UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD CIENCIAS DE LA VIDA

CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

TEMA:

IMPLEMENTACIÓN DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS LODOS ACTIVADOS Y MBBR A ESCALA LABORATORIO, PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES EN EL CANTÓN SANTA CLARA.

AUTOR(ES):

Joi Mariel Vega Salazar

Erick Rigoberto Reyes Ayerbe

DOCENTE - TUTOR:

Msc. Pedro Andrés Peñafiel Arcos

Puyo - Pastaza - Ecuador

2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	15/15	

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	24/25	Pudo haberse discutido sobre Las ecuaciones que muestran en este acápite debieron ser escritas en materiales y métodos, con la descripción de las variables.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	
VALORACIÓN TOTAL	99/100	

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	99.0

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
ESTELA GUARDADO

Estela Guardado Yordi

Dado en la ciudad de Puyo, a los 24 días del mes de febrero de 2022

FORMATO 4
APROBACIÓN DE LOS TRABAJOS DE INTEGRACIÓN CURRICULAR
(Uno por cada evaluador)

En el siguiente cuadro se detalla un conjunto de criterios a evaluar con un total de cien (100) puntos.		
Criterios	**Puntaje**	**Argumentos de la calificación**
1. TÍTULO		
El título es conciso e informativo de la idea principal del escrito. Genera expectativas de lectura que se cumplen.	5/5	Cumple con lo requerido.
2. RESUMEN		
Entrega información necesaria que oriente al lector a identificar de qué se trata la investigación y su relevancia. Incorpora los objetivos, metodología, principales hallazgos y conclusiones.	5/5	Cumple con lo requerido.
3. INTRODUCCION		
Entrega información sobre la temática a tratar. Describe la relevancia del tema dentro de las temáticas de investigación, vinculación y docencia. Presentación del problema y objetivos del problema del artículo de manera clara y concisa.	20/20	Cumple con lo requerido.
4. MARCO TEÓRICO		
Marco teórico coherente y articulado con los objetivos. Entrega conceptos de términos que son empleados en el estudio. Sustenta el referente conceptual con adecuadas fuentes de autoridad.	15/15	Cumple con lo requerido.
5. METODOLOGIA		
Describe el tipo de investigación a desarrollar. Expone con claridad el procesamiento de la información y obtención de los datos. Plantea los criterios de análisis con que se abordó la información.	12/15	Cumplen de manera parcial con la observación indicada. En la guía metodológica especifica claramentequé no se debe utilizar como referencia bibliográfica documentos de sitios web y eso se aprecia en el trabajo.

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS		
Entrega los resultados de manera organizada a partir del problema planteado, objetivos específicos, etc. Los cuadros y figuras son pertinentes y están claramente representados. El texto no repite información entregada en los cuadros y figuras.	25/25	Cumple con lo requerido.
7. CONCLUSIONES		
Las conclusiones deben ser claras y precisas, acorde a los objetivos trazados. Discute, reflexiona sobre los resultados obtenidos.	10/10	Cumple con lo requerido.
8. REFERENCIAS		
Atiende las normas APA en las citas, fuentes y referencias. Las referencias bibliográficas tienen la fuente en el texto y viceversa.	5/5	Cumple con lo requerido.
VALORACIÓN TOTAL	97	97

DICTAMEN

Marque la casilla correspondiente a su criterio de evaluación respecto al documento revisado.

Recomendación	**Marque con X**
Aprobar	X
No Aprobar	
CALIFICACIÓN	97

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
KAREM YAEL CAZARES CARRION

Ing. Karem Yael Cazares Carri5n MSc.

Dado en la ciudad de Puyo, a los 21 días del mes de febrero de 2022

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE AMBIENTAL

Puyo, 03 de febrero de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Joi Mariel Vega Salazar, con C.I. 2200343826, con el Tema: "**Implementación de los Procesos Biológicos Lodos Activados y MBBR a Escala Laboratorio, Para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en el Cantón Santa**", de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente- director del Trabajo de Integración Curricular, Pedro Andrés Peñafiel Arcos, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 8%, Informe generado con fecha 03 de febrero de 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
PEDRO ANDRES
PENAFIEL ARCOS

Pedro Andrés Peñafiel Arcos

Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

Curiginal

Document Information

Analyzed document	ARTÍCULO CIENTÍFICO FINAL - REYES & VEGA.docx (D126998350)
Submitted	2022-02-04T01:34:00.0000000
Submitted by	Pedro Peñafiel
Submitter email	ppenafiel@uea.edu.ec
Similarity	8%
Analysis address	ppenafiel.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/18000/GarciaNathalia%252CGuti%C3%A9rrezDaniela%252C2018.pdf?sequence=2&isAllowed=yGarcia, Fetched: 2022-02-04T01:35:00.0000000	7
W	URL: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15532/Reyes_aw.pdf?sequence=1&isAllowed=yToledo, Fetched: 2022-02-04T01:35:00.0000000	9
W	URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32758957/Instituto Fetched: 2022-02-04T01:35:00.0000000	1
W	URL: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827#:~:text=Son%20aquellas%20aguas%20cuyas%20caracter%C3%ADsticas,descargadas%20al%20sistema%20de%20alcantarillado.Reyes, Fetched: 2022-02-04T01:35:00.0000000	3

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA
CARRERA DE AMBIENTAL

Puyo, 03 de febrero de 2022

Por medio del presente CERTIFICO que:

El Trabajo de Integración Curricular correspondiente al estudiante: Erick Rigoberto Reyes Ayerbe, con C.I. 1600605735, con el Tema: "**Implementación de los Procesos Biológicos Lodos Activados y MBBR a Escala Laboratorio, Para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en el Cantón Santa**", de la carrera de Ingeniería Ambiental. Docente- director del Trabajo de Integración Curricular, Pedro Andrés Peñafiel Arcos, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 8%, Informe generado con fecha 03 de febrero de 2022 por parte del director conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

Atentamente,

Firmado electrónicamente por:
PEDRO ANDRES PENAFIEL ARCOS

Pedro Andrés Peñafiel Arcos

Docente-director del Trabajo de Integración Curricular

Curiginal

Document Information

Analyzed document	ARTÍCULO CIENTÍFICO FINAL - REYES & VEGA.docx (D126998350)
Submitted	2022-02-04T01:34:00.0000000
Submitted by	Pedro Peñafiel
Submitter email	ppenafiel@uea.edu.ec
Similarity	8%
Analysis address	ppenafiel.uea@analysis.urkund.com

Sources included in the report

W	URL: https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/18000/GarciaNathalia%252CGuti%C3%A9rrezDaniela%252C2018.pdf?sequence=2&isAllowed=yGarcia, Fetched: 2022-02-04T01:35:00.0000000	7
W	URL: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15532/Reyes_aw.pdf?sequence=1&isAllowed=yToledo, Fetched: 2022-02-04T01:35:00.0000000	9
W	URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32758957/Instituto Fetched: 2022-02-04T01:35:00.0000000	1
W	URL: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827#:~:text=Son%20aquellas%20aguas%20cuyas%20caracter%C3%ADsticas,descargadas%20al%20sistema%20de%20alcantarillado.Reyes, Fetched: 2022-02-04T01:35:00.0000000	3

Implementación de los procesos biológicos lodos activados y MBBR a escala laboratorio, para el tratamiento de aguas residuales municipales en el cantón Santa Clara.

Vega Salazar Joi Mariel[1]
amb2017181@uea.edu.ec
Reyes Ayerbe Erick Rigoberto[1]
amb2017135@uea.edu.ec
M. Sc. Peñafiel Arcos Pedro Andrés[1]
ppenafiel@uea.edu.ec
Universidad Estatal Amazónica, Facultad de Ciencias de la Vida, Carrera de Ingeniería Ambiental[1]

Resumen

El incremento poblacional crea un reto importante en nuestra sociedad por la mayor generación de aguas residuales domésticas. Además, el uso de diferentes tecnologías enfocadas en disminuir la contaminación, presentan una valiosa contribución a este desafío. Es por esto, que este trabajo se orienta en la experimentación de los procesos de tratamiento muy poco utilizados en la Amazonía ecuatoriana, como los sistemas de lodos activados y reactor biológico de lecho móvil (MBBR por sus siglas en ingles) en aguas residuales domésticas. A lo largo de la investigación se desarrollaron objetivos para la evaluación y análisis de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) a escala laboratorio, a través de la revisión de bibliografía de experiencias similares para tener conocimiento sobre las tecnologías propuestas, montaje de los procesos descritos y determinación de la eficiencia de remoción de materia orgánica. Se trabajó con aguas residuales tratadas de la PTAR de la cabecera cantonal de Santa Clara, provincia de Pastaza, que presentan características de efluentes domésticos. En la PTAR a escala laboratorio, se utilizaron 4 reactores de 2,75 litros capacidad, de los cuales dos trabajaron en condiciones de lodos activados, y los dos restantes como procesos MBBR: uno con un 30% de llenado y el otro con un 60%. Se trabajó con un tiempo de retención hidráulico (TRH) entre 13 y 15 horas, lo cual se asemeja a un proceso

de aireación prolongada. La experimentación se realizó por un lapso de 4 semanas, en donde se determinó que el proceso MBBR con un llenado del 30% de biocarriers resultó ser más eficiente al remover el 66% de DQO y un 69% de DBO_5. Estos resultados permitieron concluir que el sistema MBBR es una alternativa muy interesante para el tratamiento de aguas residuales municipales, que contribuya a la conservación de los recursos naturales.

Palabras Claves: MBBR, escala laboratorio, agua residual, materia orgánica.

Abstract

The population increase creates an important challenge in our society due to the greater generation of domestic wastewater. In addition, the use of different technologies focused on reducing pollution, present a valuable contribution to this challenge. That is why this work is oriented in the experimentation of the treatment processes very little used in the Ecuadorian Amazon, such as activated sludge systems and moving bed biofilm reactor (MBBR), in domestic wastewater. Throughout the research, objectives were developed for the evaluation and analysis of a wastewater treatment plant (WWTP for its acronym in English) at laboratory scale, through the review of the literature of similar experiences to have knowledge about the proposed technologies, assembly of the processes described and determination of the efficiency of removal of organic matter. We worked with treated wastewater from the WWTP of the cantonal capital of Santa Clara, province of Pastaza, which have characteristics of domestic effluents. In the laboratory-scale WWTP, 4 buckets of 2.75 liters capacity were used, of which two worked in activated sludge conditions, and the remaining two as MBBR processes: one with 30% filling and the other with 60%. We worked with a hydraulic retention time (HRT) between 13 and 15 hours, which resembles a prolonged aeration process. The experimentation was carried out for a period of 4 weeks, where it was determined that the MBBR process with a filling of 30% of biocarriers turned out to be more efficient by removing 66% of COD and 69% of BOD_5. These results allowed us to conclude that the MBBR system is a very interesting alternative for the treatment of municipal wastewater, which contributes to the conservation of natural resources.

Keywords: MBBR, laboratory scale, wastewater, organic matter.

1. INTRODUCCIÓN

En el planeta solo el 2.5% es agua dulce, recurso que es utilizado diariamente y al mismo tiempo contaminado por el ser humano, que escasamente es tratado de forma eficiente o en muchos casos no tiene tratamiento. Por ello se han generado nuevos métodos que permitan mejorar considerablemente los procesos de descontaminación del agua, pero, estos nuevos procedimientos en su mayoría son desconocidos a pesar de la eficiencia demostrada (Toledo, 2002).

Según un estudio realizado en Perú sobre la Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del sistema Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), manifiesta que, la tecnología empleada ha tenido unos buenos resultados ya que permite tratar un 40% más de la capacidad nominal sin alterar la calidad del efluente de la planta, por lo que permite menores tiempos de retención hidráulica es decir mayor cantidad de agua tratada en menos tiempo. (Reyes, 2020).

Además, Reyes (2020) menciona también que la suma de los MBBR influye sobre el comportamiento biológico de los procesos de degradación de materia orgánica, aumentando la estabilidad del sistema debido al incremento de la concentración de la biomasa acumulada en el reactor biológico y finalmente la calidad del efluente a la salida de la PTAR, una vez implementado el sistema MBBR, en comparación con la calidad del efluente sin la implementación de este sistema mejora. Esto demuestra la efectividad del sistema MBBR, que posibilita utilizar el efluente inclusive para fines de riego mediante la aplicación de pequeños ajustes.

De igual manera (Jiawei Liu et al, 2019) en su estudio sobre la evaluación del reactor MBBR a escala laboratorio para el tratamiento de aguas residuales contaminadas por ácido tereftálico, manifiesta que, dicho sistema de tratamiento ha tenido un periodo de puesta en marcha de 15 días y mostró un funcionamiento estable durante 65 días en el cual eliminó un gran porcentaje de DQO y tratamiento primario avanzado (TPA). Además, el sistema demostró una excelente adaptabilidad a las perturbaciones de diferentes factores ambientales

indicando el potencial que tiene la tecnología MBBR para el tratamiento de aguas residuales que contienen ácido tereftálico.

Según (Guangzhi Wang et al, 2020) una investigación realizada sobre la optimización y rendimiento del proceso de lodos activados mejorados biológicamente para el tratamiento de aguas residuales, manifiesta que las aguas residuales farmacéuticas se trataron mediante el reactor MBBR y un sistema de lodos de reflujo total, los parámetros óptimos de operación de los reactores fue el tiempo de retención hidráulico en 8 horas, una vez que realizaron los análisis correspondientes llegaron a la conclusión que el sistema MBBR eliminó de una mejor manera el DQO y NH4+-N.

Un análisis realizado sobre el reactor MBBR a escala laboratorio para el tratamiento de efluentes de molinos sobre el aceite de palma, da a conocer la eficiencia que tuvo ya que realizaron diferentes muestras de llenado al 25%, 50% y 70% y en tiempos diferentes: 24 horas, 48 horas y 72 horas, dicho estudio sirvió de gran utilidad ya que se obtuvo una mejor remoción de demanda química de oxígeno (DQO) y nitrógeno amoniacal (NH4+-N). Esta investigación de MBBR a escala laboratorio llevó a la conclusión que es un tratamiento alternativo muy eficaz y apropiado ya que cuenta con una comunidad microbiana adecuada (Abu Bakar et al., 2020)

En el Ecuador existen algunas normativas sobre las aguas residuales las cuales también incluyen algunos límites permisibles que deberían ser tratadas según el texto unificado de legislación ambiental (TULSMA), en donde esta especificado los parámetros mínimos de descarga, sin embargo, esta normativa ha sido pasada por alto en los municipios debido a la falta de presupuesto o por carencia de una visión amigable con el ambiente (Alvarado, 2012).

Según los datos recolectados por él (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010), en el Ecuador, 6 de cada 10 GAD municipales gestionan la prestación del servicio de agua potable y alcantarillado a través del municipio, mediante la empresa pública municipal y la diferencia opera con gestión de la empresa pública mancomunada, empresa regional y operador privado.

La implementación de nuevas tecnologías en los procesos de las PTAR es importante, debido a que agilitan los procesos y los mejoran. Buscando obtener buenos resultados en los índices de calidad de agua tratada para su disposición final y que los cuerpos de agua dulce se mantengan en buen estado para la conservación de nuestros ecosistemas (Astudillo, 2016).

El objetivo principal de esta investigación es determinar la eficiencia de remoción de carga orgánica de aguas residuales municipales mediante los procesos de lodos activados y MBBR, mediante el diseño e implementación de una PTAR a escala laboratorio que trata aguas residuales municipales.

El diseño e implementación de los procesos biológicos de lodos activados y MBBR como nueva tecnología a escala laboratorio, va a beneficiar a investigadores y tomadores de decisiones que contarán con datos de primera mano sobre el desempeño de este tipo de tecnologías; e indirectamente a la población en donde se implemente estos procesos a escala industrial.

2. MATERIALES Y MÉTODOS/METODOLOGÍA

2.1. Localización

La planta a escala laboratorio que se implementó para la investigación de la eficiencia de remoción de contaminantes orgánicos biodegradables, a través de las tecnologías MBBR y lodos activados, se instaló en el cantón Santa Clara, provincia de Pastaza, en la Amazonía Ecuatoriana.

2.2.Tipo o Diseño de Investigación

Dentro de los objetivos del proyecto, se planteó el diseño y la instalación de una PTAR a escala laboratorio con la finalidad de determinar la eficiencia de remoción de los procesos biológicos comentados anteriormente, a partir de determinadas muestras de aguas residuales recogidas en la descarga de la PTAR del cantón Santa Clara, y por medio de la experimentación y el análisis correspondiente de los resultados determinar si los objetivos planteados se pueden cumplir.

Es por ello que para el presente proyecto de integración curricular se trabajó con el diseño de investigación explicativo simulativo, ya que como se mencionó, la manipulación de variables fue esencial para conocer sus efectos y determinar su eficiencia y viabilidad.

2.3. Métodos de investigación

2.3.1. Diseño de la planta de aguas residuales a escala laboratorio utilizando las tecnologías MBBR y lodos activados.

Para el conocimiento previo sobre como diseñar y ensamblar una PTAR a escala laboratorio, fue necesario recopilar bibliografía de experiencias similares, con el objetivo de alcanzar un conocimiento base sobre las tecnologías propuestas.

En la Tabla 1 se muestra el listado de las fuentes bibliográficas que fueron consideradas como guía para el diseño de la planta de aguas residuales a escala laboratorio utilizando las tecnologías MBBR y lodos activados.

Tabla 1. Listado de las fuentes consultadas para el diseño de la PTAR a escala laboratorio.

Tipo de documento	Nombre del documento	País de procedencia
Artículo científico	Performance of a laboratory-scale moving bed biofilm reactor (MBBR) and its microbial diversity in palm oil mill effluent (POME) treatment.	Asia
Tesis	Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales del proceso de hidratación post-cosecha de las rosas en la empresa vicky flowers y propuesta para la implementación	Ecuador
Tesis	Diseño y Operación de un reactor de lecho móvil aerobio para el tratamineto de agua residual doméstica.	Colombia
Documento de sitio web	Bioreactor lecho móvil MBBR.	España

Artículo científico	Study on optimization and performance of biological enhanced activated sludge process for pharmaceutical wastewater treatment.	China
Artículo científico	Performance evaluation of a lab-scale moving bed biofilm reactor (MBBR) using polyethylene as support material in the treatment of wastewater contaminated with terephthalic acid.	China
Tesis	Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del sistema MBBR en la provincia Caylloma - AQUAFIL.	Perú

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 2 se presenta los parámetros estudiados, los cuales fueron analizados por medio de un laboratorio externo a la Universidad Estatal Amazónica (UEA), el cual está estructurado en conformidad con la Norma ISO 17025 y acreditado por el servicio de acreditación ecuatoriana (SAE), con el fin de determinar a través de diferentes métodos utilizados por el laboratorio las características de calidad de agua residual tratada en la descarga de la PTAR municipal mencionada.

Tabla 2. Parámetros analizados

Parámetro	Unidad	Método	Incertidumbre
DBO_5	mg/l	PRO TEC 066 / HACH 8043, Ed. 10, 2017	± 3,72 %
DQO	mg/l	PRO TEC 014 / HACH 8000, Ed. 10, 2014; Standard Methods. Ed. 23. 2017, 5220 D	± 0,00038 % mg/l
Fosfato Total	mg/l	PRO TEC 063 / HACH 8048, Ed. 10, 2017	± 0,33 % mg/l
Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	Standard Methods Ed. 23, 2017, 4500-Norg C / PA-72.00	± 0,000020 % mg/l
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/l	PRO TEC 029 / HACH 8006, Ed. 09, 2014	± 12,45 %

Coliformes Fecales	NMP/100 ml	Standard Methods Ed. 23, 2017, 9221 B, E y F / PA-66.00	± 1,4 UFC / 100ml
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	Standard Methods 4500-NH3F / PA-30.00	± 0,03 mg/l

Fuente: Elaboración propia

2.3.2. Montaje de la planta de aguas residuales a escala laboratorio con las condiciones necesarias para el tratamiento de aguas residuales municipales.

El montaje integro de la PTAR a escala laboratorio, fue desarrollado del 04 de diciembre del 2021 al 16 de diciembre del 2021 en el cantón Santa Clara. Se utilizaron los siguientes materiales y equipos:

- Agua residual Municipal
- Reactor (balde) plástico de 20 litros (l)
- 4 m manguera de pecera
- 1 bomba comprensora ACO 003, con una potencia de 35 watts, funcionamiento de 110 voltios, presión de 0,028 Mpa, uso ideal para acuarios grandes desde los 2100 litros hasta los 3900 litros, 50 L/min, diámetro externo de la boquilla por donde sale el aire es de 9,9 milímetros, diámetro interno de la boquilla es de 3,9 milímetros, longitud del cable de 190 cm y el peso aproximado de la bomba es de 16 kg.
- 1 válvula T reguladora
- 6 llaves reguladora individual
- 4 T plástico cristal
- 4 piedras difusoras cilíndricas
- 4 reactores plásticos de 2 litros
- Biocarriers PE05 para procesos MBBR, con un diámetro de 25 mm por una altura de 10 mm y un área superficial >500 m2/m3.

2.3.3. Determinación de la eficiencia de remoción de la carga orgánica mediante la utilización de la tecnología MBBR y los procedimientos convencionales de lodos activados.

Para evidenciar la eficiencia de remoción de la carga orgánica del agua residual municipal tratada en la PTAR a escala laboratorio, se recogieron muestras de tres de los recipientes que contenían procesos biológicos experimentados, y se ejecutó una comparación entre la descarga de la planta piloto y el agua residual que se utilizó en el experimento, que corresponde a la descarga de la PTAR municipal. Este análisis se realizó en términos de DQO, DBO_5 y Nitrógeno.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Diseño de la planta de aguas residuales a escala laboratorio utilizando la tecnología MBBR y lodos activados.

En la Tabla 3 se presenta los resultados del análisis de la calidad de agua de la descarga de la PTAR municipal de Santa Clara previo a la experimentación en la planta piloto. Las muestras analizadas fueron recolectadas siguiendo los procedimientos adecuados y fueron trasladadas al laboratorio externo con una correcta cadena de custodia.

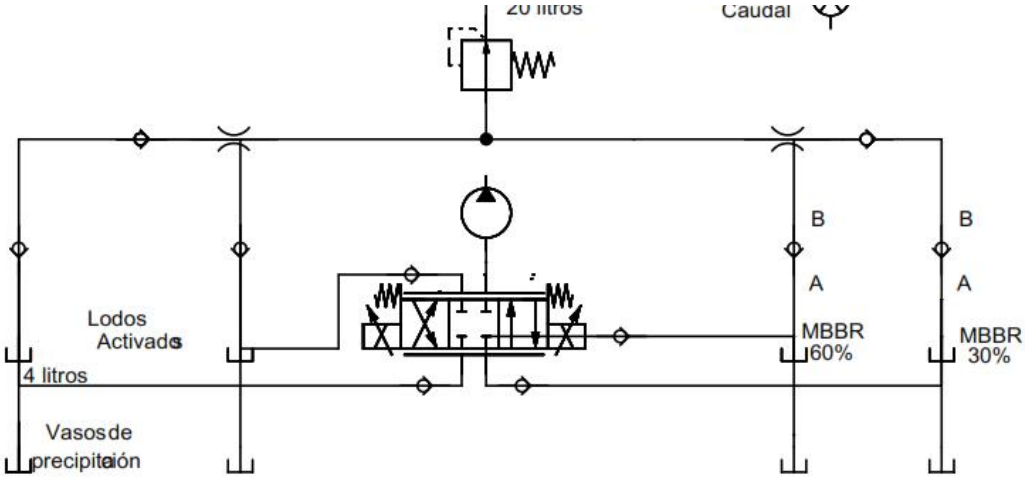
Tabla 3. Muestras recolectas en la descarga de la PTAR del cantón Santa Clara

CANTIDAD	FECHA	HORA	VOLUMEN TOTAL	LUGAR	RESULTADOS		
					PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD
1	22-sep-21	8:00 am, 12:00 pm y 17:00 pm	3.15 litros	PTAR Santa Clara	DBO_5	55.20	mg/l
					DQO	88	mg/l
					FOSFATOS (P-PO4)	3.2	mg/l
					NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	8.2	mg/l
					SÓLIDOS SUSPENDIDOS	34	mg/l
					RECUENTO DE COLIFORMES FECALES	5,1x (10) ^3	UFC/100ml
1	26-sep-21	8:00 am, 12:00 pm y 17:00 pm	3.15 litros	PTAR Santa Clara	DBO_5	57.10	mg/l
					DQO	91	mg/l
					FOSFATOS (P-PO4)	1.04	mg/l
					NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	12.2	mg/l
					SÓLIDOS SUSPENDIDOS	36	mg/l
					RECUENTO DE COLIFORMES FECALES	5,6x (10) ^4	UFC/100ml
1	29-sep-21	8:00 am, 12:00 pm y 17:00 pm	3.15 litros	PTAR Santa Clara	DBO_5	59.30	mg/l
					DQO	90	mg/l
					FOSFATOS (P-PO4)	2.08	mg/l
					NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	12.2	mg/l
					SÓLIDOS SUSPENDIDOS	35	mg/l
					RECUENTO DE COLIFORMES FECALES	1,2x (10) ^6	UFC/100ml
1	21-dic-21	8:00 am, 12:00 pm y 17:00 pm	3.15 litros	PTAR Santa Clara	DBO_5	59.10	mg/l
					DQO	92	mg/l
					FOSFATOS (P-PO4)	4.2	mg/l
					NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	8.84	mg/l
					SÓLIDOS SUSPENDIDOS	37	mg/l
					RECUENTO DE COLIFORMES FECALES	2,2x (10) ^4	UFC/100ml

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 1, se presenta un diagrama de flujo de la PTAR a escala laboratorio:

Figura 1. Diagrama de flujo de la PTAR a escala laboratorio.

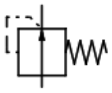


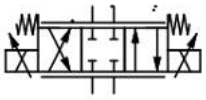
Simbología


Recipiente de plástico


Llave reguladora individual


Bomba compresora de aire


Válvula T reguladora


Válvula reguladora de 4 entradas


T de plástico

Fuente: Elaboración propia

Según (Francy Garcia & Daniela Murillo, 2018), para el adecuado desempeño del reactor MBBR, deben reunir ciertas características como: una alta relación área-superficie, el porcentaje de ocupación del medio fluido no debe ser mayor al 70% ya que eso va a garantizar que se encuentre con el espacio suficiente para el movimiento constante por aireación o agitación mecánica.

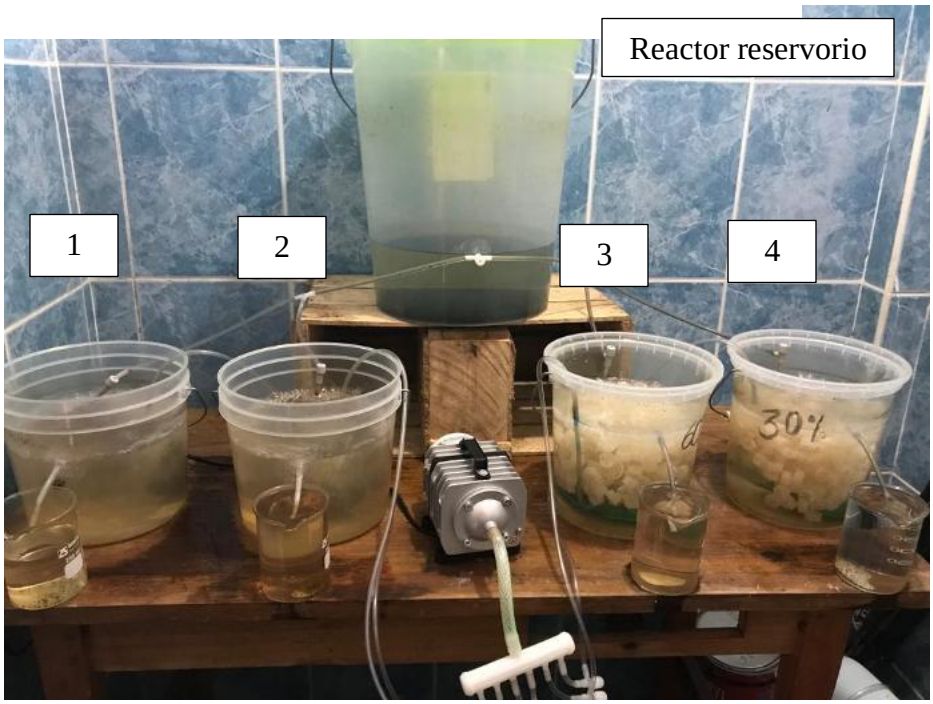
De igual manera (Francy Garcia & Daniela Murillo, 2018), señala que conocer los parámetros de lodos activados y el tiempo de detención hidráulico es muy importante ya que influye en la concentración de microorganismo y por ende en la concentración de materia orgánica dentro del reactor.

Es por eso que en el diseño de la planta de aguas residuales a escala laboratorio se decidió colocar dos recipientes que realizaban el proceso de lodos activados y dos que realizan el proceso de MBRR: uno que contenía un llenado del 30% y el otro de 60% de biocarriers.

3.2. Montaje de la planta de aguas residuales a escala laboratorio con las condiciones necesarias para el tratamiento de aguas residuales municipales.

En la Figura 2 se presenta el montaje final de la planta de tratamiento de aguas residuales a escala laboratorio.

Figura 2. Montaje de la PTAR a escala laboratorio



Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 4 se presenta la función de cada uno de los reactores:

Tabla 4. Funcionamiento de los reactores de la PTAR a escala laboratorio

Reactor	Descripción
Reactor reservorio	En dicho reactor se suministra el agua residual recogida de la PTAR del cantón Santa Clara y es el encargado de distribuir el agua a cada uno de los reactores inferiores.
Reactor 1	Contiene 2,75 litros de agua residual y una piedra difusora que con la ayuda de la bomba compresora de aire da la oxigenación lo que con lleva a verificar la cantidad de materia orgánica que se acumula.
Reactor 2	Contiene 2.75 litros de agua residual y una piedra difusora.
Reactor 3	Contiene 2,75 litros de agua residual, el 60% de biocarriers y una piedra difusora.
Reactor 4	Contiene 2,75 litros de agua residual, el 30% de biocarriers y una piedra difusora.

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 5, se evidencia los parámetros con los que se trabajó en cada reactor para la recolección de muestras como son: volumen y el tiempo de llenado. Para de esta manera conocer el caudal por cada muestra y el caudal promedio en cada reactor que contiene agua residual de origen doméstico.

A continuación, se muestra la formula mediante la cual se realizó el cálculo del caudal:

$$Q\ (caudal) = \frac{\text{Volumen medido (l)}}{\text{Tiempo de llenado (min)}} x \frac{60\ (\text{min})}{1\ (h)}$$

Tabla 5. Determinación del caudal en cada reactor

	Volumen medido 1 (l)	Tiempo de llenado 1 (min)	Caudal 1 (l/h)	Caudal promedio (l/h)
REACTOR 1 (Lodos Activados)	Muestra 1: 0,05	Muestra 1: 15,09	Muestra 1: 0,20	0,21
	Muestra 2: 0,05	Muestra 2: 13,1	Muestra 2: 0,23	
	Muestra 3: 0,05	Muestra 3: 15,21	Muestra 3: 0,20	
REACTOR 2 (Lodos Activados)	Muestra 1: 0,05	Muestra 1: 18,07	Muestra 1: 0,17	0,18
	Muestra 2: 0,05	Muestra 2: 16,47	Muestra 2: 0,18	
	Muestra 3: 0,05	Muestra 3: 15,59	Muestra 3: 0,19	
REACTOR 3 (MBBR con llenado al 60%)	Muestra 1: 0,05	Muestra 1: 15,21	Muestra 1: 0,20	0,21
	Muestra 2: 0,05	Muestra 2: 13,14	Muestra 2: 0,23	
	Muestra 3: 0,05	Muestra 3: 15,26	Muestra 3: 0,20	
REACTOR 4 (MBBR con llenado al 30%)	Muestra 1: 0,05	Muestra 1: 16,31	Muestra 1: 0,18	0,19
	Muestra 2: 0,05	Muestra 2: 16,07	Muestra 2: 0,19	
	Muestra 3: 0,05	Muestra 3: 15,2	Muestra 3: 0,20	

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 6 se muestra el tiempo de retención hidráulico que contiene cada reactor, este parámetro nos ayudó a conocer el periodo de tiempo que el agua permanece en la unidad de tratamiento.

El cálculo del tiempo de retención hidráulico se lo realizó con la siguiente fórmula:

$$TRH\ (Tiempo\ de\ retención\ hidráulico\ minutos) = \frac{\text{Volumen de agua en cada reactor (l)}}{\text{Caudal promedio del reactor analizado } (\frac{l}{h})}$$

Tabla 6. Determinación del tiempo de retención hidráulico (TRH) de cada reactor

	Volumen de agua en cada reactor (l)	Caudal promedio del reactor analizado (l/h)	TRH (h)
Reactor 1	2,75	0,21	13
Reactor 2	2,75	0,18	15
Reactor 3	2,75	0,21	13
Reactor 4	2,75	0,19	15

Fuente: Elaboración propia

Una vez establecidos los cálculos de TRH en la Tabla 6 y guiándonos en los parámetros de diseño para los procesos de fangos activados, se puede determinar que las operaciones de tratamiento utilizadas en la investigación son bajo condiciones similares a un proceso de aireación prolongada ya que contamos con un TRH de 13 y 15 horas.

Según los análisis obtenidos de un proyecto de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del sistema MBBR a escala laboratorio en la provincia Caylloma, manifiesta que, obtuvieron un TRH de 11 horas, es decir el tratamiento con la que trabajaron fue un proceso convencional de acuerdo a los parámetros establecidos para el diseño de procesos de lodos activados (Reyes, 2020).

Además, en un proyecto realizado sobre el diseño y construcción de un reactor de lodos activados a escala laboratorio, manifiesta que trabajaron con un TRH de 2 horas lo que con lleva que su tratamiento fue un proceso de mezcla completa (Michelle Crespo & Diana Martínez, 2018).

Tomando en cuenta la comparación de los datos recopilados por medio de la experimentación y las bibliografías analizadas, encontramos que el TRH tiene un valor importante durante la puesta en marcha de estos procesos. Encontramos que los mejores resultados se obtienen a partir de las 6h de TRH hasta las 18h de TRH, siendo de 6h-10h el rango en el que de acuerdo con la información estudiada se pueden obtener resultados más óptimos.

3.3. Determinación de la eficiencia de remoción de la carga orgánica mediante la utilización de la tecnología MBBR y los procedimientos convencionales de lodos activados

En la Tabla 7 se presenta los resultados del análisis de la calidad de agua de la PTAR a escala laboratorio. ´

Tabla 7. Muestras recolectadas posterior al tratamiento MBBR

Cantidad	Fecha	Hora	Volumen total	Resultados		
				Parámetro	Resultado	Unidad
1 - Lodos activados	17/1/2022	8:00 am, 12:00 pm y 17:00 pm	1.5 litros	DQO	46.00	mg/l
				DBO_5	26.16	mg/l
				Nitrógeno Amoniacal	3.40	mg/l
1 – MBBR con 30% de llenado	17/1/2022	8:00 am, 12:00 pm y 17:00 pm	1.5 litros	DQO	31.00	mg/l
				DBO_5	17.79	mg/l
				Nitrógeno Amoniacal	0.63	mg/l
1 – MBBR con 60% de llenado	17/1/2022	8:00 am, 12:00 pm y 17:00 pm	1.5 litros	DQO	36.00	mg/l
				DBO_5	19.65	mg/l
				Nitrógeno Amoniacal	0.90	mg/l

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la Tabla 8 muestra los parámetros y resultados que se obtuvieron de DQO y DBO_5 posterior a la experimentación, para de esta manera conocer la eficiencia que tiene la tecnología MBBR empleada en esta investigación.

El cálculo de porcentaje de remoción para ambos parámetros se realizó por medio de la siguiente fórmula:

- $\%\ de\ \ remoción\ por\ lodos\ activados = \frac{Lodos\ activados\ \left(\frac{mg}{l}\right) x\ 100}{Análisis\ promedio\ previo\ \left(\frac{mg}{l}\right)} - 100$

- $\%\ de\ \ remoción\ por\ 30\%\ de\ MBBR = \frac{30\%\ de\ MBBR\ \left(\frac{mg}{l}\right) x\ 100}{Análisis\ promedio\ previo\ \left(\frac{mg}{l}\right)} - 100$
- $\%\ de\ \ remoción\ por\ 60\%\ de\ MBBR = \frac{60\%\ de\ MBBR\ \left(\frac{mg}{l}\right) x\ 100}{Análisis\ promedio\ previo\ \left(\frac{mg}{l}\right)} - 100$

Tabla 8. Análisis post experimentación

Parámetros	Análisis promedio previo	Lodos activados	% de remoción	30% de MBBR	% de remoción	60% de MBBR	% de remoción
DQO	90,25 mg/l	46 mg/l	49%	31 mg/l	66%	36 mg/l	60%
DBO_5	57,68 mg/l	26,16 mg/l	55%	17,79 mg/l	69%	19,65 mg/l	66%

Fuente: Elaboración propia

Según un estudio realizado sobre la remoción de aguas residuales por medio de la tecnología MBBR en la provincia de Caylloma de Perú, da a conocer que el sistema MBBR es más eficiente para la eliminación de características químicas que contiene el agua residual ya que removió un 85,99% de DBO_5 y un 24,85% de DQO (Reyes, 2020). Las razones por las cuales estos valores varían con nuestro resultado, es por él tiempo de experimentación ya que tiene un rol muy importante en cada investigación, un mayor tiempo de funcionamiento permite una mayor estabilización de los procesos de la PTAR a escala laboratorio y así se podrán obtener mejores resultados de remoción de cargas contaminantes, dicho estudio tuvo un funcionamiento de 3 meses mientras que nuestras PTAR a escala laboratorio tuvo un mes de funcionamiento.

Una investigación realizada sobre el rendimiento de un reactor de MBBR a escala laboratorio para la diversidad microbiana en el tratamiento de efluentes de molinos de palma, manifiesta que con la implementación de MBBR a un llenado de 25% de biocarrier, removió un 59,4% de DQO, ya que tuvo una duración de 5 meses. (Abu Bakar et al., 2020).

La PTAR del cantón Santa Clara tiene un procedimiento anaeróbico, por lo que existe una concentración de nitrógeno amoniacal y según los cuatro análisis realizados previo a la puesta en marcha del proyecto tiene resultados de 8.2, 12.2, 12.2 y 8.84 mg/L de nitrógeno

amoniacal. Una vez que pusimos en marcha la PTAR a escala laboratorio expusimos a las muestras de agua residual recolectada a un procedimiento aerobio lo que ayudo a disminuir significativamente la concentración de nitrógeno. Los resultados reflejan que el sistema MBBR presenta también una mayor remoción de nitrógeno amoniacal pues con la implementación de los biocarriers al 30% el resultado obtenido es de 0,63 mg/l de nitrógeno amoniacal y al llenado de 60% de biocarriers mostró una concentración de 0,90 mg/l de nitrógeno amoniacal, mientras que con el sistema de lodos activados se obtuvo un 3,40 mg/l de nitrógeno amoniacal. Es así como estos procesos muestran que no solamente son adecuados para reducir la carga orgánica contaminante, sino también para procesos biológicos de eliminación de nitrógeno.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo con la experimentación e investigación consultada, la tecnología MBBR resulta ser muy aplicada para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Uno de los parámetros importantes a tener en cuenta en el diseño de un reactor de lecho móvil es conocer sus características como es la densidad, el tamaño y material del reactor, así como el mecanismo de agitación que permita generar un movimiento óptimo de los mismos.

Al realizar la comparación con el método de lodos activados y el sistema MBBR con los resultados registrados, el desempeño del reactor reporta valores promedios muy importantes en la remoción de DBO_5, DQO y Nitrógeno Amoniacal, lo que nos lleva a la conclusión de que los biocarriers influyen sobre el comportamiento biológico de los procesos de degradación de materia orgánica, aumentando la estabilización del sistema debido al incremento de concentración de la biomasa acumulada en cada biocarrier. Esto ayuda acelerar el proceso de tratamiento lo que nos garantiza una calidad de agua óptima para ser descargada hacia el cuerpo receptor.

Finalmente se puede concluir que calidad de agua a la salida del reactor que contiene el 30% de MBBR es óptima para fines de riego y nos demuestra que dicho método de tratamiento es muy eficaz ya que también se cumplen con los límites permisibles sobre la

descarga de aguas residuales domesticas vigente en la normativa para de esta manera no alterar el ecosistema donde finalmente son vertidos.

5. REFERENCIAS

Abu Bakar et al. (2020). Performance of a laboratory-scale moving bed biofilm reactor (MBBR) and its microbial diversity in palm oil mill effluent (POME) treatment. *ELSEVIER*, 1-5.

Alvarado, E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible: el caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía . *Quivera*, 80-85.

Astudillo, W. (Octubre de 2016). *Falta de control en la contaminación del agua provocado por los desechos tóxicos de las industrias al Río Machángara y la vulneración de los derechos ambientales* . Obtenido de Universidad Central del Ecuador: http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/8244/1/T-UCE-0013-Ab-428.pdf

Castro, A. (Agosto de 2009). *Educar con ética y valores ambientales para conservar la naturaleza*. Obtenido de Scielo: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-14352009000200014

Castro, J. (febrero de 2017). *Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales del proceso de hidratacion postcosecha de las rosas en la empresa vicky flowers y propuesta para la implementacion* . Obtenido de Universidad tecnològica Equinoccial: http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/13960/1/68651_1.pdf

Francy Garcia & Daniela Murillo. (8 de Junio de 2018). *Diseño y Operación de un reactor de lecho movil aerobio para el tratamineto de agua residual doméstica.* Obtenido de Universidad Militar Nueva Granada: https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/18000/GarciaNathalia%2CGuti%C3%A9rrezDaniela%2C2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Garcia, A. (6 de agosto de 2018). *Tipos de tratamientos de aguas residuales*. Obtenido de Ecologìa verde: https://www.ecologiaverde.com/tipos-de-tratamiento-de-aguas-residuales-1448.html

GEDAR. (2017). *Bioreactor lecho móvil MBBR*. Obtenido de Gestion de aguas y residuos : https://www.gedar.com/residuales/tratamiento-biologico-aerobio/bioreactor-lecho-movil-mbbr.htm

Guangzhi Wang et al. (15 de Octubre de 2020). *Study on optimization and performance of biological enhanced activated sludge process for pharmaceutical wastewater treatment.* Obtenido de Pubmed: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32758957/

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (Octubre de 2010). *Ecuador en cifras.* Recuperado el 12 de Mayo de 2021, de https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2015/Documento_Tecnico-Gestion_de_Agua_y_Alcantarillado_2015.pdf

Jiawei Liu et al. (2019). *Performance evaluation of a lab-scale moving bed biofilm reactor (MBBR) using polyethylene as support material in the treatment of wastewater contaminated with terephthalic acid.* Nanjing: Elsevier.

Mengqi Zheng et al. (2019). *Comparative investigation on carbon-based moving bed biofilm reactor (MBBR) for synchronous removal of phenols and ammonia in treating coal pyrolysis wastewater at pilot-scale.* Guangzhou: Elsevier.

OEFA. (Abril de 2014). *Aguas Residuales* . Obtenido de Organismo de Evaluaciòn y Fiscalizaciòn Ambiental: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827#:~:text=Son%20aquellas%20aguas%20cuyas%20caracter%C3%ADsticas,descargadas%20al%20sistema%20de%20alcantarillado.

Reyes, W. (2020). *Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del sistema MBBR en la provincia Caylloma - AQUAFIL.* Obtenido de Universidad Nacional Mayor de San Marcos: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15532/Reyes_aw.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Toledo, A. (2002). El agua en México y el mundo. *Gaceta Ecológica*, 9-18.

TULSMA. (29 de marzo de 2017). *Texto Unificado de Legislación Ambiental*. Obtenido de Límites permisibles de descarga a cuerpos de agua dulce: https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf

ANEXOS

MARCO TEÓRICO

1. Agua residual

Las aguas usadas en diferentes actividades como las domesticas, urbanas, industriales, etc.; antes de ser vertidas a un cuerpo de agua deben tener un tratamiento. Es así como las aguas residuales son cualquier tipo de aguas cuyas características originales han sido modificadas o alteradas por las actividades que las personas realizan diariamente y que por su calidad debido a su uso requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado municipal (OEFA, 2014).

1.1.Tipos de aguas residuales

1.1.1. Aguas residuales domésticas.

Las aguas residuales domésticas son aquellas aguas de origen residencial y comercial que contienen desechos correspondientes al metabolismo humano, entre otros, provenientes de la actividad diaria humana, y deben ser dispuestas adecuadamente para su posterior tratamiento (OEFA, 2014).

1.1.2. Aguas residuales industriales

Las actividades industriales requieren de una gran demanda de agua para realizar sus procesos, ya sean durante o posterior al proceso en limpieza. OEFA (2014) refiere que las aguas residuales industriales son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.

1.1.3. Aguas residuales urbanas

Las aguas residuales urbanas son aquellas aguas domesticas que durante su trayecto por el alcantarillado urbano se mezclan con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales

de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (OEFA, 2014).

1.2.Características fisicoquímicas y biológicas de las aguas residuales urbanas

El tratamiento de aguas residuales genera complejidad en su tratamiento, de acuerdo con las características del agua de los distintos hogares, industrias, comercio y todo lo que conforman las aguas residuales urbanas por tanto el conocimiento de las propiedades físicas o químicas es esencial para el tratamiento de aguas residuales (Castro J. , 2017).

Tabla 9: Características químicas y físicas de aguas residuales.

TIPO	CARACTERÌSTICAS
Propiedades físicas	Olor Sólidos totales Color
Constituyentes químicos	
Orgánicos	Aceites y grasas Compuestos volátiles
Inorgánicos	Alcalinidad Cloruros Metales pesados Nitrógeno pH Fosforo Sulfatos

Fuente: *(Castro J. , 2017)*

2. Tipos de tratamiento

2.1.Pretratamiento

En una planta de agua residuales es fundamental que los sólidos sean recolectados, para que el tratamiento sea más eficiente. Fernández (2016) dice que el objetivo del Pretratamiento en una planta de aguas residuales es eliminar, reducir o modificar los componentes del agua. Los componentes por eliminar en el Pretratamiento mayoritariamente consisten en sólidos de gran tamaño, textiles, sólidos inertes abrasivos, botellas, palos, piedras, trapos, espumas flotantes y grasas.

2.2.Tratamiento primario

Los sólidos en suspensión son aquellos que vuelven más turbia al agua, y para físicamente mejorar su apariencia es primordial eliminar este tipo de sólidos. El tratamiento primario consiste en un conjunto de procesos fisicoquímicos que se aplican para reducir el contenido de partículas en suspensión del agua. Estos sólidos en suspensión pueden ser sedimentables o flotantes (Garcia, 2018).

2.3.Tratamiento secundario

El tratamiento secundario consiste en un conjunto de procesos biológicos que pretenden eliminar la materia orgánica que hay en las aguas residuales. En este tratamiento existen métodos para depurar como puede ser por medio de lodos activados ya que es un proceso aerobio que consiste en añadir flóculos o grumos de materia orgánica con microorganismos al agua residual e infiltrar constantemente oxígeno para que se produzcan las reacciones (Garcia, 2018). Y también con la implementación de la tecnología MBBR ya que es un proceso biológico aerobio empleado para el tratamiento de aguas residuales. Este tratamiento consiste en la degradación de la materia orgánica por parte de bacterias aerobias (GEDAR, 2017).

2.4.Tratamiento terciario

El tratamiento terciario consiste en la eliminación de los agentes patógenos, sobre todo bacterias fecales y de los nutrientes, este tratamiento es opcional y normalmente se hace cuando el agua se va a reutilizar como, por ejemplo, en jardines u otros espacios públicos para que no perjudique a la salud humana, o en el caso de que los cauces receptores se encuentren en espacios protegidos o con una alta calidad en sus aguas (Garcia, 2018). Los límites permisibles tienen un rol muy importante, ya que las aguas para su disposición final deben cumplir con la normativa vigente, para que no se genere un impacto ambiental negativo.

3. Límites máximos permisibles de descarga a cuerpos de agua dulce

Según (TULSMA, 2017), los límites máximos permisibles de descargas a cuerpos de agua dulce son los siguientes:

Tabla 10: Límites máximos permisibles de descargas a cuerpos de agua dulce

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/l	30,0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN^-	mg/l	0,1
Cin	Zn	Mg/l	5,0
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1 000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes Fecales	NMP	NMP/1000ml	2000
Color real	Color real	unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr^{+6}	mg/l	0,5

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B. O_5.	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles		Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30,0
Nitrógeno Total Kjedahl	N	mg/l	50
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0,05
Compuesto Organofosforados	Organofosforados totales.	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Sólidos totales	ST	mg/l	1 600
Sulfatos	$SO4^{2}$	mg/l	1000
Sulfuros	S^{2}	mg/l	0,5
Temperatura	oC		Condición natural +_ 3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0

Fuente: (TULSMA, 2017)

4. Tratamiento biológico de aguas residuales

Consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua. El objetivo principal en el tratamiento de aguas residuales domesticas es generar agua limpia en el afluente que se encuentren dentro de los límites máximos permisibles (Reyes, 2020).

4.1. Principales procesos de tratamiento biológico utilizados en el tratamiento de aguas residuales.

4.1.1. Sistema de lodos activados

El sistema de lodos activados es un tratamiento biológico del agua residual que se encarga de la depuración del agua empleando microorganismos que permanecen suspendidos dentro del biorreactor, en el cual dichos microorganismos requieren oxidación de la materia orgánica los que ayuda a tener más contacto con el agua y depurarla (Reyes, 2020).

4.1.2. Sistema SBR (Sequencing Batch Reactors)

el sistema SBR es el único proceso biológico en el que combina en un mismo tanque el proceso de reacción, aeración y clarificación ya que consta por lo menos de cuatro procesos cíclicos como es el llenado, la reacción, la decantación y el vaciado, tanto del efluente como de lodos (Reyes, 2020).

4.1.3. Sistema MBBR (Moving Biofilm Bed Reactor)

El sistema MBBR o Bioreactor de Lecho Móvil, es una tecnología que es utilizada para un proceso biológico de crecimiento continuo que brinda una alta efectividad en comparación con otros sistemas convencionales ya que su mayor ventaja es la reducción del tamaño de los reactores. El proceso de este tipo de tratamiento se basa en el uso de biocarriers los cuales son pequeñas estructuras de PVC que aumentan el área de fijación de los microorganismos que degradan la materia orgánica al interior del reactor de aireación y que se encuentran en constante movimiento dentro de la corriente del agua del reactor por acción de las burbujas de aireación ayudando en el aumento de la cantidad de microorganismos ya que proporcionan una mayor área de superficie en la cual pueden unirse y crecer degradando así mayor cantidad de materia orgánica (Reyes, 2020).

FOTOGRAFÍAS

Figura 3. Bomba compresora de aire ACO 003



Figura 4. Bioreactor de Lecho Móvil (MBBR)



Figura 3. Armado de la PTAR a escala laboratorio



Figura 4. PTAR municipal del cantón Santa Clara



Figura 7. Supervisión del funcionamiento de la PTAR del cantón Santa Clara



Figura 8. Recolección de las muestras en la descarga de la PTAR del cantón Santa Clara



Figura 9. Montaje de la PTAR a escala laboratorio



Figura 10. Balde de reservorio con agua residual de la PTAR del cantón Santa Clara



Figura 11. Recolección del agua residual de la PTAR del catón Santa Clara



Figura 12. Llenado de agua residual en el balde reservorio



Figura 6. Resultado del tratamiento por medio de Lodos Activados



Figura 5. Resultado del tratamiento MBBR al 60%



Figura 7. Resultado del tratamiento MBBR al 30%

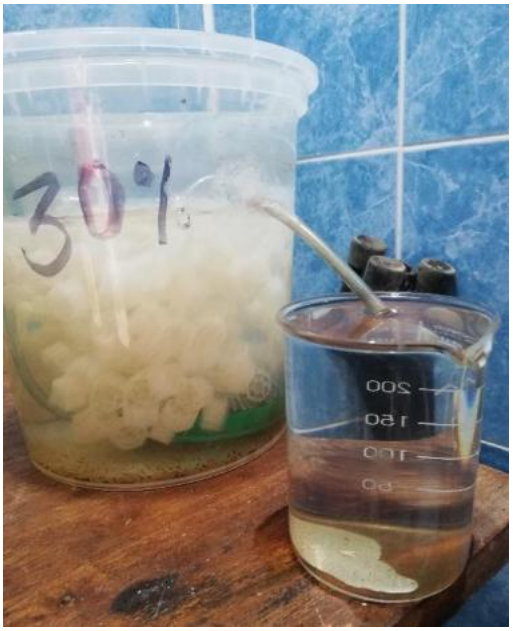


Figura 8. Acumulación de la biomasa en cada biocarrier

