



Esta obra está bajo una
[Licencia Creative Commons
Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)
Vea una copia de esta licencia en
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

Tesis

Eficiencia de filtro biológico en la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno de las aguas residuales municipales – Moyobamba

Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en
Gestión Ambiental

Autor:

Leydy Torres Mendoza

<https://orcid.org/0000-0002-0649-5177>

Asesor:

Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza

<https://orcid.org/0000-0003-1396-9745>

Coasesor:

Ing. M.Sc. Javier Augusto Puyó Romero

<https://orcid.org/0000-0003-4587-592X>

Tarapoto, Perú

2024



ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

Tesis


Eficiencia de filtro biológico en la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno de las aguas residuales municipales – Moyobamba

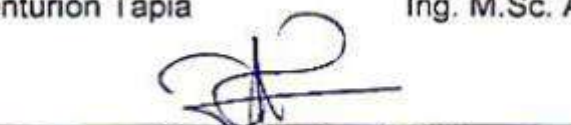
Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en
Gestión Ambiental


Autor:
Leydy Torres Mendoza

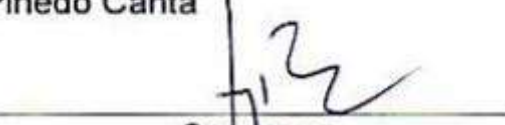
Sustentado y aprobado el 04 de diciembre del 2024, ante el honorable jurado:


Presidente de Jurado
Dr. Fabian Centurión Tapia


Secretario de Jurado
Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardalez


Vocal de Jurado
Ing. M.Sc. Juan José Pinedo Canta


Asesor
Dr. Yrwin Francisco Azabache
Liza


Coasesor
Ing. M.Sc. Javier Augusto Puyó
Romero.

Tarapoto, Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación y defensa del Trabajo de Tesis, modo presencial, presentado por:

Bach. Leydy Torres Mendoza

Con el asesoramiento del Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza.

“Eficiencia de filtro biológico en la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno de las aguas residuales municipales – Moyobamba”

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por el sustentante, lo declaramos:

BUENO

Con el calificativo (*)

CATORCE (14)

En consecuencia, queda en condición de ser considerado **APTO** por el Consejo Universitario y recibir el Grado Académico de **Maestro en Ciencias con mención en Gestión Ambiental**, de conformidad con lo estipulado en el Artículo 30° del Reglamento de Tesis de la Escuela de Posgrado de la UNSM.

Tarapoto, 04 de diciembre de 2024.


Dr. Fabián Centurión Tapia
Presidente


Ing. M.Sc. Alfonso Rojas Bardalez
Secretario


Ing. M.Sc. Juan José Pinedo Canta
Miembro


Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza
Asesor


Ing. M.Sc. Javier Augusto Puyó Romero
Co Asesor

(*) De acuerdo con el Artículo 40° del Reglamento General de Ciencia, Tecnología e Innovación (RG - CTI) la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, estas deberán ser calificadas con términos de: BUENO, MUY BUENO, EXCELENTE, también considerar la nota



ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

Tesis

**Eficiencia de filtro biológico en la remoción de
demanda química y bioquímica de oxígeno de las
aguas residuales municipales – Moyobamba**

Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en
Gestión Ambiental


Los suscritos declaran que el presente trabajo de investigación es original en su
contenido y forma.



Ejecutor
Leydy Torres Mendoza



Asesor
Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza



Coasesor
Ing. MSc Javier Augusto Puyó
Romero

Tarapoto, Perú

2024

Declaratoria de autenticidad



Yo, Leydy Torres Mendoza, identificado con DNI N° 40982551, egresado de la Escuela de Posgrado de Maestría en Ciencias con mención en Gestión Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Eficiencia de filtro biológico en la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno de las aguas residuales municipales – Moyobamba.**

Declaro bajo juramento que:

1. Declaro que he redactado completamente esta tesis.
2. Todas las fuentes consultadas están debidamente citadas y referenciadas según estándares internacionales, asegurando que no he plagiado parte alguna de la tesis.
3. Este trabajo no ha sido publicado ni usado para otro título académico.
4. Los resultados son auténticos y no han sido alterados, duplicados ni tomados de otras fuentes, representando contribuciones originales a la investigación realizada.

En caso de que considere que el estudio contiene un error crítico, como información falsa, evidencias manipuladas, o plagio (ya sea al no citar adecuadamente las fuentes o al presentar trabajos ajenos como propios o plagiar ideas de otros, asumo las consecuencias y sanciones de mis actos, acatando las normas de la Universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 04 de diciembre del 2024



Leydy Torres Mendoza
DNI N° 40982551

Ficha de identificación

<p>Título del proyecto Eficiencia de filtro biológico en la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno de las aguas residuales municipales – Moyobamba.</p>	<p>Área de investigación: Ciencia y Tecnología Ambiental Línea de investigación: Calidad ambiental Sublínea de investigación: Tratamiento del agua Grupo de investigación: Tecnologías de tratamiento del agua (Resolución N° 135-2023-UNSM/CFT/FE) Tipo de investigación: Aplicada</p>
<p>Autor: Leydy Torres Mendoza</p>	<p>Facultad de Ecología Unidad de Posgrado https://orcid.org/0000-0002-0649-5177</p>
<p>Asesor: Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria Unidad o Laboratorio Ingeniería Sanitaria https://orcid.org/0000-0003-1396-9745</p>
<p>Asesor: Ing. MSc Javier Augusto Puyó Romero</p>	<p>Dependencia local de soporte: Facultad de Ecología Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria Unidad o Laboratorio Ingeniería Sanitaria https://orcid.org/0000-0003-4587-592X</p>

Dedicatoria

Al regalo más grande que Dios me supo dar, mi hija **Camila**, la persona más importante de mi vida y la que me da las fuerzas que necesito para levantarme cada vez que siento caer.

Por ella y para ella todo mi esfuerzo para que algún día pueda volar con sus propias alas

Agradecimientos

A **Dios** por su gracia y amor en darme la oportunidad de ver cada día un nuevo amanecer.

A mis amados padres **Gerardo y Maruja**, por ser mis héroes y pilares fundamentales de mi vida, gracias por entregarme sus mejores años de vida para mí, por guiarme y convertirme en la mujer que hoy soy, son mi mayor orgullo y ejemplo para seguir adelante, nada de lo que haga será suficiente para agradecerles por todo lo que han hecho por mí.

A mis amados hermanos **Neiser, Erika y Yovany**, que veo en ellos su mano ayudadora en cada momento que lo necesito, no solo son mis hermanos, algunas veces también se convierten en mis hijos.

A mi gran amigo y asesor **Dr. Yrwin Azabache**, que sin él no hubiera sido posible el desarrollo de esta tesis, que con su apoyo en el asesoramiento se pudo cumplir con los objetivos trazados.

A mis amigos Isaías Marín y Weyder Razzeto, por sus amistades sinceras y apoyarme incondicionalmente cuando más lo necesitaba.

Índice general

Ficha de identificación	7
Dedicatoria	8
Agradecimientos	9
Índice general.....	10
Índice de tablas	12
Índice de figuras.....	13
RESUMEN	14
ABSTRACT	15
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	16
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	19
2.1. Antecedentes de la investigación.....	19
2.2. Fundamentos teóricos.....	21
2.3. Definición de términos básicos.....	27
CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. Ámbito y condiciones de la investigación	30
3.1.1. Contexto de la investigación	30
3.1.2. Periodo de ejecución	31
3.1.3. Autorizaciones y permisos.....	31
3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad	31
3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales	31
3.2. Sistema de variables.....	31
3.3. Procedimientos de la investigación	32
3.3.1. Objetivo específico 1	32
3.3.2. Objetivo específico 2	33
3.3.3. Objetivo específico 3	34
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	35
4.1. Resultado del objetivo específico 1	35

4.2. Resultado del objetivo específico 2.....	42
4.3. Resultados del objetivo específico 3.....	48
4.4. Discusión de resultados.....	53
CONCLUSIONES.....	55
RECOMENDACIONES.....	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
ANEXOS.....	63

Índice de tablas

Tabla 1 Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR.....	27
Tabla 2 Datos de diseño de sistema	32
Tabla 3 Parámetro – Tipo de carga.....	32
Tabla 4 Equipos de medición de los parámetros de estudio	33
Tabla 5 Datos para el diseño del filtro biológico.	35
Tabla 6 Cálculo del caudal	35
Tabla 7 Parámetros del filtro biológico	35
Tabla 8 Memoria de cálculo del filtro biológico.....	36
Tabla 9 Dimensionamiento del filtro biológico rectangular.....	36
Tabla 10 Dimensiones internas de cada compartimiento del filtro biológico.....	36
Tabla 11 Elaboración de las biobolas.....	36
Tabla 12 Material filtrante del tercer compartimiento.....	37
Tabla 13 Zona de recolección del agua filtrada del tercer compartimiento.....	37
Tabla 14 Resultados 1° muestreo a 40 días de la implementación del sistema	42
Tabla 15 Resultados 2° muestreo a 55 días de la implementación del sistema.	43
Tabla 16 Resultados 3° muestreo a 70 días de la implementación del sistema	43
Tabla 17 Resultados 4° muestreo a 85 días de la implementación del sistema	44
Tabla 18 Resultados 5° muestreo a 100 días de la implementación del sistema.	44
Tabla 19 Resultados 6° muestreo a 115 días de la implementación del sistema.	45
Tabla 20 Porcentajes de remoción.....	48
Tabla 21 Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk (Normalidad)	51
Tabla 22 Resultados de la prueba t de Student	52

Índice de figuras

Figura 1 Ubicación geográfica del distrito de Moyobamba.	30
Figura 2 Ubicación de sistema de biofiltro.....	30
Figura 3 Vista superior esquema del filtro biológico con biobolas	37
Figura 4 Vista frontal esquema del filtro biológico con biobolas	38
Figura 5 Esquema 1° compartimiento del filtro biológico con biobolas	38
Figura 6 Esquema 2° compartimiento del filtro biológico con biobolas	39
Figura 7 Esquema 3° compartimiento del filtro biológico con biobolas.	39
Figura 8 Detalle de flujo vertical del sistema de filtro biológico.....	40
Figura 9 Comparación Temperatura – LMP	45
Figura 10 Comparación DBO5 – LMP	46
Figura 11 Comparación DQO – LMP	47
Figura 12 Comparación pH – LMP	47
Figura 13 % de remoción DBO5.....	49
Figura 14 % de remoción DQO	49

RESUMEN

Eficiencia de filtro biológico en la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno de las aguas residuales municipales – Moyobamba

En un contexto donde la contaminación hídrica representa un desafío significativo en el mundo, especialmente en áreas urbanas en desarrollo, la búsqueda de métodos eficientes y económicamente viables a fin de tratar las aguas residuales es crucial. Esta investigación evalúa que tan eficiente es el sistema de filtro biológico utilizando biobolas en la reducción de demanda química y bioquímica de oxígeno de aguas residuales municipales en Moyobamba, San Martín, Perú. El objetivo principal fue determinar la eficacia del sistema en la eliminación de estos contaminantes, con objetivos específicos centrados en el diseño del filtro, la medición de parámetros fisicoquímicos y la evaluación de la remoción de DQO y DBO₅. La investigación se llevó a cabo durante 115 días, iniciando el muestreo 40 días después de la implementación del sistema para permitir el desarrollo adecuado de la comunidad microbiana. Se diseñó un filtro biológico de tres compartimientos, utilizando biobolas como medio de soporte para el crecimiento bacteriano, una innovación que busca mejorar la eficiencia del tratamiento. Los parámetros analizados incluyeron temperatura, DBO₅, DQO y pH, con muestras recolectadas quincenalmente tanto en el afluente como en el efluente. Los resultados revelaron una alta eficiencia del sistema, con porcentajes de remoción que alcanzaron hasta 95.43% para DBO₅ y 95.53% para DQO. La mayor eficiencia se observó a los 85 días de implementación, lo que sugiere una mejora en el rendimiento con el tiempo de maduración del sistema. La temperatura y el pH se mantuvieron dentro de los límites permisibles establecidos por la normativa peruana. El estudio concluyó que el sistema de filtro biológico con biobolas es altamente efectivo en la remoción de DQO y DBO₅ de aguas residuales municipales, superando la eficiencia de otros métodos convencionales y materiales filtrantes orgánicos. Estos hallazgos contribuyen significativamente al campo del tratamiento de aguas residuales, ofreciendo una alternativa prometedora para comunidades en desarrollo.

Palabras clave: Biofiltración, DBO₅, DQO, biobolas, eficiente.

ABSTRACT

Efficiency of biological filter in the removal of chemical and biochemical oxygen demand of municipal wastewater - Moyobamba

In a context where water pollution represents a significant challenge in the world, especially in developing urban areas, the search for efficient and economically viable methods to treat wastewater is crucial. This research evaluates how efficient a biological filter system using bioballs is in reducing the chemical and biochemical oxygen demand of municipal wastewater in Moyobamba, San Martin, Peru. The main objective was to determine the efficiency of the system in the removal of these pollutants, with specific objectives focused on filter design, measurement of physicochemical parameters and evaluation of COD and BOD5 removal. The research was carried out for 115 days, starting sampling 40 days after the implementation of the system to allow adequate development of the microbial community. A three-compartment biological filter was designed, using bioballs as a support medium for bacterial growth, an innovation that attempts to improve treatment efficiency. The parameters analyzed included temperature, BOD5, COD and pH, with samples collected biweekly from both influent and effluent. The results revealed a high efficiency of the system, with removal percentages reaching 95.43% for BOD5 and 95.53% for COD. The highest efficiency was observed at 85 days of implementation, suggesting an improvement in performance with system maturation time. Temperature and pH were maintained within the permissible limits established by Peruvian regulations. The study concluded that the biological filter system with bioballs is highly effective in the removal of COD and BOD5 from municipal wastewater, surpassing the efficiency of other conventional methods and organic filter materials. These findings contribute significantly to the field of wastewater treatment, offering a promising alternative for developing communities.

Keywords: Biofiltration, BOD₅, COD, bioballs, efficiency.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

A nivel global, la eficacia en el tratamiento de recursos hídricos está estrechamente relacionada con el nivel económico de cada región. Las estadísticas muestran que, en los países con altos ingresos, tratan un aproximado de 70% de las aguas residuales. En contraste, en los países de ingresos medios-altos, solo el 38% de estas aguas reciben algún tipo de tratamiento, y en las naciones con recursos económicos medios-bajos, esta cifra disminuye aún más al 28%. La situación es aún más grave en las naciones con recursos económicos bajos, donde solo el 8% de las aguas residuales se somete a tratamientos. Esta deficiencia en el tratamiento de aguas residuales tiene consecuencias alarmantes, especialmente en las áreas de extrema pobreza, donde la falta de servicios básicos de agua y saneamiento expone a las comunidades a un mayor riesgo de enfermedades (UNESCO, 2017; Prüss et al., 2019; Kim et al., 2018).

El tratamiento de las descargas líquidas es un asunto que tiene una prioridad muy alta hablando a nivel mundial debido a los efectos directos que tiene con respecto a la salud humana, así como al medio ambiente, ya que estos contaminan a gran escala los que vendrían a ser los depósitos naturales de donde nos abastecemos para las plantas de potabilización, consumo humano, entre otras actividades (Trang y Konnerup, 2010; Ramírez et al., 2024; Zieliński et al., 2021).

En el Perú actualmente, en las zonas urbanas encontramos muchas infraestructuras integradas con sistemas para el tratamiento de agua residuales, pero estos están totalmente colapsados, debido a muchas razones como: tiempo de vida agotado, crecimiento de la población en el país, mal diseño del sistema, etc (Vázquez et al., 2017; Toledo et al., 2024; Nieto et al., 2021).

Es importante destacar que en el país se descargan diariamente alrededor de 2,217,946 m³ de recursos hídricos residuales al sistema de alcantarillado. Esta red no solo recoge aguas residuales domésticas, sino también industriales y pluviales. De toda esta cantidad, únicamente el 32% de los recursos hídricos residuales se someten a un sistema de purificación, y algunos de estos sistemas presentan deficiencias, como las que se mencionaron anteriormente. El % restante de agua residuales que no ingresaron a un sistema se descargan de manera directa al mar, ríos o lagos trayendo como efecto la contaminación de los cuerpos de agua (SUNASS, 2015).

A nivel regional, San Martín tiene una situación preocupante debido a la escasa aplicación de sistemas de tratamiento, ya que gran parte de la región no cuenta con

planta encargada exclusivamente a este problema. Cabe recalcar que, si existen algunas a grado de ejecutar, otras tienen en disposición a una pero no se encuentran activas, por otro lado, otras no se encuentran en funcionamiento.

Los biofiltros con biobolas son una tecnología utilizada para tratar descargas líquidas, tanto en sistemas acuícolas como en el tratamiento de aguas domésticas e industriales. Las biobolas sirven como medio para el crecimiento de microorganismos que facilitan la eliminación de contaminantes a través de procesos biológicos como la nitrificación y la desnitrificación (Masłoń y Tomaszek, 2015; Chang et al., 2019; Khusnul y Putu, 2015).

Específicamente en la ciudad de Moyobamba, no se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, siendo estos vertidos directamente al río Mayo, en este sentido, la concentración de los parámetros de acuerdo con la Ley General de Aguas y sus reglamentos, exceden los límites máximos permitidos. Ante esta situación es necesario evaluar y proponer una alternativa de sistema de tratamiento con filtración biológica que permita exterminar la demanda química y bioquímica de oxígeno en las aguas residuales municipales, con la finalidad de contrarrestar los impactos negativos que generan.

Esta investigación se desarrolló con el propósito de reducir o remover los principales parámetros de contaminación orgánica presentes en los recursos hídricos residuales municipales de Moyobamba mediante la aplicación de un sistema de filtro biológico, ofreciendo una solución viable al problema de contaminación ambiental en el distrito. La formulación del problema se definió como: ¿Cuál es la eficiencia de un sistema de filtro biológico en la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno de las aguas residuales municipales? Se plantearon la hipótesis de investigación (H1): Mediante la aplicación de un sistema de filtro biológico será eficiente la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno, y la hipótesis nula (H0): Mediante la aplicación de un sistema de filtro biológico no será eficiente la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno. El objetivo principal fue evaluar la eficiencia de un sistema de filtro biológico en la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno de las aguas residuales municipales. Los objetivos específicos incluyeron diseñar un sistema de filtro biológico para este fin, determinar los parámetros físico-químicos (temperatura, DBO₅, DQO, pH) antes y después del tratamiento, y evaluar la remoción de estos parámetros tras el proceso de tratamiento. Esta investigación se justificó por la urgencia de abordar la problemática de los depósitos de aguas residuales sin tratamiento, los cuales poseen concentraciones elevadas de compuestos orgánicos, compuestos

químicos domésticos y microorganismos patógenos, causando la reducción de oxígeno y la alteración de los ecosistemas acuáticos.

El informe de esta investigación comienza con una introducción en el primer capítulo. En el segundo capítulo se describe el marco teórico, que incluye los antecedentes y fundamentos de la investigación. El tercer capítulo abarca los materiales y métodos utilizados. Finalmente, los resultados y las discusiones se presentan en el cuarto capítulo. Al final del informe se incluyen las conclusiones, sugerencias, referencias bibliográficas y anexos, que también proporcionan evidencia de la evolución experimental de la investigación a través de un panel fotográfico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

A nivel internacional

Pachaiappan et al. (2022), estudiaron las metodologías de biofiltración, enfocándose especialmente en los desarrollos más recientes para eliminar contaminantes tóxicos de aguas residuales. La investigación se centró en desarrollar metodologías de tratamiento de aguas residuales que sean tanto económicas como ambientalmente sostenibles. Los estudios sobre biofiltración han demostrado resultados significativos en la eliminación de estos contaminantes utilizando diversos organismos biológicos. Finalmente, la biofiltración se destaca como una técnica económica, simple, biocompatible, sostenible y ecológica, superando a los métodos convencionales. Este artículo de revisión tiene como objetivo ofrecer una visión detallada de las tecnologías de biofiltración utilizadas para eliminar contaminantes tóxicos de aguas residuales.

Badawi et al. (2024), analizaron un filtro basado en desechos de cascarilla de arroz (RHW-BF) para el tratamiento de aguas grises (GW) y aguas residuales primarias (PTW). El filtro consta de tres capas: arena gruesa, cascarilla de arroz químicamente modificada (MRH) y grava. Evaluaron la remoción de DQO, SST, SDT y turbidez en corridas continuas (Run I, II, III). La primera corrida (Run I) mostró altas eficiencias para GW: 73.7 %, 73.4 %, 74.6 % y 92.6 %, y para PTW: 70.3 %, 69.0 %, 44.2 % y 90.2 %. Las eficiencias disminuyeron en corridas posteriores por saturación del medio. La MRH fue clave en la remoción sostenible de contaminantes. Compararon las aguas tratadas con límites de la OMS y Egipto, demostrando su idoneidad para riego, agricultura o descarga en alcantarillado.

Sohair et al. (2019), evaluaron la eficacia de un filtro biológico pasivamente aireado (PABF) a escala piloto como sistema de bajo consumo energético para tratar aguas residuales municipales. El PABF, compuesto por cuatro compartimentos con un lecho biológico de poliéster no tejido, operó con un tiempo de retención hidráulica (HRT) de 3.5 horas y una tasa de carga hidráulica de 5,5 m²/m³/d. Analizaron el efecto de la profundidad del medio, HRT, oxígeno disuelto (DO) y área superficial en la remoción de contaminantes. Los resultados mostraron eficiencias de remoción del 91% para DQO, 93% para DBO₅, 87% para NH₄-N y 97% para SST, con mejoras significativas en la nitrificación. Concluyeron que el diseño del PABF, optimizado con aperturas laterales y

NWPF como lecho biológico, promueve condiciones ideales para la biodegradación y la actividad microbiana con bajo consumo energético y mínima producción de lodos.

A nivel nacional

Ccente y Huayllani (2021), evaluaron la capacidad de la estación de purificación de recursos hídricos residuales con filtro percolador en el distrito de Paucará para eliminar la (DBO₅) y (DQO). Se recolectaron 42 muestras para medir la DBO₅ y 10 para la DQO, que se enviaron a un laboratorio. Además, se registraron el pH y la temperatura. El DBO₅ fueron analizadas con el sistema DBO-BD-600, mostrando una eliminación efectiva del 51.34% para DBO₅ y del 51.05% para DQO. Al contrastar estos resultados con los límites máximos permitidos para el efluente, se encontró que la presencia de DBO₅ era de 72 mg/l y de DQO de 165 mg/L. Los valores de pH registrados fueron de 7.2 en el punto P1 y 7.3 en el punto P2, mientras que las temperaturas fueron de 11.3 °C en P1 y 11.8 °C en P2. Los autores concluyeron que la efectividad en la eliminación de DBO₅ y DQO superó el 50%, y que las concentraciones resultantes están dentro de los límites permitidos, haciendo que el efluente sea apto para ser vertido en el cuerpo receptor de agua.

Huamán (2020), examinó la eficacia de varios filtros para eliminar contaminantes en los recursos hídricos residuales, empleando materiales orgánicos. Los hallazgos indicaron que la cascarilla de café logró una eliminación promedio del 42.69% en parámetros físicos, 57.73% en químicos y 76.09% en biológicos. El aserrín de madera mostró eficiencias del 55.68%, 76.46% y 84.40% en estos parámetros, respectivamente. En contraste, la cascarilla de arroz presentó eliminaciones del 9.24%, 80.72% y 60%, mientras que el bagazo de caña alcanzó valores de 31.03%, 47.02% y 68.69%. La cascarilla de cacao sobresalió en la remoción de parámetros biológicos con una eficiencia del 68,69%. Estos resultados cumplen con los estándares de condición ambiental requeridos por la normativa peruana para el riego de cultivos y la alimentación de animales domésticos.

A nivel local

Díaz y Rodríguez (2019), evaluaron la eficacia por medio de un método basado en organismos vivos para depurar contaminantes presentes en aguas residuales provenientes de hogares. Este sistema se dividía en tres compartimientos. En la parte superior del sistema se ubicaba el sedimentador, diseñado para remover los sólidos suspendidos en el agua. El compartimiento intermedio albergaba el medio filtrante, que permitía que las bacterias responsables del tratamiento del agua se establecieran. En la sección inferior, se colocó arena para contribuir a la clarificación del agua. El

rendimiento del filtro biológico se probó con un flujo constante promedio de 42.43 mL por segundo. Se realizaron análisis en los días 40, 55, 71 y 91 para medir la eficacia del sistema de tratamiento. Se logró una remoción del 85.40 % de DBO₅ durante estos períodos de evaluación, la DQO una eficiencia de 82,36 %, los SST con 81.27 % y los Coliformes Termotolerantes con una eficiencia de 97,17 %. En conclusión, los resultados muestran que el sistema empleado ha sido eficaz en reducir los niveles de sustancias contaminantes los cuales se mostraron dentro de los valores aceptados.

2.2. Fundamentos teóricos

2.1.1. Aguas residuales municipales

Estas provienen de diversas actividades hogareñas. A fin de disminuir la presencia de contaminantes y mejorar los estándares de calidad del agua, es esencial someter estas aguas a un proceso de tratamiento. Un aspecto clave que subraya la importancia de este tratamiento es la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), que influye directamente en los niveles de oxígeno disuelto (OD) en el agua (Orozco, 2005).

Estos recursos hídricos provienen de actividades domésticas e industriales realizadas por la población y son recolectadas a través de la red de alcantarillado. Dado su origen, es fundamental someterlas a un tratamiento adecuado para garantizar su depuración antes de su disposición final (Rolim, 2000).

2.1.2. Tratamiento de las aguas residuales

Es un sistema compuesto por varias etapas de depuración a través de las cuales el flujo de agua circula en un espacio definido y bajo condiciones controladas. Este proceso tiene el objetivo de remover los microorganismos nocivos que podrían contaminar o afectar las masas de agua, particularmente los que son usados para el suministro (Orozco, 2005).

La eliminación de contaminantes se realiza a través de cuatro fases clave: pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento avanzado (Mihelcic et al., 2011).

➤ Tratamiento preliminar

El propósito sería reducir el más alto porcentaje de residuos que podrían interferir con el funcionamiento de los equipos en las plantas depuradoras (Rossi, 2010). Los métodos usados en esta etapa preliminar del tratamiento incluyen:

- **Desbaste:**

Su propósito es capturar y descomponer los residuos grandes y flotantes. El proceso de desbaste se realiza para separar aquellos componentes de gran tamaño que son transportados en los recursos hídricos residuales (Muñoz et al, 2009).

- **Desarenadores:**

Estos aparatos se emplean para remover arena y evitar la sedimentación en canales o conductos en el desarrollo del procedimiento de depuración (Muñoz et al, 2009).

➤ **Tratamiento primario:**

Este procedimiento se centra en la extinción de sólidos suspendidos, también en la eliminación de compuestos inorgánicos y la disminución de la alcalinidad excesiva mediante procesos de precipitación química (Rossi, 2010). Los métodos aplicados en esta etapa son:

- **Sedimentación:**

Este proceso tiene como meta la eliminación de sustancias flotantes en las aguas residuales. Es un método sencillo que se basa en la fuerza de gravedad para eliminar las partículas voluminosas y pesadas del agua residual. Complementariamente, se emplean sistemas especializados para atrapar y eliminar las partículas finas (Ramalho, 2005).

- **Tanques Imhoff:**

Estos tanques de tratamiento, conocidos como tanques de doble cámara, no solo facilitan la sedimentación, sino que también incorporan un proceso de digestión de lodos, optimizando así el tratamiento del agua. Su función principal es la eliminación de sólidos suspendidos (Rossi, 2010).

➤ **Tratamiento secundario:**

Este método se basa en la descomposición, abarcando tanto desarrollos anaeróbicos como aeróbicos. Su finalidad es cultivar microorganismos que disminuyan la presencia orgánica al sintetizar los nutrientes del agua residual, lo que conduce a la reducción de la DBO₅ y la DQO. Es importante destacar que, dado que estos sistemas funcionan mediante los procesos biológicos están influenciados por las condiciones climáticas, las cuales pueden impactar su efectividad. Por tanto, es crucial evaluar su adecuación al entorno específico del proyecto (Oakley et al, 2011).

Este enfoque abarca factores biológicos, como la autodepuración, donde los microorganismos realizan metabolismo celular para reducir eficientemente entre el 50% y el 95% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Los métodos comunes usados en este contexto son (Oakley et al, 2011).

- **Lagunas Aireadas:**

Las lagunas de tratamiento de descargas líquidas necesitan extensas áreas de terreno para su instalación. Estas lagunas aireadas favorecen el proceso de oxidación bacteriana mediante el uso de aireadores, ya sean superficiales o sumergidos, que suministran oxígeno (Rossi, 2010).

- **Filtros Percoladores:**

Este modo de tratamiento biológico utiliza un medio filtrante para degradar la materia orgánica, y está diseñado especialmente para el proceso de purificación de recursos hídricos residuales (Pérez, 2005).

➤ **Tratamiento terciario:**

El propósito de esta etapa es eliminar las cargas orgánicas que quedan tras el tratamiento secundario, así como los contaminantes diversos que pueden causar espumación y eutrofización. La cloración se utiliza para asegurar la pureza del agua e incluso para su potabilización cuando es necesario (Rossi, 2010). Entre los diversos enfoques empleados en el tratamiento avanzado, destacan los siguientes:

- **Adsorción en Carbón Activado:**

En estos procesos superficiales, las sustancias adsorbentes se fijan al carbón activado a través de conexiones fisicoquímicos (Pérez, 2005).

- **Osmosis inversa:**

Es el procedimiento por el que el fluido pasa a través de una membrana semipermeable al aplicar presión sobre una disolución concentrada, logrando así la inversión del flujo natural (Russell, 2012).

Biobolas

Teoría: Las biobolas son medios filtrantes utilizados en sistemas biológicos de tratamiento de aguas, diseñadas para optimizar la superficie disponible para el crecimiento de microorganismos. Estos microorganismos realizan la biodegradación de materia orgánica y otros agregados en el agua residual, mejorando su calidad.

Características: Las biobolas presentan las siguientes características principales:

- Estructura tridimensional que maximiza el área superficial.
- Ligereza y facilidad de instalación.
- Alta resistencia a la corrosión y a condiciones adversas del agua.
- Durabilidad y bajo mantenimiento durante su vida útil.

Materiales: Las biobolas están fabricadas con plásticos de alta resistencia, como polipropileno o polietileno. Estos materiales aseguran su estabilidad física y química, incluso en ambientes ácidos o alcalinos, y garantizan una larga vida útil del material filtrante.

Composición: La estructura de las biobolas incluye pequeños canales y orificios que aumentan el área superficial efectiva. Esto promueve un intercambio óptimo de oxígeno y nutrientes entre el agua y las comunidades microbianas, favoreciendo un tratamiento biológico eficiente.

2.1.3. Filtro Biológico

Para reducir la carga orgánica, los sistemas de filtración biológica están diseñados utilizando la acción de microorganismos que colonizan el área de capas de roca u diversos modos, ya sean naturales o artificiales. Por esta razón, estos sistemas se conocen como reactores de lecho fijo (Romero, 2004).

El proceso implica la circulación del agua a través de una capa porosa formada por distintos materiales. A medida que el agua residual atraviesa el filtro, las partículas y sustancias presentes en ella se encuentran con el medio filtrante, donde son atrapadas. Luego, se producen procesos de degradación tanto biológicos como químicos.

Entre los tipos de filtros que se utilizan en este proceso se encuentran los filtros percoladores y los filtros biológicos sumergidos y aireados (Oakley et al, 2011).

➤ Filtro Biológico Percolador

Los filtros biológicos de percolación, también conocidos como filtros percoladores, constituyen sistemas de tratamiento que emplean componentes biológicos para tratar las aguas residuales. Estos filtros utilizan un método fisicoquímico justificado en la acción de microorganismos para reducir la carga orgánica del agua residual (Cabrera J y Cabrera A, 2019).

El proceso reside en construir un lecho con un medio filtrante que tenga una amplia superficie, empleando materiales como piedras, grava, botellas de PVC, u otros que sean adecuados para la filtración. Para asegurar el buen funcionamiento del sistema y evitar obstrucciones en el lecho, es crucial llevar a cabo un pretratamiento del agua residual antes de su entrada al sistema. El recurso hídrico se dispersa sobre el lecho por intermedio de brazos o tuberías perforadas, que facilitan una caída o pulverización uniforme (Cabrera J y Cabrera A, 2019).

Al depositarse el agua en el filtro, se inicia la formación de una biopelícula, creada por la actividad de microorganismos. Esta biopelícula ayuda a estabilizar la materia orgánica, disminuye la demanda biológica de oxígeno (DBO_5) y favorece la coagulación de los sólidos coloidales que no pueden sedimentarse (Buitron, Reino y Carrera, 2018).

➤ **Filtro Sumergido**

Es una unidad de procesamiento que opera mediante un sistema en el que el recurso hídrico residual se deposita en el fondo del equipo, permitiendo que los microorganismos se adhieran al medio filtrante (Dillon y Thomas, 1989).

Los movimientos ascendentes y descendentes son atributos distintivos de los sistemas de filtros sumergidos, los cuales pueden operar con aireación o en condiciones anaeróbicas. Estos sistemas logran una remoción del 95% de DBO_5 y del 90% de sólidos suspendidos (SS), lo cual ha mostrado resultados sobresalientes en el proceso de purificación de aguas residuales (Dillon y Thomas, 1989).

2.1.4. Descripción del proceso

En los sistemas de tratamiento, la biopelícula es fundamental, ya que los microorganismos se adhieren a un sustrato o a lodos activados para llevar a cabo la depuración biológica. Los lechos bacterianos son un ejemplo destacado de estos sistemas, caracterizados por un medio de soporte generalmente hecho de grava. Durante su operación, el filtro tiende a colmatarse debido a la acumulación de sólidos en suspensión y al aumento de la biomasa. Esta colmatación puede comprometer las condiciones aeróbicas del filtro y afectar la calidad del efluente. Por ello, es esencial realizar un lavado periódico de los filtros biológicos para asegurar su buen funcionamiento (Orozco, 2005)

2.1.5. Mecanismos Responsables de la Filtración Biológica.

En el transcurso del tratamiento por filtración, diversos microorganismos proliferan en formaciones conocidas como medios de depuración. Estas colonias microscópicas

participan en una serie de procesos bioquímicos que contribuyen a la purificación del agua. Su actividad resulta en la eliminación de agentes patógenos, incluyendo tanto bacterias nocivas como protozoos. Este mecanismo natural de limpieza aprovecha la capacidad de estos microorganismos para descomponer y neutralizar contaminantes, mejorando así la calidad del agua tratada (Cabrera J y Cabrera A, 2019)

Cuando las partículas del medio filtrante interactúan con la carga biológica presente en el agua residual, se forma una capa biológica en el lecho (Metcalf y Eddy, 1995).

El ecosistema microbiano presente en los sistemas de filtración es diverso y complejo. Abarca una variedad de organismos diminutos, desde bacterias versátiles hasta protistas, capaces de sobrevivir en condiciones con o sin oxígeno. Las bacterias juegan un papel crucial, desintegrando los compuestos orgánicos que contaminan el agua. Además de estos microorganismos, el ambiente del filtro alberga otros seres como hongos y algas. Esta rica biodiversidad a escala microscópica no se limita solo a microorganismos; también puede atraer formas de vida más grandes. Es común observar la presencia de estadios tempranos de insectos, así como la aparición de moluscos pequeños y moscas, atraídos por este entorno húmedo y nutritivo (Metcalf y Eddy, 1995).

2.1.6. Características Constructivas y Funcionales

La puesta en marcha de los filtros biológicos, aunque generalmente libre de complicaciones, requiere una atención adecuada para garantizar su funcionamiento óptimo. Es esencial prevenir el colmatamiento o la obstrucción del lecho de grava; si esto ocurre, se deberá ajustar el caudal para restablecer el volumen y la eficacia de la capa biológica formada sobre las piedras o gravas. Para asegurar una operación efectiva, es importante distribuir el agua residual de manera uniforme y mantener una ventilación adecuada del sistema (Manual de operaciones y mantenimiento, 2015)

Es necesario realizar una limpieza de las cámaras de descarga y los canales de recolección quincenalmente para evitar la propagación de posibles focos de infección. Asimismo, es importante tener en cuenta que el grosor de la biopelícula puede provocar el atascamiento o la obstrucción del sistema, especialmente en lechos de piedra. La concentración del agua residual está directamente vinculada al espesor de la biopelícula, entre otros factores (Manual de operaciones y mantenimiento, 2015).

2.1.7. Marco legal

Límites Máximos Permisibles.

El DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM establece los Límites Máximos Permisibles para los efluentes generados por plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. Este marco normativo tiene como finalidad regular la concentración y el nivel de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que definen las características de una descarga. Su incumplimiento podría generar impactos negativos en la salud, el bienestar humano y el medio ambiente.

Tabla 1

Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR

PARÁMETRO			UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas			mg/L	20
Coliformes Termotolerantes			NMP/100 mL	10,000
Demanda Oxígeno	Bioquímica	de	mg/L	100
Demanda Oxígeno	Química	de	mg/L	200
pH			unidad	6.5-8.5
Sólidos Suspensión	Totales	en	mL/L	150
Temperatura			°C	<35

Fuente: MINAM, 2010

2.3. Definición de términos básicos

Biorreactor

Es un sistema que mantiene un ambiente con actividad biológica significativa (Buitron, Reino y Carrera, 2018).

Biobolas

Son medios filtrantes de forma esférica, diseñados para maximizar la superficie de contacto para el crecimiento de microorganismos. Se utilizan en sistemas de tratamiento de recursos hídricos para mejorar la filtración biológica y promover la degradación de materia orgánica. Su estructura favorece la aireación y la circulación del agua (Kircher y Schwarz, 2023).

Colmatación

Es un proceso donde los sedimentos están en una materia acuosa se van depositando gradualmente en el fondo de la superficie donde se encuentran, todo esto debido a su densidad (Orozco, 2005).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La DBO₅ mide el oxígeno que los microorganismos requieren a fin de descomponer la materia orgánica en el recurso hídrico durante cinco días. Este parámetro es clave para entender la contaminación orgánica en aguas residuales. Refleja cuánto oxígeno consumen los microorganismos al degradar los compuestos orgánicos, lo que ayuda a evaluar la carga contaminante y diseñar tratamientos adecuados. Un valor alto de DBO₅ indica una mayor presencia de materia orgánica y, por tanto, una mayor necesidad de oxígeno para su descomposición (Buitron, Reino y Carrera, 2018).

Demanda química de oxígeno (DQO)

El concepto se refiere a la medida de oxígeno que persiste en el agua contaminada tras someterse a una reacción oxidativa. Este proceso se induce artificialmente usando un compuesto químico con alto poder oxidante. La cantidad de oxígeno que resiste a esta reacción proporciona información valiosa sobre la composición del agua y su nivel de contaminación, siendo un indicador útil en el tratamiento de descargas líquidas (H. Muñoz, Lehmann y Martínez, 1995).

Fangos activos

En el procedimiento de tratamiento biológico de recursos hídricos se lleva a cabo de manera continua en tanques o balsas de activación, donde se mantienen condiciones aeróbicas para lograr la estabilización de la materia orgánica (Saorin, 2006).

Lechos bacterianos

Es un sistema biológico aeróbico de cultivo en el que los microorganismos están adheridos a un medio de soporte o relleno, el cual se hace pasar la descarga líquida llega de manera medida sin llegar a inundarlo y permitiendo que pase el aire suficiente para la oxigenación por los huecos del relleno (García, 2010).

Manguera

Es un tubo flexible, generalmente fabricado de goma, plástico o materiales similares, diseñado para transportar líquidos o gases de un lugar a otro. Se utiliza en aplicaciones

domésticas, industriales y agrícolas para riego, suministro de agua o manejo de fluidos. Su resistencia y longitud varían según el uso específico (Black et al., 2010).

Oxígeno disuelto

Hace alusión al volumen de oxígeno disuelto en el recurso hídrico, un parámetro crucial en el tratamiento de aguas residuales. Este oxígeno es esencial para los organismos acuáticos, ya que lo necesitan para llevar a cabo las actividades metabólicas, la obtención de energía y la reproducción son procesos fundamentales para los microorganismos. Además, la cantidad de oxígeno disuelto es un señalizador crucial del nivel de polución en un cuerpo de agua (Orozco, 2005).

Películas biológicas

Esta comunidad está formada esencialmente por bacterias autótrofas habitan en el fondo, mientras que en la superficie se encuentran bacterias heterótrofas, junto con hongos como *Fusarium*, algas verdes y protozoos. Además, en el lecho también pueden encontrarse organismos más complejos como gusanos, larvas de insectos, caracoles y limacos (Muñoz, Lehmann y Martínez, 1995).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. **Ámbito y condiciones de la investigación**

3.1.1. **Contexto de la investigación**

- Departamento: San Martín
- Provincia: Moyobamba
- Distrito: Moyobamba
- Universidad Nacional de San Martín
- Escuela de Posgrado
- Unidad de Posgrado de la Facultad de Ecología



Figura 1
Ubicación geográfica del distrito de Moyobamba.



Figura 2
Ubicación de sistema de biofiltro.

Latitud: 6.04028° S

Longitud: 76.96389° W

3.1.2. Período de ejecución

El estudio se realizó a lo largo de un período de diez meses.

3.1.3. Autorizaciones y permisos

Se solicitó permiso a la EPS Moyobamba para realizar la construcción del Filtro biológico, y a la UNSM para el uso del laboratorio de ingeniería Sanitaria

3.1.4. Control ambiental y protocolos de bioseguridad

Las pruebas fueron llevadas a cabo en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la UNSM, siguiendo los protocolos establecidos de control ambiental y las medidas de bioseguridad implementadas como parte de sus políticas internas.

3.1.5. Aplicación de principios éticos internacionales

El investigador asegura que su intervención cumplirá con los principios éticos fundamentales de la investigación, especialmente en lo que respecta al correcto proceso de recopilación de la información, citando de manera adecuada y responsable a los autores originales del contenido que se considere en este trabajo; del mismo modo, se valorará las intervenciones del cualquier personal que participe o colabore en cualquier medida en el logro de los objetivos de esta investigación y en la obtención de datos relevantes, así mismo se buscará una relación positiva entre el medio natural y los trabajos que impliquen el desarrollo de esta investigación, para evitar daños al entorno natural.

3.2. Sistema de variables

3.2.1 Variables principales

- **Variable independiente (X)**

Eficiencia de un Sistema de Filtro Biológico.

- **Variable dependiente (Y)**

Remoción de la demanda química y bioquímica de las aguas residuales municipales.

3.3 Procedimientos de la investigación

3.3.1. Objetivo específico 1

Diseñar un sistema de Filtro Biológico en la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno de las aguas residuales municipales.

Selección del sitio:

Se seleccionó la ciudad de Moyobamba. Las aguas residuales de esta ciudad se encuentran se dirigen a una red de alcantarillado que las transporta hacia un tanque séptico dividido en dos unidades, desde donde después fluyen hacia un pozo percolador. El filtro biológico estará situado entre las unidades del tanque séptico y el pozo percolador.

Dimensionamiento del filtro biológico:

Se recopiló información necesaria para la realización de una memoria de cálculo, como caudal, DBO₅, con el fin de determinar las dimensiones del filtro biológico de acuerdo con la normativa vigente (NRC) National Research Council de EEUU, RM N°192-2018-VIVIENDA, RNE OS 0.90 y RNE OS 0.90.

Tabla 2

Datos de diseño de sistema

Datos de diseño del filtro biológico			
Descripción	Dato	UND	Fuente
Caudal de diseño	Q_p	m ³ /día	Cálculo de caudales
Población	P	Hab	Cálculo de población
Dotación	D	L/Hab.día	RM-192-MVCSRURAL
Contribución de aguas residuales	C	%	RM-192-MVCSRURAL
Temperatura de la zona	T_s	°C	Estudio de la zona

Fuente: (Flores, 2019)

Tabla 3

Parámetro – Tipo de carga

Parámetro	Tipo de Carga	
	Baja	Alta
Carga hidráulica, (m ³ /m ² /d)	1.00 – 4.00	8.00 – 40,00
Carga Orgánica (kg DBO/m ³ /d)	0.08 – 0.40	0.40 – 4.80
Profundidad (lecho de piedra)	1.50 – 3.00	1.00 – 2.00
(medio plástico)	Hasta 12 m	
Razón de recirculación	0	1.0 – 2.00

Fuente: (Flores, 2019)

3.3.2. Objetivo específico 2

Determinar los parámetros fisicoquímicos (Temperatura, DBO₅, DQO, pH) de las aguas residuales municipales antes y después del proceso de tratamiento.

Toma de muestra

Se seleccionaron dos puntos de muestreo para este estudio. El primero corresponde al afluente, mientras que el segundo se encuentra en el efluente del filtro biológico. Este muestreo se llevó a cabo tras un periodo de 40 días para permitir la generación de microorganismos, y se extendió a lo largo de tres meses. Las muestras fueron recolectadas quincenalmente, obteniéndose cuatro muestras en cada visita, una por cada parámetro a analizar, con un volumen de 500 mL. Esto resultó en un total de 48 muestras. Para garantizar la integridad de las muestras durante el transporte, se emplearon botellas o recipientes rotulados con una capacidad de 1 L, los cuales se almacenaron en un cooler de 10 L para mantener la temperatura adecuada. Posteriormente, estas muestras fueron trasladadas al laboratorio de ingeniería sanitaria de la Facultad de Ecología – UNSM, donde se llevarán a cabo las mediciones de los parámetros de estudio y los tratamientos correspondientes.

Medición de las concentraciones de los parámetros de estudio

Después de recolectar las muestras, se llevaron a cabo la evaluación de las concentraciones obtenidas tanto en el afluente como en el efluente del sistema respecto a los parámetros de estudio. El objetivo fue obtener los valores antes y después del tratamiento. Estas mediciones se realizaron en el laboratorio de ingeniería sanitaria de la Facultad de Ecología de la UNSM, utilizando los equipos y materiales adecuados. Los equipos de medición empleado se indican a continuación.

Tabla 4

Equipos de medición de los parámetros de estudio

Parámetro de estudio	Equipo	Marca
DBO ₅	Multiparámetro H198193	HANNA
DQO	Multiparámetro H198193	HANNA
Temperatura	Termómetro	-
pH	pHTestr 10	Oakton

3.3.3. Objetivo específico 3

Evaluar la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno de las aguas residuales municipales.

Luego de compilar y analizar los datos obtenidos en la investigación para cada uno de los parámetros evaluados, se elaboraron gráficas que evidenciaron la efectividad del sistema de filtro biológico en la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales domésticas.

La fórmula aplicada para evaluar esta eficiencia fue la siguiente:

$$\% \text{ E. R.} = \frac{\text{Concentración entrada} - \text{Concentración salida}}{\text{Concentración entrada}} \times 100$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultado del objetivo específico 1

Diseñar un sistema de Filtro Biológico en la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno de las aguas residuales municipales.

El proceso de diseño del sistema de filtro biológico comenzó con el dimensionamiento hidráulico, empleando el método de saneamiento propuesto por el National Research Council (NRC) de los Estados Unidos. Es importante destacar que este método es particularmente apropiado cuando se utiliza piedra como medio filtrante. Este enfoque inicial permitió establecer las especificaciones hidráulicas necesarias para garantizar el correcto funcionamiento del sistema, considerando las características específicas del medio filtrante seleccionado. Los datos se muestran a continuación:

Tabla 5

Datos para el diseño del filtro biológico.

Descripción	Dato	Simb	Und
Población de diseño	171	P	Hab.
Dotación de Agua	120	D	Lt/hab/día
Contribución de aguas residuales	80	C	%
Temperatura de la zona	20°	Ts:	°C
Contribución per cápita de DBO ₅	50	Y	gr/hab/día
DBO requerida en el afluente	100	Se	Mg/L
Eficiencia de remoción de DBO ₅ del tratamiento primario (EP)	30	Ep	%

Tabla 6

Cálculo del caudal

Descripción	Símb	Dato	Und
Caudal de Diseño	Qp	8.21	m ³ /d

Tabla 7

Parámetros del filtro biológico

Descripción	Símb	Resultado	Und
Producción per cápita de aguas residuales	q	96	Lt/hab/día
DBO ₅ teórica ST:	St	520.83	mg/l
DBO ₅ remanente	So	390.625	mg/l

Tabla 8*Memoria de cálculo del filtro biológico*

Descripción	Simb	Resultado	Und
Eficiencia del filtro	Ef	73	%
Carga de DBO ₅	W	2.99	kgDBO/día
Caudal de recirculación	Qr	0	m ³ /día
Razón de recirculación	R	0	m ³ /día
Factor de recirculación	F	0	
Volumen del filtro	V	4.10	m ³
Volumen corregido		3.83	
Profundidad del medio filtrante	H	1	m
Área del filtro	A	3.83	m ²
Tasa de aplicación	TAS	2.14	m ³ /(m ² .día)
Carga orgánica	CV	0.78	kgDBO/ (m ³ .día)

Tabla 9*Dimensionamiento del filtro biológico rectangular*

Descripción	Simb	Resultado	Und
Número de filtro	N	1	und
Área del filtro	AF	3.83	m ²
Ancho del filtro	B	1.30	m
Largo del filtro	L	3	m

Tabla 10*Dimensiones internas de cada compartimiento del filtro biológico*

Descripción	Compartimientos	Largo		Ancho		Profundidad		
		Dato	Und	Dato	Und	Dato	Und	
Dimensiones internas de los compartimientos	1°	Primer compartimiento	1,31	m	0.95	m		
	2°	Segundo compartimiento	1,31	m	0.51	m	1,20	m
	3°	Tercer compartimiento	1,31	m	0.98	m		

Tabla 11*Elaboración de las biobolas*

Compartimiento	Material	Und	Longitud del Rollo	Diámetro	Largo	Altura
Segundo Compartimiento	Manguera corruga	4 rollos	100 metros	3/4"	2 cm	2 cm

Tabla 12
Material filtrante del tercer compartimiento

Compartimiento	Materiales filtrantes	Descripción	Largo	Ancho	Altura	Volumen
Tercer Compartimiento	1	Primer material filtrante	1,31 m	0,98 m	0.20	1,28
	2	Segundo material filtrante			0.20	1,28
	3	Tercer material filtrante			0.15	0,19
	4	Cuarto material filtrante			0.35	0,48

Tabla 13
Zona de recolección del agua filtrada del tercer compartimiento

Descripción	Simb	Dato	Und
Diámetro de Perforación	Dp	0.50	pulg
Área de la Perforación unitaria	Pu	0.0001166	m ²
Espaciamiento de la tubería	Et	0.20	m
Diámetro de la tubería	d	0.05	m
Número de tubería	Nt	4.00	und
Número de filas de perforaciones	Nf	2.00	und
Espaciamiento de perforaciones	Ep	0.15	m
Número de perforaciones por tubería	Np	44.00	und
Número de perforaciones totales	Pt	176.00	und
Área total de escurrimiento	Ae	0.02	m ²
Velocidad por perforación	Vp	0.0051	m/s

Tras la definición detallada de cada una de las especificaciones del sistema, se procedió al diseño del sistema hidráulico del filtro biológico utilizando biobolas. A continuación, se presentan las vistas del modelo obtenido. No obstante, para visualizar el plano completo, ver Anexo 01.

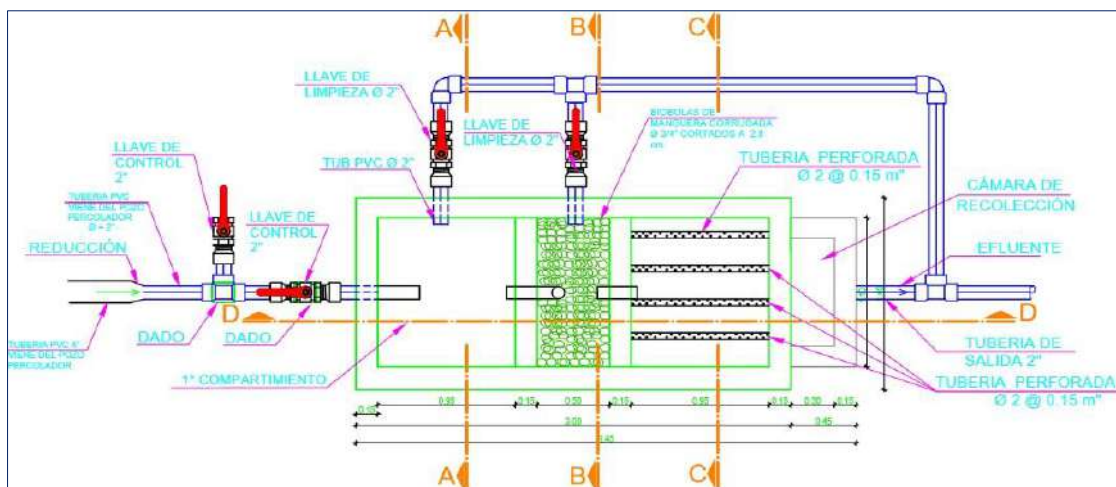


Figura 3
Vista superior esquema del filtro biológico con biobolas

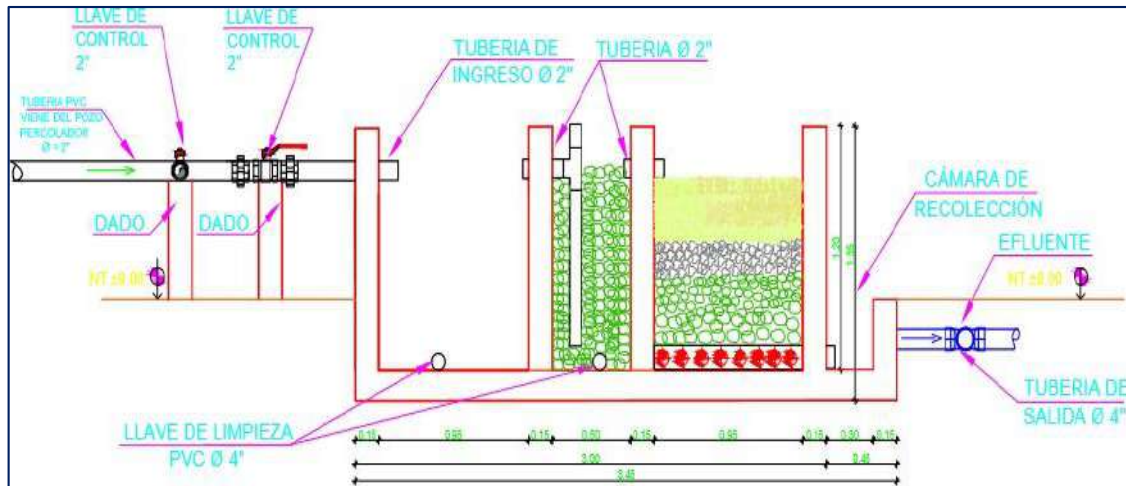


Figura 4
Vista frontal esquema del filtro biológico con biobolas

Funcionamiento del filtro biológico

El filtro biológico de biobolas opera mediante un sistema compuesto por tres compartimientos:

1. **Primer Compartimiento:** Se emplea para la sedimentación de una porción de los sólidos presentes en las aguas residuales.

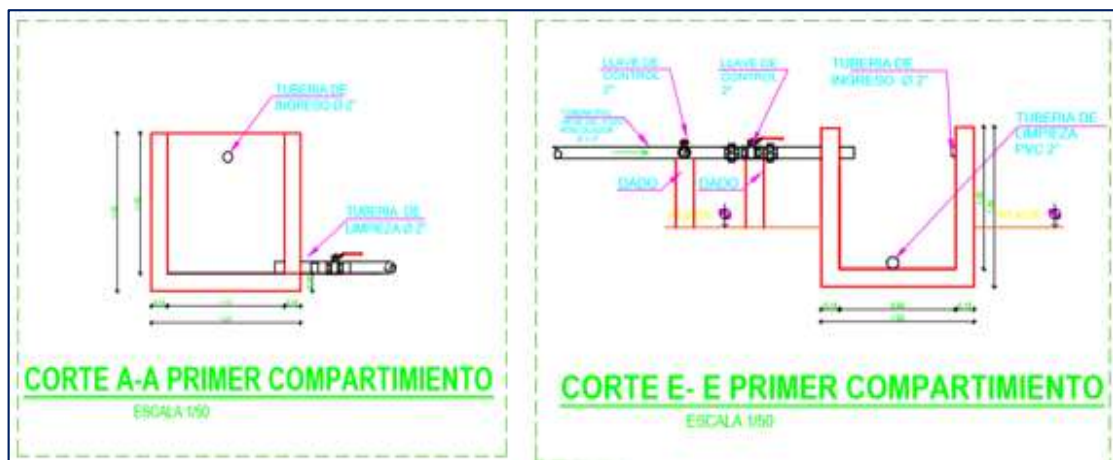


Figura 5
Esquema 1º compartimiento del filtro biológico con biobolas.

2. **Segundo Compartimiento:** Al ingresar al segundo compartimiento, el agua residual experimenta un tratamiento biológico, este efecto se debe a la cohesión de bacterias a las superficies rugosas de las biobolas. Estas biobolas están compuestas por mangueras corrugadas de $\frac{3}{4}$ " , lo que proporciona la textura adecuada para favorecer la colonización bacteriana y, por ende, potenciar el proceso biológico de purificación.

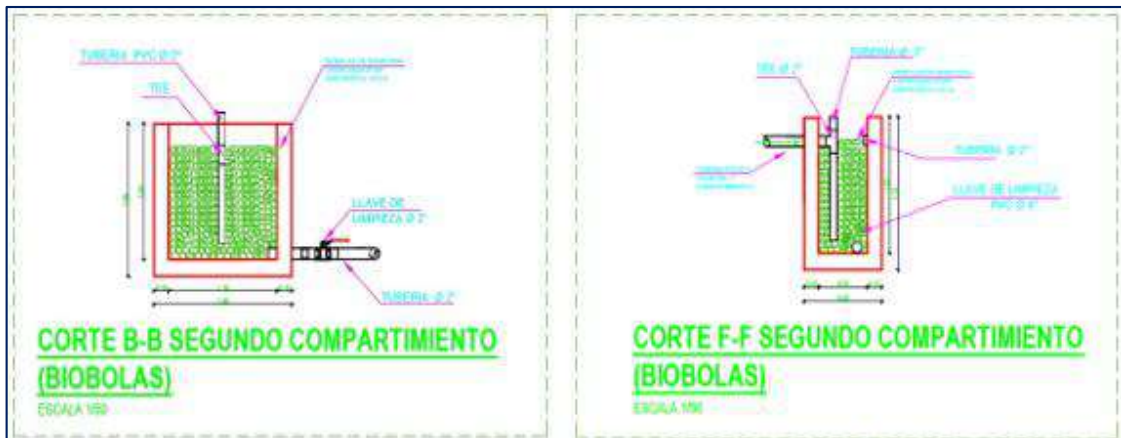


Figura 6

Esquema 2° compartimiento del filtro biológico con biobolas

3. Tercer Compartimiento: En este compartimiento se dispone de un lecho filtrante compuesto por una combinación de arena, carbón vegetal, grava de ½ pulgada y grava de 2 pulgadas. En este espacio, el agua residual proveniente del segundo compartimiento atraviesa el material filtrante, siendo recogida a través de los orificios de las tuberías perforadas situadas en la base del compartimiento. Posteriormente, el agua residual recolectada se almacena en una cámara específica de recolección, lista para su vertimiento en etapas subsiguientes del proceso.

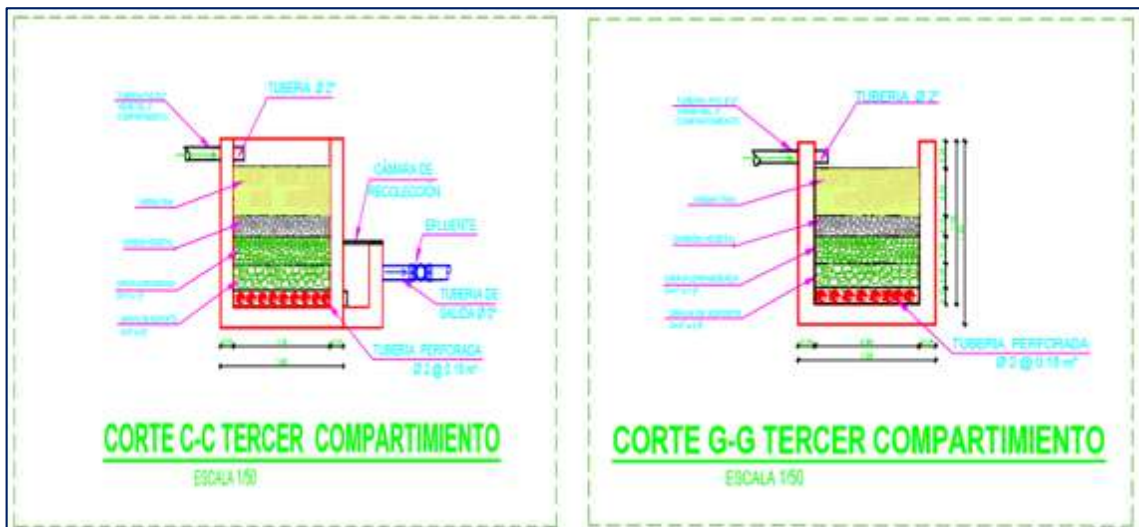


Figura 7

Esquema 3° compartimiento del filtro biológico con biobolas.

Comportamiento del flujo del filtro biológico

El flujo que penetra en el sistema hidráulico del filtro biológico con biobolas no sigue una trayectoria puramente horizontal, dado que este sistema está compuesto por tres compartimientos. Esta configuración facilita que el agua residual experimente ascensos y descensos, transitando de manera ordenada de un compartimiento a otro. En otras

palabras, fluye secuencialmente del primer compartimiento al segundo, y de allí al tercero, hasta llegar a la tubería de salida.

La entrada del agua residual al sistema ocurre inicialmente en el primer compartimiento. Luego, mediante una tubería de 2 pulgadas en forma de T, el agua se conduce al fondo del segundo compartimiento. Desde allí, la trayectoria del agua continúa del tercer compartimiento a través de una tubería de 2 pulgadas colocada en la parte superior del muro divisorio entre ambos compartimientos. En el tercer compartimiento, el agua residual se recoge mediante tuberías perforadas en la base, finalizando el proceso con el vertido del agua tratada.

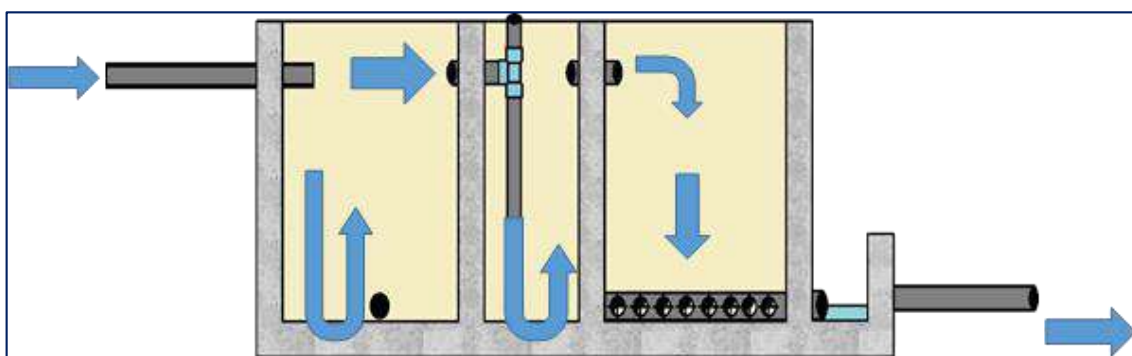


Figura 8

Detalle de flujo vertical del sistema de filtro biológico

Especificaciones técnicas del sistema hidráulico del filtro biológico con biobolas

Se instaló una válvula de PVC de 2 pulgadas, junto con las conexiones adecuadas, en la tubería de derivación que conecta el pozo percolador con el filtro biológico. Este componente se incorporó con el propósito de regular el flujo de agua residual, proporcionando la capacidad de restringir el paso del agua durante actividades de mantenimiento programadas o en caso de que se presente alguna obstrucción en el sistema.

Adicionalmente, el sistema de filtración biológica con biobolas incluye una válvula de compuerta de 2 pulgadas, estratégicamente ubicada en la tubería de entrada. Esta válvula desempeña un papel crucial al regular el flujo de agua residual que ingresa al filtro biológico, ajustándolo con precisión a la capacidad diseñada inicialmente del sistema.

La estructura del filtro biológico con biobolas se compone de ladrillo de cemento. Seguidamente, se llevó a cabo el tarrajeo e impermeabilización tanto interna como externa del filtro. Este proceso se ejecutó con el objetivo de prevenir posibles filtraciones de agua residual, garantizando así la integridad y eficiencia del sistema.

Las tuberías empleadas en el proyecto son de clase PVC con un diámetro estándar de 2 pulgadas, acompañadas de sus accesorios correspondientes. Este criterio de selección garantiza la compatibilidad y eficiencia del sistema, al tiempo que cumple con las normativas y estándares necesarios para asegurar un funcionamiento óptimo de las conducciones.

Las secciones primaria y secundaria del filtro biológico cuentan con válvulas de PVC de 2 pulgadas, especialmente diseñadas para simplificar la limpieza de los sedimentos residuales que se acumulan en estas áreas. Estas llaves de paso permiten un acceso eficiente durante las operaciones de mantenimiento, asegurando la efectividad en la gestión y eliminación de los sedimentos acumulados en dichos compartimentos.

El primer compartimento se estructura alrededor de una tubería de rebose de PVC de 2 pulgadas, diseñada con el propósito de prevenir posibles desbordamientos o colapsos del agua residual dentro del filtro biológico. Esta medida de seguridad contribuye a mantener la integridad y el rendimiento óptimo del sistema, evitando situaciones no deseadas durante el proceso de tratamiento del agua residual.

En el tercer compartimento, se han instalado cinco tuberías de PVC con un diámetro de 1 pulgada cada una, las cuales han sido perforadas estratégicamente. Estas tuberías perforadas desempeñan un papel fundamental en la recolección eficiente del agua residual en este compartimento, asegurando un proceso de filtración efectivo y facilitando la posterior canalización del agua tratada.

En la etapa final del sistema, la tubería de salida ha sido construida con PVC y presenta un diámetro de 2 pulgadas.

Costo de la implementación del sistema hidráulico del filtro biológico con biobolas

La inversión total para la instalación mediante un humedal artificial integrado al sistema de filtración biológica ascendió a S/ 6,169.20. Es importante destacar que se incluyó un componente adicional, consistente en la construcción de un techo con un espacio de 4 metros de largo y 2.5 metros de ancho, con un costo adicional de S/ 1,313.90. La incorporación de este techo fue realizada con el objetivo de resguardar el filtro de influencias externas como la lluvia, hojas secas, ramas y otros materiales que podrían interferir con el tratamiento biológico, asegurando así la eficacia continua del sistema.

4.2. Resultado del objetivo específico 2

Determinar los parámetros fisicoquímicos (Temperatura, DBO₅, DQO, pH) de las aguas residuales municipales antes y después del proceso de tratamiento.

Una vez implementado el sistema de filtro biológico, se esperó un periodo de 40 días antes de iniciar la primera toma de muestras para esperar la generación de microorganismos. Estas muestras se recolectaron tanto en el afluente como en el efluente del sistema a lo largo de tres meses de forma quincenal, obteniendo 8 muestras en cada visita al lugar (4 en el afluente y 4 en el efluente), lo que resultó en un total de 48 muestras. Luego, los resultados obtenidos se compararon con los límites máximos permitidos para efluentes de plantas de tratamiento de fuentes domésticas o municipales, establecidos en el D.S. N°003-2010-MINAM. Los resultados obtenidos se muestran a continuación:

Tabla 14

Resultados 1° muestreo a 40 días de la implementación del sistema

Parámetro	Concentración	Concentración	Unidad de medida
	afluente	efluente	
Temperatura	23.70	23.90	°C
DBO ₅	1,125.00	158	mg/L
DQO	1,451.00	228	mg/L
pH	7.01	7.15	Potencial de hidrógeno

Interpretación:

La tabla 14 presenta los resultados del primer muestreo, el cual fue llevado a cabo 40 días después de la implementación del sistema. En dicho sistema, la temperatura del agua residual muestra una ligera elevación, pasando de 23.7°C a 23.9°C. Además, se observa una marcada reducción en la concentración de DBO₅, alcanzando una concentración de 158 mg/L, lo que indica una notable mejora en la calidad del agua. Respecto a la DQO, se registró una concentración final de 228 mg/L, evidenciando una significativa disminución con la concentración inicial del parámetro. Finalmente, el pH no experimentó cambios considerables, obteniendo 7.15 como dato final.

Tabla 15*Resultados 2° muestreo a 55 días de la implementación del sistema.*

Parámetro	Concentración	Concentración	Unidad de medida
	afluente	efluente	
Temperatura	22.90	22.50	°C
DBO ₅	2,098.00	214	mg/L
DQO	3,820.00	401	mg/L
pH	6.73	7.04	Potencial de hidrógeno

Interpretación:

La tabla 15 presenta los resultados del segundo muestreo, realizado 55 días después del inicio operativo del sistema de biofiltro. En cuanto a la temperatura del agua, se aprecia una ligera variación de 22.9°C a 22.5°C, la cual no es significativa. Sin embargo, se destaca una notable reducción en la concentración de DBO₅, alcanzando un valor final de 214 mg/L, lo que evidencia la eficacia del sistema en relación con este parámetro. Así mismo, se observa una eficiencia similar en la disminución de la DQO, el cual alcanzó una concentración en el efluente de 401 mg/L. Por último, el pH experimentó un ligero aumento, alcanzando una concentración de 7.04.

Tabla 16*Resultados 3° muestreo a 70 días de la implementación del sistema*

Parámetro	Concentración	Concentración	Unidad de medida
	afluente	efluente	
Temperatura	24.30	24.20	°C
DBO ₅	3,270.00	305.00	mg/L
DQO	5,100.00	461.00	mg/L
pH	7.11	7.14	Potencial de hidrógeno

Interpretación:

La tabla presenta los resultados del tercer muestreo, llevado a cabo 70 días después de la instalación del sistema. Se registró una variación insignificante en la temperatura, el cual disminuyó en 1°C. Por otro lado, se observó una notable reducción tanto en el DBO₅ como en la DQO, con concentraciones de 305 mg/L y 461 mg/L respectivamente, lo que indica una eficacia continua del sistema en la mejora de la calidad del agua. Finalmente, el pH experimentó un ligero aumento, alcanzando un valor final de 7.14.

Tabla 17*Resultados 4° muestreo a 85 días de la implementación del sistema*

Parámetro	Concentración	Concentración	Unidad de medida
	afluente	efluente	
Temperatura	22.3	22.2	°C
DBO ₅	2,170.00	99.2	mg/L
DQO	3,402.00	152	mg/L
pH	7.01	7.15	Potencial de hidrógeno

Interpretación:

La tabla 17 presenta los resultados del cuarto muestreo, realizado 85 días después de la implementación del biofiltro. Se destaca que, con una vegetación más desarrollada en el sistema, se registraron cambios muy insignificantes en la temperatura. Sin embargo, en lo que respecta al DBO₅, se observó una reducción muy significativa, alcanzando una concentración de 99.2 mg/L, lo que representa una mejora notable con respecto a las mediciones anteriores. Asimismo, la concentración de DQO se situó en 152 mg/L, indicando una alta eficiencia en el sistema gracias al desarrollo de los organismos presentes. Por último, el pH experimentó un ligero aumento, alcanzando una concentración final de 7.15.

Tabla 18*Resultados 5° muestreo a 100 días de la implementación del sistema.*

Parámetro	Concentración	Concentración	Unidad de medida
	afluente	efluente	
Temperatura	23.5	23,1	°C
DBO ₅	1,190.00	116	mg/L
DQO	2,432.00	171	mg/L
pH	7.30	7.27	Potencial de hidrógeno

Interpretación:

La tabla presenta los resultados del quinto muestreo, realizado después de 100 días de la implementación del sistema. Se registró una temperatura final de 23.1°C, muy similar a la temperatura de entrada. Respecto a la DBO₅, se observó una notable diferencia con respecto a la concentración inicial, con un valor de 116 mg/L, indicando una mejora significativa en este parámetro. De igual manera, la DQO alcanzó un resultado final de 171 mg/L, considerablemente inferior a la concentración inicial, lo que evidencia la eficacia del sistema en la reducción de ambos parámetros. Por último, el pH no mostró una diferencia significativa en comparación con la concentración inicial.

Tabla 19

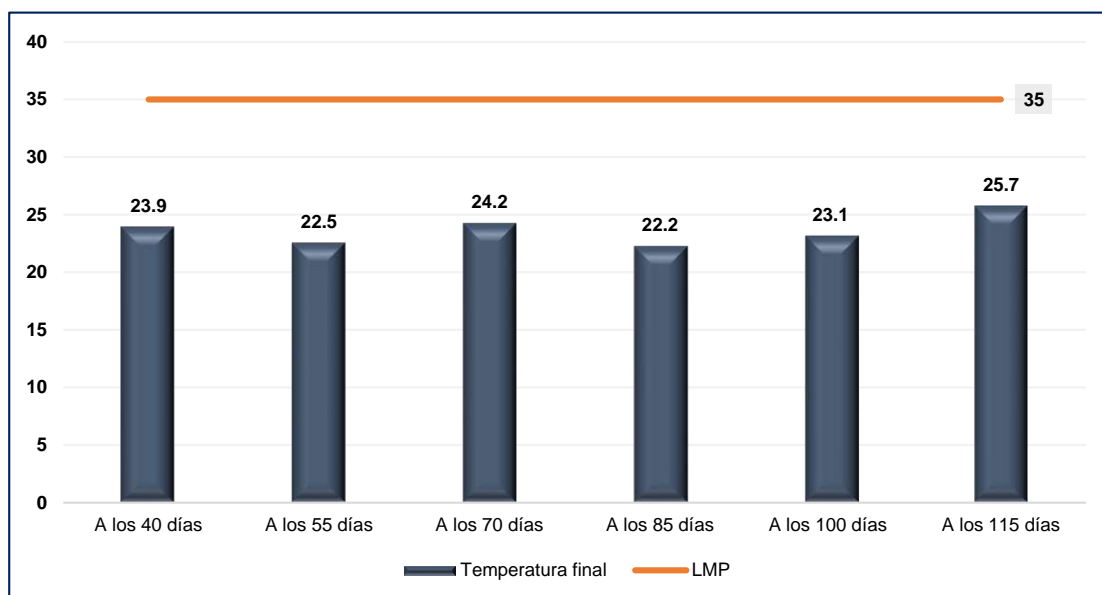
Resultados 6° muestreo a 115 días de la implementación del sistema.

Parámetro	Concentración afluente	Concentración efluente	Unidad de medida
Temperatura	25.4	25.7	°C
DBO ₅	1,225.00	129	mg/L
DQO	2,607.00	196	mg/L
pH	7.34	7.28	Potencial de hidrógeno

Interpretación:

La tabla 19 muestra los resultados del sexto y último muestreo, realizado cuando los organismos del biofiltro han alcanzado su completo desarrollo. Se observó que la temperatura se mantuvo muy similar tanto en la entrada como en la salida del sistema. Con relación al DBO₅, se registró una reducción considerable con una concentración final de 129 mg/L, indicando una mejora significativa. De igual manera, la DQO mostró una notable mejora, alcanzando un resultado en el efluente de 196 mg/L. Por último, el pH no presentó una diferencia significativa entre la concentración inicial y final.

Comparación con los límites máximos permitidos para efluentes de plantas de tratamiento de fuentes domésticas o municipales.

**Figura 9**

Comparación Temperatura – LMP

Interpretación:

Basándonos en los Límites Máximos Permisibles estipulados en el D.S. N°003-2010-MINAM, se observa que los valores de temperatura obtenidos en todos los muestreos

se mantienen por debajo del límite de 35°C. Esto confirma la eficacia del sistema en el control de este parámetro. Además, se destaca que el menor resultado en términos de temperatura se registró a los 85 días después de la implementación del sistema.

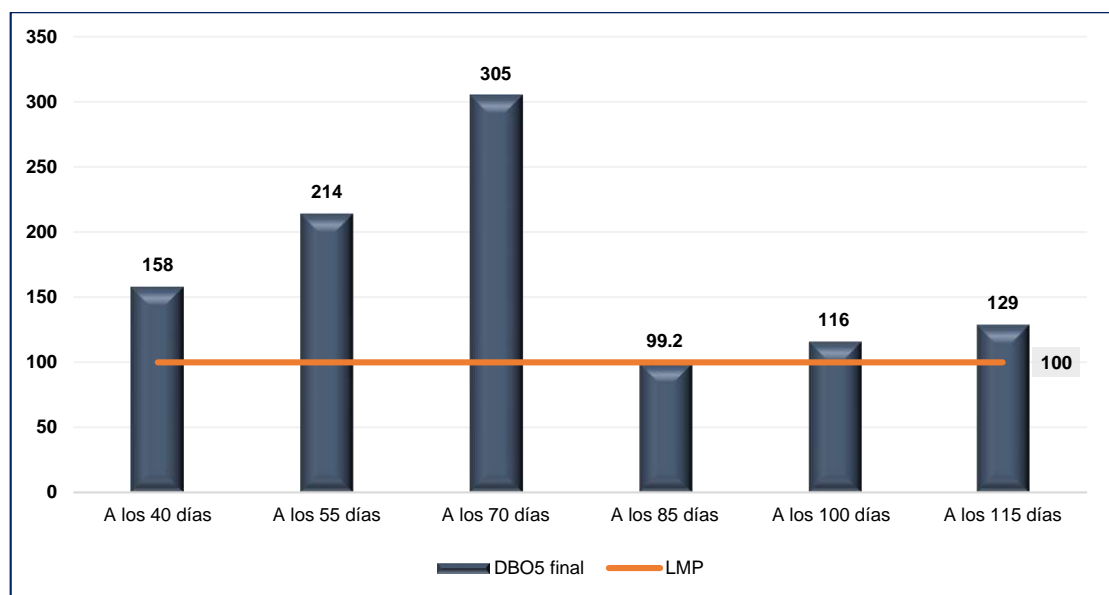


Figura 10

Comparación DBO5 – LMP

Interpretación:

Considerando los Límites Máximos Permisibles establecidos en el D.S. N°003-2010-MINAM, se evidencia que la mayoría de los valores finales de DBO₅ obtenidos en los muestreos exceden el límite de 100 mg/L, con la excepción del registrado en el cuarto muestreo, a los 85 días de la implementación del sistema. Aunque en el quinto muestreo también se supera el límite, la concentración se acerca notablemente a este valor. Además, se observa una tendencia hacia la reducción de las concentraciones finales de este parámetro a lo largo del tiempo, lo que indica la eficacia del sistema conforme avanza su desarrollo.

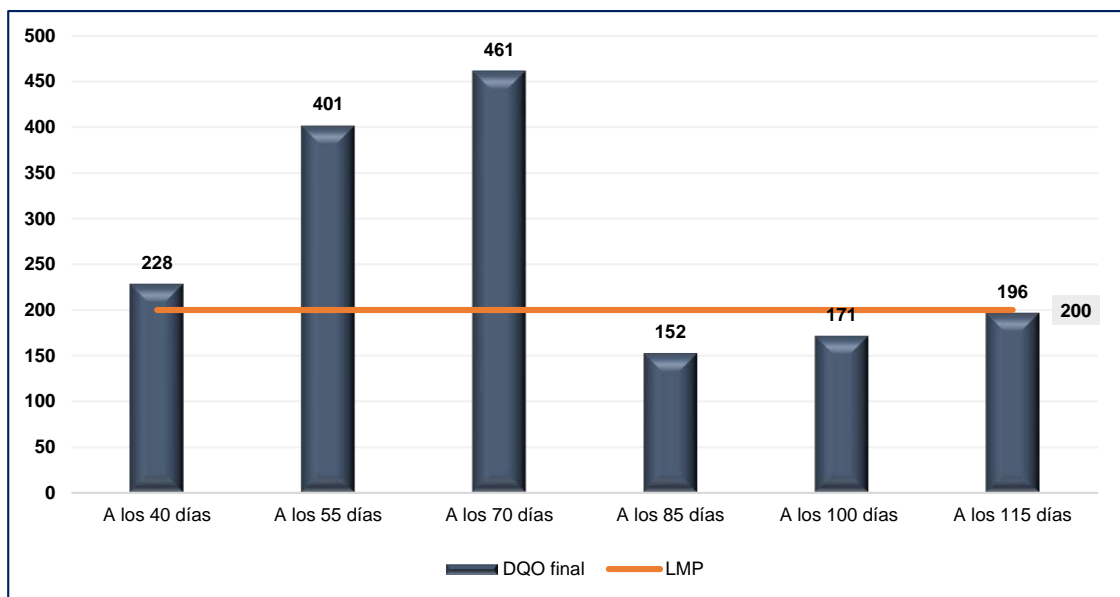


Figura 11
Comparación DQO – LMP

Interpretación:

Teniendo en cuenta lo establecido en el D.S. N°003-2010-MINAM por los límites máximos permisibles, se observa que las concentraciones finales en los primeros tres muestreos exceden dichos límites. No obstante, a medida que transcurren los días, se registran concentraciones en el efluente por debajo del límite, lo que confirma la eficacia del sistema conforme los organismos se desarrollan en él. El mejor resultado se alcanzó a los 85 días desde la implementación del sistema, lo cual podría relacionarse también con la concentración inicial de la muestra de agua residual municipal. No obstante, la eficacia del sistema es evidente, en cualquier caso.

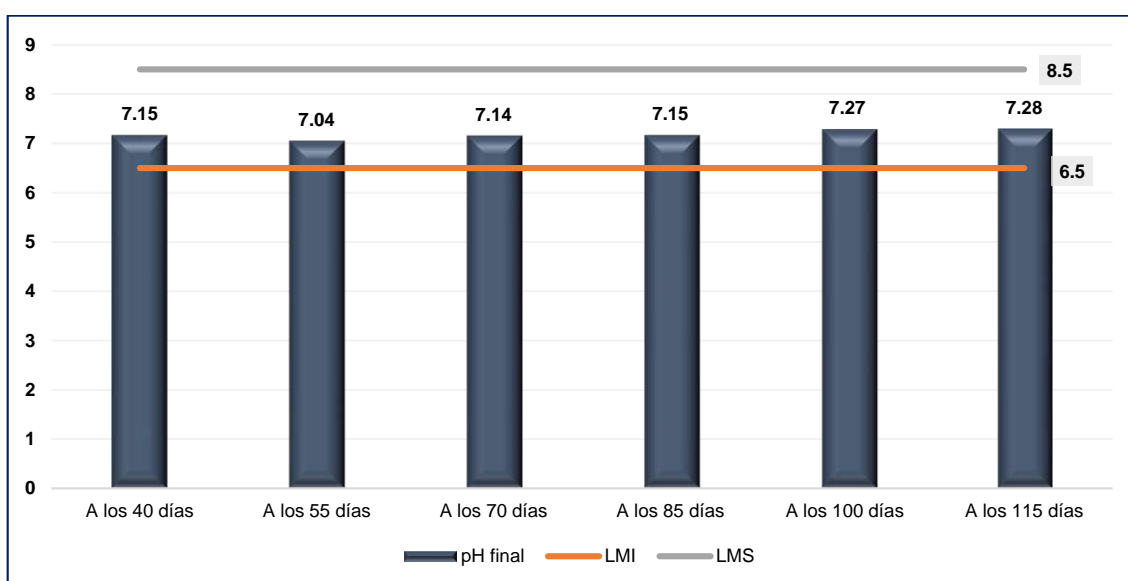


Figura 12
Comparación pH – LMP

Interpretación:

Basándonos en los Límites Máximos Permisibles se puede concluir que las concentraciones de pH en el efluente del sistema, en todas las muestras analizadas, permanecen dentro del rango aceptable. Este resultado indica la eficacia del sistema en términos de control de este parámetro.

4.3. Resultados del objetivo específico 3**Evaluar la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno de las aguas residuales municipales.**

Para calcular el porcentaje de remoción de los parámetros evaluados mediante el sistema de biofiltro, se empleó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ E. R.} = \frac{\text{Concentración entrada} - \text{Concentración salida}}{\text{Concentración entrada}} \times 100$$

Se utilizaron los datos recopilados tanto en la entrada como en la salida del sistema, los cuales fueron presentados en las tablas anteriores. A continuación, se presenta una tabla que resume todos los resultados de remoción obtenidos:

Tabla 20*Porcentajes de remoción*

Parámetros	1° muestreo	2° muestreo	3° muestreo	4° muestreo	5° muestreo	6° muestreo
DBO ₅	85.96%	89.80%	90.67%	95.43%	90.25%	89.47%
DQO	84.29%	89.50%	90.96%	95.53%	92.97%	92.48%
Parámetros	Media (%)	Desviación Estándar (%)	Varianza (%)	Porcentaje de Variación (%)		
DBO ₅	90.26	3.04	9.24	10.49		
DQO	90.96	3.84	14.77	12.36		

A continuación, se muestran los datos de manera gráfica para facilitar su visualización y comprensión:

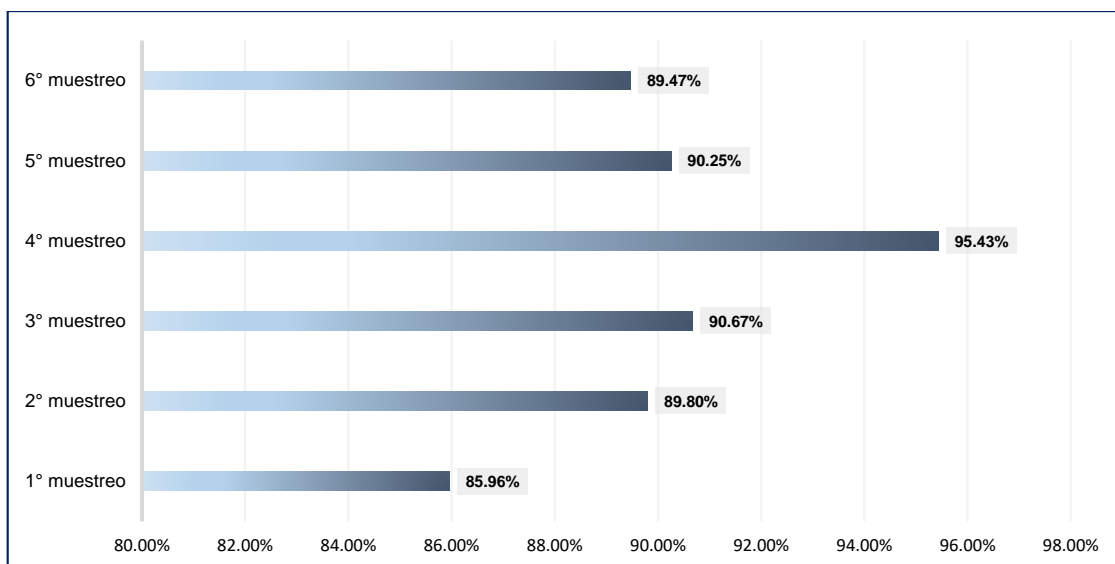


Figura 13
% de remoción DBO5

En la figura 13 se observan los porcentajes de remoción alcanzados en el sistema de biofiltro con respecto al parámetro de DBO₅. Los resultados indican una remoción progresiva y significativa durante los seis muestreos realizados. El porcentaje de remoción más alto se registró en el cuarto muestreo, realizado a los 85 días, con un 95.43% que redujo la concentración a 99.2 mg/L, situándose dentro del LMP. Sin embargo, en los muestreos posteriores (100 y 115 días), los valores se incrementaron a 116 mg/L y 129 mg/L, respectivamente, excediendo ligeramente el límite. La media general de remoción para la DBO₅ fue del 90.26%, lo que evidencia la alta eficiencia del sistema, aunque también subraya la necesidad de optimizar las condiciones operativas para garantizar un cumplimiento constante.

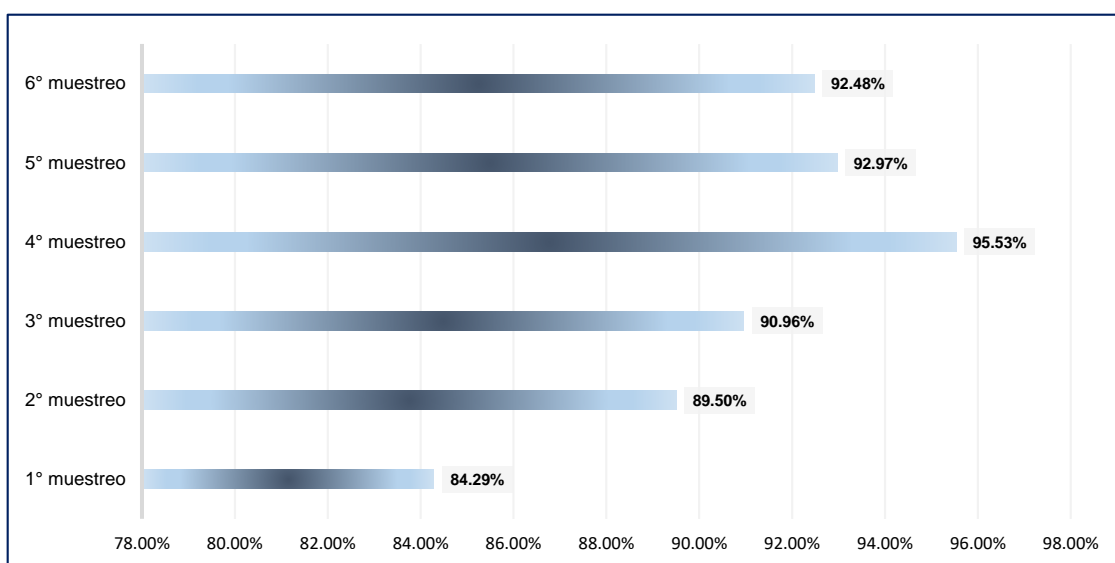


Figura 14
% de remoción DQO

En la figura 14 se observa la evolución de la remoción del parámetro DQO a lo largo del tiempo. Los resultados muestran una remoción igualmente destacable, alcanzando un porcentaje máximo del 95.53% en el cuarto muestreo (85 días), con una concentración de 152 mg/L, cerca del límite permisible. Posteriormente, los valores oscilaron entre 171 mg/L y 196 mg/L en los muestreos finales, lo que refleja un ligero descenso en la eficiencia. La remoción media de DQO fue del 90.96%, confirmando que el sistema es eficaz en la reducción de compuestos orgánicos y oxidables, aunque persisten momentos de sobrepaso de los LMP.

Análisis estadístico para evaluar la significancia.

Para la evaluación de la significancia primero, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk un análisis esencial para evaluar si los datos siguen una distribución normal. Esto es relevante para aplicar la prueba t de Student, ya que esta requiere este supuesto para que los resultados sean válidos. En este estudio, donde se comparan parámetros como la DBO5, DQO, pH y temperatura antes y después del tratamiento, verificar la normalidad garantiza que los resultados sean estadísticamente sólidos. Sin esta evaluación, cualquier conclusión basada en pruebas paramétricas podría ser cuestionable.

- **Prueba de Shapiro-Wilk**

Formula de Shapiro-Wilk

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Donde:

- W : Estadístico de Shapiro-Wilk (si W es cercano a 1, los datos son normales).
- $x_{(i)}$: Valores ordenados de menor a mayor en el conjunto de datos.
- \bar{x} : Media de los datos.
- a_i : Coeficientes predefinidos basados en la matriz de covarianza de los datos esperados para una distribución normal.
- n : Número de observaciones.

Asimismo, para el análisis de la distribución de los datos de esta prueba se debe tener en cuenta el valor de **p-valor**, la cual se calcula en función del estadístico W y del tamaño de muestra (n), teniendo en cuenta las siguientes hipótesis.

- **Hipótesis nula (H0):** Los datos siguen una distribución normal.

➤ **Hipótesis alternativa (H1):** Los datos no siguen una distribución normal.

Tabla 21

Resultados de la prueba de Shapiro-Wilk (Normalidad)

Parámetro	W (Estadístico)	p-valor	Interpretación
DBO ₅	0.97	0.890	Los datos son normales ($p > 0.05$)
DQO	0.98	0.960	Los datos son normales ($p > 0.05$)
pH	0.94	0.620	Los datos son normales ($p > 0.05$)
Temperatura	0.96	0.740	Los datos son normales ($p > 0.05$)

Para realizar la interpretación de los resultados obtenidos de la prueba realizada se debe tener en consideración lo siguiente:

- Si $p > 0.05$: No se rechaza H_0 . Esto indica que no hay evidencia suficiente para concluir que los datos no son normales. Los datos pueden considerarse consistentes con una distribución normal.
- Si $p \leq 0.05$: Se rechaza H_0 . Esto significa que hay evidencia suficiente para concluir que los datos no siguen una distribución normal.

Interpretación:

La tabla 21 muestra los resultados obtenidos de la prueba de Shapiro-Wilk, en donde la DBO₅ presenta un estadístico $W = 0.97$ y un p-valor de 0.890 indicando que no se rechaza la hipótesis nula, lo que implica que las diferencias observadas entre el afluente y el efluente siguen una distribución normal. Este resultado confirma que las variaciones en la DBO₅ son consistentes con un comportamiento normal y permite avanzar hacia un análisis paramétrico más detallado. De manera similar, para la DQO, se obtuvo un estadístico $W = 0.98$ y un p-valor de 0.960, lo que también respalda la hipótesis de normalidad en este parámetro. Esto valida que las diferencias entre el afluente y el efluente en términos de DQO son estadísticamente compatibles con una distribución normal.

Por otro lado, los valores de $W = 0.94$ y $p = 0.620$ obtenidos para el pH demuestran que las pequeñas variaciones en este parámetro, durante el proceso de tratamiento, no presentan sesgos significativos. Esto confirma que las diferencias en los valores de pH entre el afluente y el efluente también siguen un comportamiento normal. Finalmente, los resultados para la temperatura, con $W = 0.95$ y un p-valor de 0.740, refuerzan esta tendencia, ya que las diferencias observadas para este parámetro son consistentes con una distribución normal.

En conjunto, estos resultados presentados en la tabla 20 validan la aplicación de la prueba t de Student, para comparar los valores entre el afluente y el efluente.

- **Prueba de t de Student**

Es una herramienta clave para evaluar si existen diferencias significativas entre los parámetros del afluente y el efluente. En este estudio, su principal objetivo es demostrar la efectividad del sistema de tratamiento en la reducción de contaminantes como DBO5 y DQO.

Fórmula de la prueba t de Student

$$t = \frac{\bar{D}}{\frac{S_D}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

- t : Estadístico t de Student.
- \bar{D} : Media de las diferencias entre pares ($D_i = X_{\text{Afluente}} - X_{\text{Efluente}}$)
- S_D : Desviación estándar de las diferencias (D_i).

$$S_D = \sqrt{\frac{\sum(D_i - \bar{D})^2}{n - 1}}$$

- n : Número de pares de datos

Tabla 22

Resultados de la prueba t de Student

Parámetro	t-Estadístico	p-valor	Interpretación
DBO ₅	5.27	0.003	Diferencia significativa (p < 0.05)
DQO	6.01	0.003	Diferencia significativa (p < 0.05)
pH	-1.58	0.175	No hay diferencia significativa (p > 0.05)
Temperatura	0.70	0.517	No hay diferencia significativa (p > 0.05)

Para la interpretación de los resultados obtenidos, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- p-valor ≤ 0.05: Rechaza H0 (hay una diferencia significativa entre las medias).
- p-valor > 0.05: No rechaza H0 (no hay una diferencia significativa).

Interpretación:

La tabla 22 presenta los resultados obtenidos de la prueba t, donde el estadístico $t = 5.27$ y el p-valor de 0.003 para la DBO_5 demuestran que existe una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0.05$) entre los valores del afluente y el efluente. Este resultado valida que el sistema de filtro biológico es altamente eficaz en la reducción de la carga orgánica biodegradable presente en las aguas residuales, confirmando su capacidad para tratar este contaminante de manera eficiente. De manera similar, en el caso de la DQO, el estadístico $t = 6.01$ y el p-valor de 0.002 también indican una diferencia significativa entre el afluente y el efluente. Esto confirma que el sistema tiene un impacto considerable en la remoción de contaminantes químicos orgánicos, los cuales se reflejan en la disminución de la DQO.

Por otro lado, los resultados obtenidos para el pH, con un estadístico $t = -1.58$ y un p-valor de 0.175, no muestran una diferencia significativa ($p > 0.05$) entre los valores del afluente y el efluente. Este hallazgo sugiere que el sistema de tratamiento no afecta significativamente este parámetro, lo que es positivo, ya que el pH se mantiene dentro de los rangos naturales y estables tanto antes como después del tratamiento. De manera similar, para el caso de la temperatura, el estadístico $t = 0.70$ y el p-valor de 0.517 indican que no hay diferencias estadísticamente significativas ($p > 0.05$) entre el afluente y el efluente. Esto confirma que el sistema de filtro biológico no genera alteraciones térmicas relevantes durante el proceso de tratamiento, lo cual es deseable para garantizar la estabilidad del agua tratada.

4.4. Discusión de resultados

Los resultados de Pachaiappan et al. (2022) acerca de la efectividad de la biofiltración como una técnica económica, sencilla y respetuosa con el medio ambiente para el tratamiento de aguas residuales están alineados con los hallazgos de la presente investigación. El sistema de filtración biológica con biobolas que se empleó demostró una alta eficacia, alcanzando remociones de DBO_5 entre 85.96% y 95.43%, y de DQO entre 84.29% y 95.53%. Estos datos respaldan la afirmación de Pachaiappan et al. sobre la superioridad de los métodos de biofiltración en comparación con las técnicas convencionales, demostrando su capacidad para eliminar de manera eficiente la materia orgánica de las aguas residuales municipales.

En comparación con los resultados obtenidos por Sohair et al. (2019), la presente investigación ha demostrado una eficiencia notablemente mayor. Mientras Sohair et al. reportaron remociones de DBO_5 y DQO de 51.34% y 51.05% respectivamente en un

filtro percolador, nuestro sistema alcanzó eficiencias de hasta 95.43% para DBO5 y 95.53% para DQO. Está marcada diferencia sugiere que el diseño específico del filtro biológico con biobolas presenta ventajas importantes sobre los sistemas de filtro percolador tradicionales, posiblemente debido a la mayor superficie de contacto que proporcionan las biobolas y la configuración de múltiples compartimentos.

Los hallazgos de Ccente y Huayllani (2021), al igual que los de Sohair et al., muestran una diferencia considerable en comparación con los resultados de esta investigación. La eficiencia superior de nuestro sistema se hizo especialmente evidente en el cuarto muestreo, realizado 85 días después de su implementación, cuando se alcanzaron los niveles más altos de remoción. Esto subraya un aspecto crucial que no se abordó en estudios anteriores: la influencia del tiempo de maduración del sistema en su eficiencia. Los resultados de nuestra investigación indican que la eficacia del sistema mejora con el tiempo, probablemente debido al desarrollo y establecimiento de las comunidades microbianas en las biobolas.

En el estudio de Huamán (2020) sobre diversos materiales orgánicos utilizados como medios filtrantes, los resultados en la presente investigación evidencian una eficiencia significativamente superior a la de todos los materiales analizados. Mientras que el mejor rendimiento en el estudio de Huamán se logró con aserrín de madera, alcanzando un 76.46% para los parámetros químicos, nuestro sistema de biobolas logró eficiencias consistentemente superiores al 84% para DQO. Esta diferencia resalta la eficacia de las biobolas como soporte para el crecimiento microbiano, superando a los materiales orgánicos convencionales en términos de eficiencia de tratamiento.

Finalmente, al comparar con el sistema de tres compartimentos descrito por Díaz y Rodríguez (2019), que alcanzó eficiencias de remoción de 85.40% para DBO5 y 82.36% para DQO, el sistema empleado en esta investigación mostró un rendimiento superior, especialmente en los últimos muestreos. Aunque ambos estudios coinciden en la efectividad de los sistemas de filtración biológica multicámara, nuestros resultados indican que el uso específico de biobolas ofrece una ventaja adicional, permitiendo alcanzar y mantener niveles de remoción más altos a lo largo del tiempo.

CONCLUSIONES

- Se diseñó e implementó con éxito un sistema de filtro biológico de tres compartimientos, empleando biobolas como soporte para el crecimiento bacteriano. Este sistema resultó efectivo en el tratamiento de aguas residuales municipales, asegurando un flujo adecuado y un proceso de filtración eficiente.
- Se evaluaron los parámetros fisicoquímicos (temperatura, DBO₅, DQO, pH) de las aguas residuales municipales antes y después del tratamiento, observándose mejoras significativas en la calidad del agua. Las reducciones en DBO₅ y DQO alcanzaron hasta un 95.43% y 95.53%, respectivamente, mientras que la temperatura y el pH se mantuvieron dentro de los rangos aceptables según los Límites Máximos Permisibles establecidos en el D.S. N°003-2010-MINAM.
- El sistema demostró una alta eficiencia en la remoción de la demanda química y bioquímica de oxígeno, con porcentajes de remoción que variaron entre 85.96% y 95.43% para DBO₅, y entre 84.29% y 95.53% para DQO. Además, se observó que la eficiencia del sistema mejoró con el tiempo, destacando la importancia del desarrollo y establecimiento de comunidades microbianas en las biobolas para potenciar el rendimiento del filtro biológico.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a futuros investigadores realizar estudios prolongados para evaluar la eficacia del sistema de filtro biológico con biobolas bajo distintas condiciones climáticas y épocas del año, con el fin de determinar su resistencia y adaptabilidad. Además, se sugiere explorar la incorporación de un pre-tratamiento para reducir la carga orgánica inicial y mejorar la eficiencia en la remoción de DQO y DBO₅.
- A la Facultad de Ecología - UNSM, se recomienda fomentar el desarrollo de tecnologías sustentables para el tratamiento de aguas residuales, promoviendo sistemas como el filtro biológico con biobolas, que ofrecen soluciones innovadoras y respetuosas con el medio ambiente.
- A las autoridades municipales y entidades competentes, se sugiere considerar la implementación de sistemas de filtro biológico en comunidades pequeñas y medianas, dada su eficacia comprobada y capacidad para cumplir con los estándares ambientales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abbott, W. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. *Journal of Economic Entomology*, 18(2): 265–267. <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>
- Badawi, A. K., Kriaa, K., Osman, R. M., y Hassan, R. (2024). Modified rice husk waste-based filter for wastewater treatment: Pilot study and reuse potential. *Chemical Engineering y Technology*, 47(7), 968–975. <https://doi.org/10.1002/ceat.202300461>
- Barrera, L., Díaz, A., López, E., Medina, E., Rivera, M., y Vallester, E. (2018). Evaluación del desempeño del filtro biológico de la Universidad Tecnológica de Panamá. *Revista de Iniciación Científica*, 4 (1), 23-29. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.1.1863>
- Barría, L., Chávez, C., Morales, D., Robinson, Y., Rodríguez, A., Samudio, M., y Vallester, E. (2017). Evaluación de un filtro biológico de flujo ascendente anóxico a escala de laboratorio para remoción de nitrato. *Revista de Iniciación Científica*, 3 (2), 63-69. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1754>.
- Black y Decker Corporation, Ramírez, H., Rojas, E., Rugg, A., y Schnell, J. (2010). *La guía completa sobre plomería: Materiales modernos y códigos actualizados, una nueva guía para trabajar con tubería de gas* (M. T. Rojas, Ed.; 1ª ed.). Editorial Limusa Grupo Noriega Editores.
- Buitron, G. Reino, C. y Carrera, J. 2018. Manual técnico sobre tecnologías biológicas aerobias aplicadas al tratamiento de aguas residuales industriales. https://www.cytcd.org/sites/default/files/tratamiento_aerobio_de_aguas_residuales.pdf.
- Cabrera, A. C., y Cabrera, J. M. (2019). Filtros Biológicos Percoladores. FBP. Filtros biológicos percoladores. Consultado el 25 de enero de 2021, desde <https://www.academia.edu/40207903/FILTROSBIOL%5C%C3%5C%93GICOS>
PERCOLADORES FBP
- Ccente, A., y Huayllani, I. (2021). *Eficiencia en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno en la planta de tratamiento de aguas residuales de filtro percolador del distrito de Paucará* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/4175>

- Chang, J., Mei, J., Jia, W., Chen, J., Li, X., Ji, B., y Wu, H. (2019). Treatment of heavily polluted river water by tidal-operated biofilters with organic/inorganic media: Evaluation of performance and bacterial community. *Bioresource technology*, 279, 34-42. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.060>
- Chaves, J. C. (2017). "Eficiencia de un Biofiltro en la Reducción de Carga Orgánica de un Efluente Industrial en la Ciudad de Celendín". [Tesis de Pregrado, Univesidad de Celendín] Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/1734>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., y Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales Nelson Antequerra. <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Díaz y Rodriguez (2019). Evaluación de la eficiencia de un sistema de filtro biológico en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas, Sector Las Lomas, Moyobamba, 2015 – 2016 (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín. <http://hdl.handle.net/11458/3714>
- Dillon, G., y Thomas V. (1989). Evaluación a escala piloto del proceso de bicarburo para el tratamiento de aguas residuales sedimentadas y para la nitrificación terciaria de efluentes secundarios. *Revista Nice*
- Galindo, A., Toncel, E., y Rincón, N. (2016). Evaluación de un filtro biológico como unidad de post-tratamiento de aguas residuales utilizando conchas marinas como material de soporte. *Revista. ION.*, 29 (2). <https://doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016003>
- Jaramillo M, A., y Paredes T, J. (2019). Evaluación de la eficiencia de un sistema de dos filtros percoladores en serie para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la urbanización Santa Lucía Morales. [Tesis de Pregrado, Universidad Peruana de Unión]. <https://docplayer.es/152080736-Universidad-peruana-union.html>
- Kim, J., Cheong, H., y Jeon, B. (2018). Burden of Disease Attributable to Inadequate Drinking Water, Sanitation, and Hygiene in Korea. *Journal of Korean Medical Science*, 33. <https://doi.org/10.3346/jkms.2018.33.e288>
- Kircher, M., y Schwarz, T. (2023). *CO2 and CO as feedstock : sustainable carbon sources for the circular economy*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-27811-2>

- Khusnul, A., y Putu, W. (2015). Pengolahan air limbah domestik menggunakan biofilter anaerob bermedia plastik (bioball). *Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 7(2). Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur. https://eprints.upnjatim.ac.id/7211/1/1._Amri_dan_Putu_Wesen.pdf
- Llanos, S. M., y Mirano, H. C. (2018). Evaluación de la eficiencia de filtro de arena y filtro de piedra caliza, en la remoción de parámetros físicos, de las aguas de la quebrada. La Oyada, Moyobamba, Perú – 2017. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3033>
- Huamán, C. (2020). Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes mediante filtros de residuos orgánicos en aguas residuales de granjas porcinas (Tesis de posgrado). Universidad Nacional del Centro del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7844>
- Manual de Operaciones y Mantenimiento. (2015). <https://es.scribd.com/document/394290130/7-Manual-de-Operacion-y-Mantenimiento-deFiltro-Biologico1>.
- Masloń, A., y Tomaszek, J. (2015). A study on the use of the BioBall® as a biofilm carrier in a sequencing batch reactor.. *Bioresource technology*, 196, 577-85. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.020>
- Metcalf y Eddy (1995). "Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización". (3° ed.) Madrid:McGraw-Hill
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2017). OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales DS n° 022-2009. Reglamento Nacional de Edificaciones. <https://www.gob.pe/institucion/munisantamariadelmar/informes-publicaciones/2619690-os-090-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-ds-n-022-2009>
- Ministerio del Ambiente. (2017). Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. DS n° 003-2010-MINAM. https://www.minam.gob.pe/wpcontent/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf
- Mihelcic, J. R., y Zimmerman, J. B. (2012, abril). Ingeniería ambiental: Fundamentos, sustentabilidad, diseño. Alpha Editorial

- Muñoz, M. J.; Beascoechea, M, E.; Fernandez, G, J.; Fernandez, M, D. (2009). Manual de Fitodepuración. Filtros de macrofitas en filtración. EDITECA. https://fundacionglobalnature.org/wpcontent/uploads/2020/01/manual_fitodepuracion.pdf
- Montes O, L., (2018). Implementación de biofiltro en un biodigestor autolimpiable para el tratamiento de agua residual doméstica del AA.HH. Las Garas – Carabayllo. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de Universidad C.V.
- Nieto-Juárez, J., Torres-Palma, R., Botero-Coy, A., y Hernández, F. (2021). Pharmaceuticals and environmental risk assessment in municipal wastewater treatment plants and rivers from Peru. *Environment international*, 155, 106674. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106674>
- NORMA DE SANAMIENTO (NRC): Método National Research Council (NRC) Estados Unidos de América
- Oakley, S. y Salguero, L. (2011). Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Centroamérica: Un Manual de Experiencias, Diseño, Operación y Sostenibilidad. <https://cutt.ly/WVUj4V1>
- Orozco, A. (2005). Teoría y Diseño. Bioingeniería de aguas residuales. Bogota, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental
- Programa Mundial de la UNESCO de Evaluación de los Recursos Hídricos. (2017). Informe Mundial sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas 2017: Las aguas residuales: el recurso desaprovechado, resumen ejecutivo. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247552_spa
- Pérez, A. (2005). Contaminación Ambiental: Una visión desde la Química. Burgos, España. Editorial: Thomson Ediciones Paraninfo, S.A.
- Quispe, A. P., y Vidal, W. C. (2019). Evaluación de la eficiencia entre dos sistemas de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la localidad de Carapongo, Lurigancho - Chosica. *Cátedra Villarreal*, 7 (1), 66-83. <https://doi.org/10.24039/cv201971325>
- Ramalho, R. S. (2005). Tratamiento de aguas residuales. Reverte S.A
- Rodríguez, N. A. (2019). Evaluación de la eficiencia de un sistema de filtro biológico en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas, Sector Las Lomas, Moyobamba, 2015 - 2016. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de San

- Martín]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto.
- Pachaiappan, R., Cornejo, L., Rajendran, R., Manavalan, K., Femilaa, V. y Awad, F. (2022). A review on biofiltration techniques: recent advancements in the removal of volatile organic compounds and heavy metals in the treatment of polluted water. *Bioengineered*. DOI: 10.1080/21655979.2022.2050538
- Prüss-Ustün, A., Wolf, J., Bartram, J., Clasen, T., Cumming, O., Freeman, M., Gordon, B., Hunter, P., Medlicott, K., y Johnston, R. (2019). Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes: An updated analysis with a focus on low- and middle-income countries. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 222, 765 - 777. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.05.004>
- Ramírez-Coronel, A., Mohammadi, M., Majdi, H., Zabibah, R., Taherian, M., Prasetyo, D., Gabr, G., Asban, P., Kiani, A. y Sarkohaki, S. (2024). Hospital wastewater treatment methods and its impact on human health and environments. *Reviews on Environmental Health*, 39(3), 423-434. <https://doi.org/10.1515/reveh-2022-0216>
- Romero, J. A. (2004). Tratamiento de Aguas Residuales. Teoría y Principios de Diseño. Escuela Colombiana de Ingeniería
- Rossi, M. (2010). Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú. Lima. Fondo Nacional del Ambiente. https://www.researchgate.net/publication/337683468_Oportunidades_de_Mejoras_Ambientales_por_el_Tratamiento_de_Oportunidades_de_Mejoras_Ambientales_por_el_Tratamiento_de/link/5de5ad87299bf10bc33a6a4a/download
- Rolim., S. (2000). Sistemas de Lagunas de Estabilización. Santa Fe-Bogotá, Colombia. McGraw-Hill Interamericana.
- Russell, L. (2012). Tratamiento de Aguas Residuales: Un Enfoque Práctico. España: Reverté.
- Sohair, I., Mohamed, S., Olfat, H. y Salah, A. (2019). Decentralized wastewater treatment using passively aerated biological filter. *Environmental Technology*. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1385648>
- Sosa, D. B. (2017, julio). Uso de astillas de madera de mezquite (*Prosopis*) en un sistema de biofiltros para tratar aguas residuales municipales. [Tesis de Maestría,

Instituto Politécnico Nacional]. Repositorio institucional del Instituto Politécnico Nacional. <http://www.repositoriodigital.ipn.mx/handle/123456789/22018>

SUNASS. (2015, septiembre). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento (1.^a Edición). <https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>

Toledo, L., Pisfil, J., Aburto, C., Del Águila Vela, E., García, J., García, C., García, J., y Miranda, B. (2024). A Comparison of the Co-Treatment of Urban Wastewater and Acidic Water Using a Ternary Energy Diagram. *Sustainability*. <https://doi.org/10.3390/su16072609>

Vílchez, R. B. (2020). Eficiencia del uso de plástico PET en los filtros biológicos para tratamiento de aguas residuales domesticas del Asentamiento Humano 09 de octubre – Comas. [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio institucional de la Universidad Cesar Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/64259>.

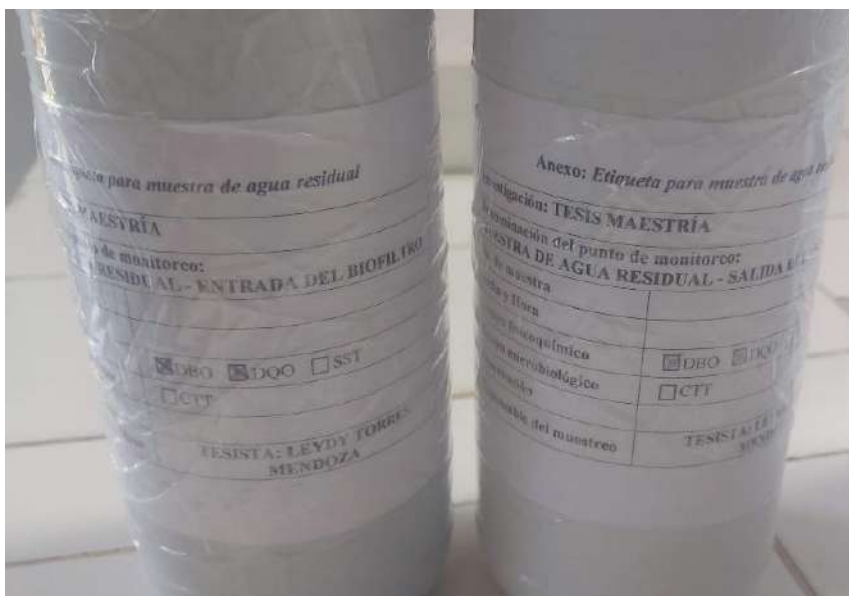
Zieliński, W., Korzeniewska, E., Harnisz, M., Drzymała, J., Felis, E., y Bajkacz, S. (2021). Wastewater treatment plants as a reservoir of integrase and antibiotic resistance genes - An epidemiological threat to workers and environment. *Environment international*, 156, 106641. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106641>

ANEXOS

Anexo 1. Procesamiento de Muestras de Aguas Residuales en el Laboratorio para Análisis de Calidad.



Anexo 2. Etiquetado para la identificación de muestras de agua en los puntos de entrada y salida del biofiltro.



Anexo 3. Construcción del biofiltro.**Anexo 4.** Construcción del lecho filtrante de arena para el tratamiento de aguas residuales.

Anexo 5. Prueba de flujo del sistema de tratamiento para verificar la eficiencia del diseño.



Anexo 6. Vista general del sistema de tratamiento de aguas residuales .



Anexo 7. Vista general del sistema de tratamiento de aguas residuales con filtro biológico.



Eficiencia de filtro biológico en la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno de las aguas residuales municipales – Moyobamba

por Leydy Torres Mendoza

Fecha de entrega: 21-mar-2025 10:20a.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2621101927

Nombre del archivo: TESI_MAESTRIA_Leydy_Torres_21.03.2025.docx (4.09M)

Total de palabras: 13482

Total de caracteres: 77349

Eficiencia de filtro biológico en la remoción de demanda química y bioquímica de oxígeno de las aguas residuales municipales – Moyobamba

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
3	Submitted to Universidad Nacional de San Martín Trabajo del estudiante	1%
4	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.une.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	<1%