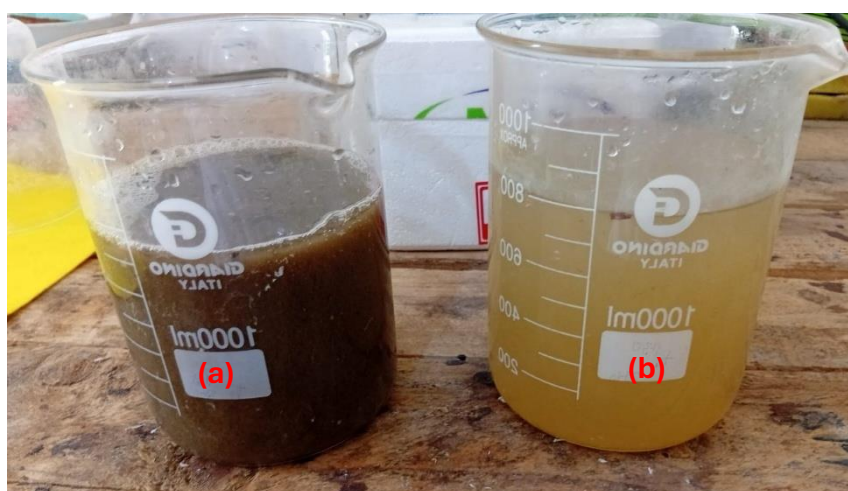
98

Anexo 5: Panel Fotográfico

Figura 17. Recolección de muestras (izquierda), COD Reactor CR25 (derecha)



Figura 18. Muestra de carga orgánica alta (a), muestra de carga orgánica baja (b)



Anexo 6: Reporte de Turnitin



Página 2 de 54 - Descripción general de Integridad

Identificador de la entrega: tm:old::3117:572184465

17% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el Informe

▸ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

13%  Fuentes de Internet

5%  Publicaciones

13%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de Integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 5% Publicaciones
- 13% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.uaaaan.mx	<1%
2	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
3	Trabajos del estudiante	uncedu on 2025-08-13	<1%
4	Internet	hdl.handle.net	<1%
5	Internet	www.mdpi.com	<1%
6	Internet	es.scribd.com	<1%
7	Internet	www.coursehero.com	<1%
8	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Centro del Peru on 2021-01-02	<1%
9	Internet	aladyr.net	<1%
10	Internet	repositorio.xoc.uam.mx	<1%
11	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%

12	Internet	revistas.unac.edu.co	<1%
13	Internet	repositorio.udh.edu.pe	<1%
14	Trabajos del estudiante	uncedu on 2024-03-13	<1%
15	Trabajos del estudiante	CONACYT on 2016-10-17	<1%
16	Trabajos del estudiante	uncedu on 2024-03-04	<1%
17	Internet	www.researchgate.net	<1%
18	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo on 2026-03-17	<1%
19	Internet	repositorio.uct.edu.pe	<1%
20	Trabajos del estudiante	Escuela Politécnica Nacional on 2017-05-18	<1%
21	Internet	flowen.com.pe	<1%
22	Internet	repositorio.unasam.edu.pe	<1%
23	Internet	www.revista-imaginariosocial.com	<1%
24	Internet	repositorio.upn.edu.pe	<1%
25	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Cajamarca on 2025-10-27	<1%

26	Internet	docplayer.es	<1%
27	Internet	worldwidescience.org	<1%
28	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Trujillo on 2025-06-24	<1%
29	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2023-06-21	<1%
30	Trabajos del estudiante	Universidad del Valle de Guatemala on 2025-11-25	<1%
31	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2025-06-30	<1%
32	Trabajos del estudiante	Universidad Católica Boliviana "San Pablo" on 2024-11-04	<1%
33	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2025-07-09	<1%
34	Trabajos del estudiante	Universidad Continental on 2020-07-28	<1%
35	Internet	doaj.org	<1%
36	Internet	documents.mx	<1%
37	Publicación	Julio César Marín Leal, Carlos Aníbal Chinga Panta, Abrahan Isaac Velásquez Ferrí...	<1%
38	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María on 2025-08-27	<1%
39	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%

40	Trabajos del estudiante	Universidad Europea de Madrid on 2023-10-28	<1%
41	Publicación	Barreda Del Arroyo, Victor Atilio. "Evaluación del proceso biofotofenton en las ag...	<1%
42	Internet	repositorio.unesp.br	<1%
43	Publicación	"Reacondicionamiento de edificios de oficinas mediante la integración de la agric...	<1%
44	Internet	1library.co	<1%
45	Trabajos del estudiante	Cliffside Park High School on 2023-04-11	<1%
46	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Federico Villarreal on 2025-08-05	<1%
47	Internet	vsip.info	<1%
48	Internet	biblioteca.usac.edu.gt	<1%
49	Internet	montserratponsa.com	<1%
50	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2025-07-30	<1%
51	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2023-09-10	<1%
52	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Tumbes on 2026-01-31	<1%
53	Trabajos del estudiante	Universidad Señor de Sipán on 2017-01-18	<1%

54	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnológica de los Andes on 2026-01-14	<1%
55	Internet	tesis.usat.edu.pe	<1%
56	Publicación	"Proceedings of the IX International Congress on Biotechnology SOCIBI, III Meeti...	<1%
57	Trabajos del estudiante	Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC on 2025-07-07	<1%
58	Trabajos del estudiante	Servizo de Xestión de Estudos de Posgrao on 2025-09-21	<1%
59	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-18	<1%
60	Internet	abes-dn.org.br	<1%
61	Internet	cybertesis.unmsm.edu.pe	<1%
62	Internet	investigacion.utc.edu.ec	<1%
63	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
64	Trabajos del estudiante	upeu on 2025-06-16	<1%
65	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Católica de Chile on 2020-09-06	<1%
66	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional del Centro del Peru on 2018-05-04	<1%
67	Internet	apnews.com	<1%

68	Internet	colombiamedica.univalle.edu.co	<1%
69	Internet	repositorio.utn.edu.ec	<1%
70	Internet	www.condesan.org	<1%
71	Internet	www.grafati.com	<1%
72	Internet	www.oalib.com	<1%
73	Trabajos del estudiante	Fundación Universitaria Católica del Norte on 2024-10-01	<1%
74	Trabajos del estudiante	Instituto Politecnico Nacional on 2025-12-11	<1%
75	Publicación	Nicson Gerard Quispe Hanco, Jael Calla Calla, Karen Elian Mollisaca Calsina, "Ela...	<1%
76	Trabajos del estudiante	UTEC Universidad de Ingeniería & Tecnología on 2023-11-23	<1%
77	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Honduras Nuestra Señora Reina de la Paz on 2025-09-01	<1%
78	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Colombia on 2019-07-02	<1%
79	Internet	addi.ehu.es	<1%
80	Internet	ambiental.unam.mx	<1%
81	Internet	angeltkm-diana.blogspot.com	<1%

82	Internet	centrosuragraria.com	<1%
83	Internet	condorchem.com	<1%
84	Internet	elpais.com	<1%
85	Internet	ojs.brazilianjournals.com.br	<1%
86	Internet	farmacia.ugr.es	<1%
87	Internet	repositorio.unapikitos.edu.pe	<1%
88	Internet	riuma.uma.es	<1%
89	Internet	vdocuments.mx	<1%
90	Internet	webmagazine.lanxess.com	<1%
91	Internet	www.dsn.gob.es	<1%
92	Internet	www.reddesalud.org	<1%
93	Internet	www.uaemex.mx	<1%
94	Trabajos del estudiante	ULACIT Universidad Latinoamericana de Ciencia y Tecnología on 2023-10-17	<1%
95	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2021-10-12	<1%

96	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez on 2025-11-27	<1%
97	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María on 2025-08-26	<1%
98	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María on 2025-12-05	<1%
99	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-12	<1%
100	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-18	<1%
101	Trabajos del estudiante	Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil on 2023-07-26	<1%
102	Trabajos del estudiante	Universidad Manuela Beltrán Virtual on 2016-09-01	<1%
103	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Cajamarca on 2025-10-21	<1%
104	Trabajos del estudiante	Universidad de Manizales on 2013-10-01	<1%
105	Internet	cathi.uacj.mx	<1%
106	Trabajos del estudiante	consultoriadeserviciosformativos on 2025-07-04	<1%
107	Internet	doi.org	<1%
108	Internet	renati.sunedu.gob.pe	<1%
109	Internet	repositorio.unc.edu.pe	<1%

110	Internet	repositorio.unsch.edu.pe	<1%
111	Internet	repositorio.upsc.edu.pe	<1%
112	Trabajos del estudiante	unasam on 2025-04-21	<1%
113	Internet	unccd.int	<1%
114	Internet	www.cuming.unl.edu	<1%
115	Internet	www.gem.es	<1%
116	Internet	www.revistas.una.ac.cr	<1%
117	Internet	www.slideshare.net	<1%

Anexo 7: Reporte de escritura IA

Página 2 de 45 - Descripción general de la escritura con IA

Identificador de la entrega: trn:old::3117:572184465

*% detectado como IA

La detección de IA incluye la posibilidad de que haya falsos positivos. Aunque cierto texto en esta entrega se generó probablemente con IA, los puntajes inferiores al umbral del 20 % no aparecen porque tienen una mayor probabilidad de falsos positivos.

Precaución: Se necesita revisión.

Es esencial comprender los límites de la detección de IA antes de tomar decisiones acerca del trabajo del estudiante. Te alentamos a obtener más información acerca de las funciones de detección de IA de Turnitin antes de usar la herramienta.

Aviso legal

Nuestra evaluación de escritura con IA está diseñada para ayudar a los académicos a identificar texto que podrían haberse preparado mediante una herramienta de IA generativa. Es posible que nuestra evaluación de escritura con IA no siempre sea precisa (existe la posibilidad de que identifique erróneamente redacciones probablemente generadas por humanos como generadas por IA, y redacciones probablemente generadas por IA como generadas por humanos), por lo que no debe usarse como único fundamento para aplicar sanciones a un estudiante. Para determinar si es un caso de deshonestidad académica, se necesita de un escrutinio mayor y el juicio humano, junto con la aplicación de las políticas académicas específicas de la organización.

Preguntas frecuentes

¿Cómo debería interpretar los falsos positivos y el porcentaje de escritura con IA de Turnitin?

El porcentaje que se muestra en el reporte de escritura con IA es la cantidad del texto calificado en la entrega que el modelo de detección de escritura con IA de Turnitin determina se generó probablemente con IA desde un modelo de lenguaje de gran tamaño.

Los falsos positivos (que marcan incorrectamente alertas de texto escrito por humanos como generado con IA) son una posibilidad en los modelos de IA.

Los puntajes de detección de IA inferiores al 20 %, que no aparecen en reportes nuevos, tienen una mayor probabilidad de ser falsos positivos. Para reducir la probabilidad de malinterpretación, no se atribuye ningún puntaje o resaltado y se indican con un asterisco en el reporte (*%).

El porcentaje de escritura con IA no debe ser el único fundamento para determinar si ha ocurrido una mala conducta. El revisor/instructor debería usar el porcentaje como un medio para iniciar una conversación formativa con sus estudiantes o usarlo para examinar el ejercicio entregado según las políticas de la escuela.

¿Qué significa 'texto calificado'?

Nuestro modelo sólo procesa texto calificado en la forma de escritura de formato largo. La escritura de formato largo se refiere a los enunciados individuales en párrafos que constituyen una parte más grande del trabajo escrito, como un ensayo, una disertación, un artículo, etc. El texto calificado que se ha determinado que se generó probablemente con IA se resaltará en color cian en la entrega.

El texto no calificado, como viñetas, bibliografías comentadas, etc., no se procesará y puede crear disparidad entre los puntos destacados de la entrega y el porcentaje mostrado.



Página 2 de 45 - Descripción general de la escritura con IA

Identificador de la entrega: trn:old::3117:572184465

