



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

**Evaluación de un reactor de biopelícula aplicado al tratamiento de efluentes
del camal municipal de Pasaje - El Oro**

**FLORES GUERRERO BRUCE RUDY
INGENIERO QUIMICO**

**SANMARTIN GALVAN HOOVER MANUEL
INGENIERO QUIMICO**

**MACHALA
2022**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

**Evaluación de un reactor de biopelícula aplicado al tratamiento de
efluentes del camal municipal de Pasaje - El Oro**

**FLORES GUERRERO BRUCE RUDY
INGENIERO QUIMICO**

**SANMARTIN GALVAN HOOVER MANUEL
INGENIERO QUIMICO**

**MACHALA
2022**



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS Y DE LA SALUD

CARRERA DE INGENIERIA QUIMICA

TRABAJOS EXPERIMENTALES

Evaluación de un reactor de biopelícula aplicado al tratamiento de efluentes del camal municipal de Pasaje - El Oro

**FLORES GUERRERO BRUCE RUDY
INGENIERO QUIMICO**

**SANMARTIN GALVAN HOOVER MANUEL
INGENIERO QUIMICO**

LAPO CALDERON BYRON GONZALO

**MACHALA
2022**

EVALUACIÓN DE UN REACTOR DE BIOPELÍCULA APLICADO AL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DEL CAMAL MUNICIPAL DE PASAJE – EL ORO

por Bruce-hoover Flores-sanmartin

Fecha de entrega: 08-mar-2023 01:48p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2032263575

Nombre del archivo: Bruce_-_Hoover_Tesis_Marco_te_rico_Resultados.docx (101.33K)

Total de palabras: 6066

Total de caracteres: 32069

EVALUACIÓN DE UN REACTOR DE BIOPELÍCULA APLICADO AL TRATAMIENTO DE EFLUENTES DEL CAMAL MUNICIPAL DE PASAJE – EL ORO

INFORME DE ORIGINALIDAD

10%

INDICE DE SIMILITUD

9%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unsa.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	bdigital2.ula.ve:8080 Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Nacional de Colombia Trabajo del estudiante	1%
4	maelosrios.files.wordpress.com Fuente de Internet	1%
5	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	dspace.unach.edu.ec Fuente de Internet	1%
7	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
8	kupdf.net Fuente de Internet	<1%

9	Submitted to University of La Guajira Trabajo del estudiante	<1 %
10	Submitted to Escuela De Ingenieria De Antiquia - Columbia Trabajo del estudiante	<1 %
11	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante	<1 %
12	doczz.net Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	ojs.brazilianjournals.com.br Fuente de Internet	<1 %
15	hdl.handle.net Fuente de Internet	<1 %
16	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
17	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	<1 %
18	www.acueducto.com.co Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Apagado

Excluir bibliografía Apagado

Excluir coincidencias < 15 words

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

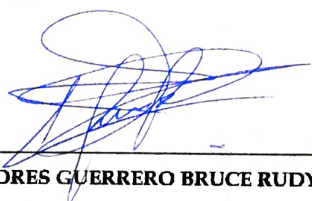
Los que suscriben, FLORES GUERRERO BRUCE RUDY y SANMARTIN GALVAN HOOVER MANUEL, en calidad de autores del siguiente trabajo escrito titulado Evaluación de un reactor de biopelícula aplicado al tratamiento de efluentes del camal municipal de Pasaje - El Oro, otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Los autores declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

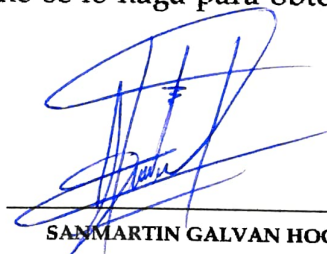
Los autores como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



FLORES GUERRERO BRUCE RUDY

0705463099



SANMARTIN GALVAN HOOVER MANUEL

0705451649

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a las personas que siempre están ahí incondicionalmente, mi madre adorada Nery María Galván Agreda a mi padre querido Hoover Francon Sanmartín Ordoñez quien, con su esfuerzo, han logrado que todos sus hijos sean profesionales, agradecer también al apoyo moral otorgado por mis hermanos Jean, Diana y Jhanela a mi hija Bianca Sanmartin y a mi compañera de vida Andrea Ugarte. Todos ellos formaron parte fundamental de mi carrera profesional.

Hoover Manuel Sanmartín Galván

Este trabajo va dedicado a todos aquellos que han sido parte fundamental de mi camino académico y como persona, quiero hacer mención principalmente a mis padres Fátima Guerrero Vaca y Rudy Flores Salgado que me brindaron su apoyo durante todo mi periodo de formación profesional, a Nathaly Medina por ser la tutora ideal en los trabajos más complejos de los diferentes semestres, a Zaine López por su amor y ser un soporte clave para darme la paz necesaria en mis conflictos personales, y a todas las personas que estuvieron presentes ayudándome de alguna y otra forma.

Bruce Rudy Flores Guerrero

AGRADECIMIENTOS

Como punto de partida queremos agradecer a Dios, por permitirnos culminar esta importante etapa universitaria, a nuestros padres por ser el pilar fundamental de este proceso, ellos son los que con su cariño siempre nos han impulsado a perseguir nuestras metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También son los que nos han brindado el soporte material y económico para poder concentrarnos en los estudios y nunca abandonarlos.

Agradecemos muy profundamente a nuestro tutor el Ing. Byron Lapo por su confianza y paciencia, sin sus palabras y correcciones precisas no lograríamos llegar a esta instancia tan anhelada. Gracias por su guía y todos sus consejos, los llevaremos grabados para siempre en la memoria de nuestro futuro profesional, de igual manera con los docentes que a raíz de nuestra formación académica aportaron conocimientos necesarios para nuestro futuro.

RESUMEN

El agua siendo uno de los puntos vitales para el ser humano, flora y fauna, sin embargo, la contaminación generada por diversos medios se centra en perjudicar este suministro el camal municipal produce este tipo de desechos generados por el faenamiento de especies bovinas y porcinas sin aplicación de un debido tratamiento de remediación. Aquí nace la problemática con el objetivo de dar solución esta experimentación fue diseñar un sistema de biorreactor aerobio para la remoción de carga contaminante en el camal municipal de la ciudad de pasaje, El Oro el cual se aplicó un estudio cualitativo y cuantitativo aplicando tres equipos experimentales de 10L de volumen, cada reactor con tres diferentes cargas orgánicas volumétricas (COV) de 3, 5 y 8 respectivamente, obteniendo como tiempo de retención hidráulica (TRH) los valores de 19,58 h, 11,75 h y 7,34h para el proceso, analizado los parámetros necesarios de funcionamiento. Se aplicó un muestreo diario antes, durante y después del paso de solución contaminada, tomando en cuenta la efectividad de los reactores con la tecnología de reactores de biopelícula de cama móvil, por sus siglas en inglés (MBBR) observado la cinética de crecimiento dentro de los portadores de biomasa y observando su eficiencia en la remediación de aguas residuales. Los resultados indican que el reactor 3, con COV = 3 kg DQO/m³-día presentó mayor eficiencia en la remoción de carga contaminante, llegando a obtener un 86,8% de remoción DQO, siendo un dato de 375 mg/L DQO, mostrando que es un valor aceptable para la liberación en el sistema alcantarillado según la norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes del anexo 1 del libro VI del TULSMA detallando un límite máximo permisible de 500 mg/L, evitando la contaminación exuberante en estos sistemas, concluyendo que en los tratamientos se ha obtenido un resultado favorable por debajo de los límites derivando en la factibilidad de la implementación, confirmando con bibliografías que a menor COV, mejor porcentaje de remoción existe.

Palabras claves: Carga Orgánica Volumétrica, MBBR, remoción de carga contaminante, tratamiento

ABSTRACT

Water being one of the vital points for human beings, forestation, however, the contamination generated by various means is focused on damaging this supply, the municipal slaughterhouse produces this type of waste generated by the slaughter of cattle and pig species without the application of a proper remediation treatment. Here was born the problem with the objective of giving solution this experimentation was to design an aerobic bioreactor system for the removal of pollutant load in the municipal slaughterhouse of the city of Pasaje, El Oro which was applied a qualitative and quantitative study applying three experimental equipment of 10L of volume, each reactor with three different volumetric organic loads (VOL) of 3, 5 and 8 respectively, obtaining as hydraulic retention time (HRT) the values of 19.58 h, 11.75 h and 7.34h for the process, analyzing the necessary operating parameters. Daily sampling was applied before, during and after the contaminated solution passage, considering the effectiveness of the reactors with moving bed biofilm reactor (MBBR) technology, observing the growth kinetics inside the biomass carriers, and observing their efficiency in wastewater remediation. The results indicate that reactor 3, with VOL = 3 kg COD/m³-day presented higher efficiency in pollutant load removal, reaching 86.8% COD removal, being a data of 375 mg/L COD, showing that it is an acceptable value for release into the sewage system according to the environmental quality and effluent discharge standard of Annex 1 of Book VI of the TULSMA detailing a maximum permissible limit of 500 mg/L, avoiding the exuberant contamination in these systems, concluding that the treatments have obtained different values and therefore, by simple analysis, the adequate one was obtained for its implementation, confirming with bibliographies that the lower the VOL, the better the percentage of removal.

Key words: Volumetric Organic Load, MBBR, Pollutant Load Removal, treatment.

CONTENIDO

	pág.
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
INTRODUCCION.....	12
OBJETIVOS.....	14
Objetivo general	14
Objetivos específicos	14
1 MARCO TEÓRICO.....	15
1.1 Antecedentes	15
1.2 Camales municipales.....	15
1.3 Aguas residuales.....	15
1.3.1 Tipos de aguas residuales.....	16
1.4 Tratamiento de aguas residuales	16
1.4.1 Tratamiento biológico aerobio.....	16
1.5 Niveles de tratamiento	17
1.5.1 Tratamiento preliminar.....	17
1.5.1.1 Cribado.....	17
1.5.1.2 Remoción de sólidos suspendidos.....	17
1.5.1.3 Floculación y coagulación.....	18
1.5.2 Tratamiento secundario.....	18
1.5.2.1 Tratamiento MBBR.....	18
1.6 Carriers.....	19
1.6.1 Biopelícula.....	20
1.6.2 Nutrientes.....	20
1.6.3 Tiempo de retención.....	20

1.7	Análisis de calidad de agua	21
1.7.1	Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5).....	21
1.7.2	Demanda química de oxígeno (DQO).	21
1.7.3	Nitratos y Nitritos.	21
1.7.4	Sólidos volátiles totales.....	22
2	METODOLOGÍA.....	23
2.1	Diseño de investigación	23
2.2	Equipos, Materiales y Reactivos.....	23
	Materiales	23
	Equipos.....	24
	Reactivos.....	24
2.3	Muestreo.....	24
2.4	Métodos de análisis Físico – químico.....	25
2.4.1	Determinación de DQO.....	25
2.4.2	Determinación de SVT.	27
2.4.3	Determinación de Nitrógeno Amoniacal (NH ₃ - N).	28
2.4.4	Determinación de Nitratos (NO ₃ --N).	28
2.4.5	Determinación de Nitritos (NO ₂ --N).....	28
2.5	Diseño de la unidad experimental	29
2.5.1	Tratamiento preliminar del agua cruda.	29
2.5.2	Inoculación de Nutrientes.....	29
2.5.3	Cálculo de carga orgánica volumétrica.....	30
2.6	Equipo Experimental	30
2.7	Parámetros de operación.....	31
3	RESULTADOS	32
3.1	Eliminación de DQO.....	32
3.2	Eficiencia de remoción de DQO	35
3.3	Análisis de Sólidos Volátiles Totales	37
3.4	Sólidos volátiles por carrier.....	40

4	CONCLUSIONES.....	41
5	RECOMENDACIONES	42
6	BIBLIOGRAFÍA.....	43
7	ANEXOS.....	49

CONTENIDO DE GRÁFICOS

	pág.
Figura 1. Punto de muestreo	25
Figura 2. DQO en el reactor de $COV = 8 \text{ kg DQO/m}^3\cdot\text{día}$	32
Figura 3. DQO en el reactor de $COV = 5 \text{ kg DQO/m}^3\cdot\text{día}$	33
Figura 4. DQO en el reactor de $COV = 3 \text{ kg DQO/m}^3\cdot\text{día}$	33
Figura 5. Comparación de DQO entre Reactores.....	34
Figura 6. Porcentaje de eficiencia en remoción $COV = 8 \text{ kg DQO/m}^3\cdot\text{día}$	35
Figura 7. Porcentaje de eficiencia en remoción $COV = 5 \text{ kg DQO/m}^3\cdot\text{día}$	36
Figura 8. Porcentaje de eficiencia en remoción $COV = 3 \text{ kg DQO/m}^3\cdot\text{día}$	36
Figura 9. Eficiencia de los tres reactores	37
Figura 10. Sólidos volátiles totales (SVT)	38
Figura 11. (SVT) Relación Agua - Carriers	38
Figura 12. Portadores de Biomasa.....	39
Figura 13. Muestra de portadores de biomasa	39
Figura 14. Sólidos volátiles por m^2 de carrier.....	40

CONTENIDO DE TABLA

	pág.
Tabla 1. Nutrientes y concentraciones.....	30
Tabla 2. Parámetros de Operación.....	31

CONTENIDO DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1. Dimensionamiento de reactores	49
Anexo 2. Tanque reservorio de 100L con Sol. Nutrientes	49
Anexo 3. Inicio del tratamiento de los reactores 1, 2 y 3	50
Anexo 4. Reactor 1 con 5 días en Bach	50
Anexo 5. Reactores con caudal y tiempo de retención hidráulica controlado	51
Anexo 6. Muestra de análisis para DQO	51
Anexo 7. Preparación de la muestra en viales HR	52
Anexo 8. Lectura DQO en equipo Hach DR1900	52
Anexo 9. Lectura de pH en los reactores	53
Anexo 10. Muestreo para el análisis de SVT	53
Anexo 11. Fundición de muestras para SVT	54
Anexo 12. Peso de cápsulas con ceniza	54
Anexo 13. Crecimiento microbiano dentro de los portadores MBBR	55
Anexo 14. Análisis de efluente realizado por ETAPA EP	56

INTRODUCCION

Los seres humanos hemos ido en crecimiento poblacional, ocupando espacios cada vez mayores siendo así la demanda de recursos vitales para vivir, el agua principalmente es uno de los requisitos primordiales. Así mismo con dicho crecimiento los desechos han sido una carga importante que se derivó a las masas de agua, y al ser tantos seres humanos esta contaminación es masiva generando toneladas y toneladas de aguas residuales.¹

En el mundo todos los camales cuentan con una estructura base tanto en su infraestructura como en su desarrollo de producción, siendo así una fuente de líquidos contaminados muy considerable. Todos estos mataderos producen aguas residuales que incluyen heces y orina, sangre, pelusa, vísceras, residuos de la carne y grasas, alimentos no digeridos por los intestinos, y a veces vapor condensado procedente del tratamiento de los despojos.

En el caso de Ecuador, la gestión del agua desde hace años se ha centrado en decisiones para perfeccionar el abastecimiento, pero no su calidad. Este problema se ve agravado por la baja disponibilidad de fondos para la conservación de fuentes primarias y la falta de criterios de buen tratamiento.² Se estima que en la región hay unas 250 ciudades costeras con más de 100 mil habitantes. La descarga de aguas residuales sin tratamiento de esos centros poblados contamina las playas de uso recreacional y los productos agrícolas y pesqueros que se cultivan en zonas cercanas, impactando de forma negativa el turismo y la explotación de bienes, e incrementando los riesgos para la salud de los consumidores. Se ha calculado que el 70% de los episodios de diarrea que afectan a los niños se deben a microorganismos patógenos presentes en el agua y a los alimentos contaminados.³

Según SENAGUA el 88 % de aguas residuales producidas en Ecuador no son tratadas causando una contaminación al sector en donde se desarrolla. También es factible aclarar que el país no cuenta con un gran desarrollo en torno a las aguas residuales, debido a que no existen las suficientes plantas de tratamiento y tampoco se ha hecho las inversiones necesarias para solventar el problema.⁴

Datos obtenidos del AME-INEC en 2016, indicó que de los 215 municipios ecuatorianos solamente el 62% trata las aguas residuales; siendo la región Sierra con mayor número de plantas de tratamientos (50%) que la región Costa (31%), sin embargo, produce menos aguas servidas que el altiplano. A esto le agregamos que en el país se tienen

contabilizados 200 camales municipales aproximadamente, siendo nuevamente la región Sierra con mayor proporción (45%) que en la Costa (35%).

En Ecuador más de la mitad de los camales municipales cuenta con un sistema de tratamiento sin embargo la otra mitad no, y es aquí la raíz del problema, los costos. El tratamiento de aguas es un gran sistema de subconjuntos en donde cada bloque lleva una inversión considerable. En el tratamiento primario los lodos activos son costosos, amplios y generan más residuos sólidos por el uso de polímeros.⁵

La tecnología MBBR ofrece algunas ventajas, como una mayor capacidad volumétrica de tratamiento, una menor obstrucción del medio portador y una baja pérdida de carga abarca todo el volumen del tanque de trabajo, como los lodos activados, para el desarrollo de la biomasa. A diferencia de los lodos activados y otros reactores de biopelícula no es necesario reciclar los lodos.⁶

A nivel nacional ya se cuenta con pocas plantas donde se emplean Biofilm en los reactores, la de Yaguachi, por ejemplo, sin embargo, no está funcional y se ha estado utilizando como pozo de oxidación.³

Es así como a través de la problemática causada al sector por el camal municipal de Pasaje, se busca ampliar y contribuir con las investigaciones presentes del Biofilm, y de alguna manera impulsar su aplicación en futuros diseños.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar los parámetros de operación de un reactor moving bed biofilm reactor (MBBR) aerobio a escala de laboratorio para el tratamiento de aguas residuales producidas en el camal municipal de Pasaje - El Oro.

Objetivos específicos

- Implementar unidades experimentales basados en reactores de biopelícula de lecho móvil a escala de laboratorio.
- Evaluar el crecimiento bacteriano durante el arranque de los reactores de biopelícula.
- Determinar la eficiencia de los microorganismos en la reducción de la carga contaminante.
- Evaluar la influencia de la COV en la eficiencia y remoción de DQO.

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

Dentro de los camales existe una grave contaminación, es una realidad la cual el hombre no ha actuado de la manera correcta. No ha sido influyente la constante presencia de enfermedades en los alrededores o incluso, en el interior de los camales municipales, es así como se ha preferido por recurrir a tratamientos medicinales sin combatir la raíz del problema.

La tecnología (MBBR), aplicada al tratamiento de aguas residuales sufrió un crecimiento de demanda debido a su tecnología de alto rendimiento y escaso uso de planta. Si se presentara el caso de presencia de material orgánico disuelto, la alternativa de aplicación para tratamiento de aguas más eficiente y económica es la de MBBR.

1.2 Camales municipales

Un matadero es un establecimiento en dónde los animales pasan por el proceso de faenado con la finalidad de distribuir las partes consumibles para ser procesadas, mientras que las secciones del animal no deseables son expulsadas por los sistemas de alcantarillado. Entre los procesos que se realizan dentro del camal está el de dar a los animales un corral de descanso, al momento que son seleccionados para ser sacrificados se les realiza un baño para retirar el polvo y excretas que poseen, luego de ser sacrificados por el método aprobado dentro de las instalaciones.⁷ La propagación de residuos y su disposición inadecuada conducen a una variedad de impactos ambientales que afectan la calidad de los ecosistemas, así como el impacto en la salud humana causado por las emanaciones de gases malolientes. por fuego. Además, contribuyen significativamente a la producción de lixiviados que eventualmente pueden contaminar los acuíferos, provocando el crecimiento de fauna nociva.⁸

1.3 Aguas residuales

Con la construcción y formación de los asentamientos de los humanos, se ha venido arrastrando el problema de generación de residuos para su eliminación, se consideró su depósito en las masas de agua disponible y cercanas.

Con dicha acción, se provoca una alteración de las condiciones naturales del líquido vital, disminuyendo su capacidad de sostener la vida marina y su fase en el ecosistema biológico conocido.⁹ Las aguas residuales se definen como el efecto negativo generado por la acción del hombre en desechar residuos en estas masas de agua alterando su

orden biológico y molecular, provocando un desorden ambiental grave y que necesita tratamiento para su sostenibilidad.

1.3.1 Tipos de aguas residuales. Los cuerpos de agua superficiales suelen ser la fuente de agua para la producción y las actividades de la vida diaria, así como la descarga de aguas residuales municipales e industriales. La naturaleza del drenaje depende del tipo de actividad. Por ejemplo, las aguas residuales domésticas o municipales contienen principalmente heces humanas, sólidos disueltos y suspendidos, nutrientes (nitrógeno y fósforo) y materia orgánica, sustancias medidas por DBO5 y DQO, y muchos microorganismos patógenos.⁴ Las aguas residuales municipales también pueden contener residuos de productos farmacéuticos, de limpieza y cuidado personal, detergentes y desinfectantes. La descarga de aguas residuales en los ecosistemas acuáticos afecta la calidad de los ecosistemas y reduce su capacidad para proporcionar recursos a las comunidades. distintas concentraciones de contaminantes, en su mayoría industrial.¹⁰

1.4 Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales tienen en composición el 99,9% de agua y 0,01% de sólidos, sin embargo, dicha concentración de sólidos es suficientemente fuerte para producir cambios biológicos, químicos y físicos dentro del agua provocando su contaminación.

Para su control se han trabajado en sistemas de tratamiento de estas aguas residuales destacando las tecnologías de reactores aerobios y anaerobios, estabilizadores y lodos activos y de flujo ascendente.¹¹

Los lodos activos, la tecnología más aplicada, son un agregado que se encuentra constituido por nutrientes sustancias extracelulares y lo más importante, microorganismos los cuales son generados por el tratamiento de aguas. Dicha materia orgánica es muy utilizada para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y de carbono, reciclaje de los nutrientes y la misma materia orgánica o lodos activos. Como dato en contra si la concentración de nutrientes en el lodo es extremadamente elevada, puede generar sobresaturación en el tratamiento del agua residual líquida y si es reutilizada en el suelo, puede generar lixiviados en el mismo contaminando aguas subterráneas.¹²

1.4.1 Tratamiento biológico aerobio. En los procesos de depuración de aguas residuales, los tratamientos biológicos se convierten en una alternativa de gran importancia. Su aplicación se fundamenta en la capacidad de los microorganismos para

eliminar por digestión y descomposición la materia orgánica biodegradable presente en aguas residuales¹³.

Para el tratamiento aerobio debemos tener en claro que el oxígeno es indispensable para realizar los procesos de oxidación, una de las opciones para esta aplicación son los medios de cultivo MBBR, estos sistemas surgen como una alternativa para el tratamiento de efluentes de aguas residuales domésticas o industriales en plantas que operan en varias partes del mundo

Para el tamaño del reactor biológico de tratamiento de aguas residuales se necesita saber, la cinética de reacción que gobierna el proceso de tratamiento, la naturaleza de las aguas residuales que se tratan, las condiciones ambientales locales, la capacidad de producción, los requisitos del proceso de tratamiento y la naturaleza y masa de los productos producidos. Factores que afectan los costos de construcción y mantenimiento de reactores.¹³

1.5 Niveles de tratamiento

Los niveles de tratamiento dentro de un proceso de aguas residuales son fundamentales para direccionar y establecer cuáles equipos, acciones y ejecución se lleva a cabo en cada determinada área. También es importante destacar los objetivos o enfoque que tiene el sector se aplicará el sistema de tratamiento. Debemos tener en cuenta el número elevado de operaciones y procesos que se aplican en el sistema, es así que los niveles más importantes vienen definido como: preliminar o pretratamiento de aguas, tratamiento primario de aguas, tratamiento secundario de aguas, y finalmente el tratamiento terciario de aguas o tratamiento avanzado.

1.5.1 1.5.1 Tratamiento preliminar.

1.5.1.1 Cribado. La función principal del plan tratamiento primario es eliminar los sólidos que pueden afectar el funcionamiento normal de la planta de tratamiento aguas abajo, en particular debido a la obstrucción de tuberías, fallas en los equipos mecánicos y eléctricos, acumulación de arena y emulsificación en el reactor. Estos problemas también se aplican a menudo a equipos y unidades de procesamiento que manejan subproductos como lodos y crema, lo que provoca tiempos de inactividad frecuentes; esto puede ir desde una simple limpieza y dragado hasta daños y averías en los equipos de mantenimiento.¹⁴

1.5.1.2 Remoción de sólidos suspendidos. Los sólidos suspendidos constituyen una característica importante en las aguas residuales, porque son las macro y micro

partículas que podemos detectar, además de encontrarse objetos contundentes flotando o navegando en el interior de las aguas. Es así que como tratamiento preliminar se establece la remoción de estos sólidos mediante filtros como rejillas para separar los objetos de tamaños importantes, mientras que las partículas de menor tamaño se hace uso de papeles filtro, ayudando a la retención de un tamaño de partícula mayor a 1,2 µm. Sin embargo, no puede ser aplicado en todos los casos, ya que puede verse entablada en una situación donde la presencia de polvo y arena es importante, es así como un proceso unitario de decantación sólido – líquido, es de las mejores opciones por eficacia en el proceso¹⁵.

Cada medio acuoso posee un medio en constante conductividad, al ser identificado se puede tomar como inicio para la cuantificación de estos componentes como son los sólidos en suspensión.¹⁶

1.5.1.3 Floculación y coagulación. La coagulación para el tratamiento de efluentes desde el siglo XIX en Inglaterra, donde se utilizaba la cal en combinación con cloruro cálcico o magnesio. La coagulación y la floculación suelen ir seguidas de sedimentación, filtración y desinfección, en la etapa primaria, seguidas de cloración. Este método se utiliza en todo el mundo para el tratamiento del agua antes de su distribución final a los consumidores. En los procesos típicos de tratamiento del agua se utilizan varios tipos de coagulantes para que el agua sea apta para su uso por los consumidores. Pueden clasificarse en coagulantes inorgánicos, polímeros sintéticos y coagulantes biológicos¹⁷.

1.5.2 Tratamiento secundario. Para el tratamiento secundario basada en la sinergia del eficiente crecimiento microbiano, se reporta como una alternativa al tratamiento de aguas contaminadas porque aumenta la densidad de microbios que pueden utilizar los compuestos presentes en el agua contaminada. El agua como fuente de carbono y energía para el metabolismo y el crecimiento. Por lo tanto, su concentración se reduce. Además, al utilizar una mezcla de diferentes microorganismos con diferentes propiedades metabólicas complementarias, se incrementa la cantidad y variedad de compuestos degradables, haciendo más eficiente el proceso. Varios tipos de microorganismos, todos los cuales son beneficiosos y poseen propiedades fermentativas, bioactivas, competitivas y antagónicas frente a los patógenos, contribuyen al mantenimiento del equilibrio natural entre los microorganismos y tienen un impacto positivo en la salud y el bienestar⁹.

1.5.2.1 Tratamiento MBBR. Los sistemas MBBR se caracterizan típicamente por un bajo contenido de sólidos en suspensión. Por ello, su diseño y funcionamiento se basan muchas veces en la tasa de carga superficial, que depende de la actividad de la biomasa

adherida al medio ambiente. Por otro lado, a menudo no se consideran las actividades de la biomasa en suspensión. Pero dependiendo de las condiciones hidráulicas y la carga orgánica, la cantidad de sólidos en la fase cruda debido al crecimiento de incrustaciones o suspensión puede ser significativa. Este intercambio de biomasa entre las fases líquida y sólida destaca la necesidad de considerar las fracciones de biomasa suspendidas e inmovilizadas en el diseño y modelado de biopelículas. Diseño y modelado de sistemas de biofilm. lo hicieron hace poco un estudio completo de la remoción de materia orgánica en MBBR bajo diferentes condiciones de operación. Este estudio en particular proporcionó resultados esclarecedores sobre las actividades heterótrofas de las fracciones de biomasa libre y adherida y su contribución a la eliminación total de DQO bajo diferentes tiempos de retención hidráulica¹⁸.

1.6 Carriers

El primer portador biológico utilizado en el sistema MBBR fue AnoxKaldnes. De la colección Kaldness K1 con una relación volumen/reactor ($V_{media}/V_{reactor}$) del 20%. La forma cilíndrica, el soporte MBBR de forma cilíndrica es de polietileno con una densidad de 0,123 g/mL y un diámetro de 8 mm con transversal en el interior. ¹⁹La diferencia es la superficie disponible para el desarrollo de biopelículas.

En este proceso, los componentes del medio con una elevada superficie efectiva se utilizan para el crecimiento de la biopelícula de microorganismos, y los tanques para el crecimiento de la biomasa. A diferencia de la mayoría de los reactores de biopelícula, el MBBR utiliza todo el volumen del tanque para el crecimiento de la biomasa. En este sistema, el crecimiento de la biomasa tiene lugar en los medios. Los medios se mueven fácilmente en el medio acuoso y permanecen dentro del reactor²⁰. Según el proceso, ya sea aeróbico o anóxico/anaeróbico, el bioportador utilizado puede variar, por ejemplo, bioportadores ideales para biopelículas heterótrofas cultivadas aeróbicamente tendrá aberturas más amplias para evitar pérdidas de superficie efectiva causado por el bloqueo. Por el contrario, las biopelículas autótrofas de crecimiento lento se benefician de aberturas más pequeñas y área de superficie más grande, como chips de biopelícula.²¹

Los carriers o medios de soporte son usados para el tratamiento de aguas residuales en sistemas MBBR es un medio adecuado para el crecimiento del biofilm, este es un componente plástico muy utilizado a nivel mundial por ser efectivo y sencillo de operar, varían de diámetro y área superficial, no son solubles en agua y están elaborados de polietileno virgen, la literatura tiene una serie de estudios sobre la eliminación de nutrientes orgánicos (es decir, nitrógeno y fósforo) que son pequeños en comparación

con, por ejemplo, los lodos activados y otros sistemas convencionales. Hoy en día, es más crucial la necesidad de actualizar las plantas de tratamiento de aguas residuales existentes con pocos costos adicionales, de bioportadores y tamiz de efluentes, para aumentar la capacidad volumétrica debido al aumento de la población. Además, la creciente presión por reducir el impacto ambiental hace más atractivas las tecnologías que permiten una instalación compacta, ocupando el menor espacio físico posible. Además, los costos de los bioportadores por unidad de volumen han ido disminuyendo a lo largo de los años debido a las oportunidades de libre mercado y al desplazamiento de la producción en países donde se reducen los costos de producción.²²

1.6.1 Biopelícula. Las biopelículas se conocen como comunidades microbianas consorciadas adheridas a superficies sólidas. La formación de estas bacterias se entiende como una estrategia de adaptación, lo que permite la supervivencia a través de la resistencia a diversos peligros, como agentes antibacterianos, antisépticos, desinfectantes, luz ultravioleta y procesos de secado.²³

1.6.2 Nutrientes. Los contribuyentes para el desarrollo de los microorganismos dentro del Biofilm son el nitrógeno y el fósforo se da según los procesos naturales en cuanto a la colonización de estos microorganismos se convertirán en sustancias maduras en formación polimérica extracelulares, después esto alcanzará un equilibrio en el crecimiento y se desprenderá en forma paralela por diferentes medios como: abrasión, colisión, erosión y desprendimiento del biofilm.²²

1.6.3 Tiempo de retención. Es el tiempo que permanece un fluido dentro de un recipiente, esto quiere decir el tiempo que el líquido entra a un reactor y demora en salir del mismo, se expresa como el tiempo necesario para que ocurran las reacciones químicas necesarias dentro del reactor. El tiempo de retención hidráulica (TRH) es un parámetro que puede controlar el caudal de los lodos tratados. Si el suministro de sustrato es mayor que el consumo de materia orgánica en el biorreactor, se acumularán productos intermedios, lo que requerirá un mayor tiempo de retención hidráulica. El TRH es uno de los factores de control más notables en el proceso. Fenómenos como la limpieza del reactor, fase de alimentación dependen en gran medida del TRH, están estrechamente relacionados con tiempos de contacto cortos entre la biomasa activa y los sustratos. Para calcular el TRH se utiliza una fórmula básica expresada en la ecuación 1.²⁴

$$TRH = \frac{V(m^3)}{Q(\frac{m^3}{h})} \quad \text{ec. (1)}$$

1.7 Análisis de calidad de agua

En el análisis de calidad de agua los parámetros a medir son muy importantes para garantizar la diversidad de los ecosistemas, para lograr el objetivo se debe cumplir los siguientes parámetros como, el pH el cual nos va a indicar si las aguas residuales en sí son ligeramente ácidas o alcalinas, también se debe analizar el DBO (Demanda Biológica de oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) según el TULSMA. Se prohíbe descargar en un sistema público de alcantarillado, cualquier sustancia que pudiera bloquear los colectores o sus accesorios, formar vapores o gases tóxicos, explosivos o de mal olor, o que pudiera deteriorar los materiales de construcción en forma significativa.³

1.7.1 Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO5). El análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) determina la demanda relativa de oxígeno de las aguas residuales, las aguas residuales y el agua contaminada. Su aplicación más extensa es la medición de cargas de residuos en plantas de tratamiento de aguas residuales y la evaluación de la eficiencia de eliminación de DBO de la planta. La prueba de DBO5 mide la cantidad de oxígeno molecular utilizada durante un período de incubación específico. El método mide el oxígeno consumido durante 5 días (5210 B), el oxígeno consumido después de 60 a 90 días de incubación (5210 C) y durante el consumo continuo de oxígeno (5210 D). Otros métodos de BOD publicados en otros lugares pueden usar latencias más cortas o largas, pruebas para determinar el consumo de oxígeno y otras condiciones de siembra, dilución e incubación para imitar las condiciones del agua receptora, estimando así el impacto ambiental de las aguas residuales y el drenaje.²⁵

1.7.2 Demanda química de oxígeno (DQO). La DQO se define como la cantidad de un oxidante específico que reacciona con la muestra en condiciones controladas. La cantidad de oxidante consumido se expresa en términos de su equivalencia en oxígeno. Debido a sus propiedades químicas únicas, el ion dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) es el oxidante especificado en los métodos 5220 B, C y D; en estos ensayos se reduce a ion crómico (Cr^{3+}). Tanto los componentes orgánicos como inorgánicos de una muestra están sujetos a oxidación, pero en la mayoría de los casos el componente orgánico predomina y es de mayor interés. Para medir la DQO orgánica o la inorgánica por sí solas, deben tomarse medidas adicionales no descritas aquí para distinguir una de la otra. La DQO es una prueba definida; el grado de oxidación de la muestra puede verse afectado por el tiempo de digestión, la fuerza del reactivo y la concentración de DQO de la muestra.²⁶

1.7.3 Nitratos y Nitritos. Son compuestos solubles, cuya estructura molecular está compuesta por nitrógeno y oxígeno. En el medio ambiente, el nitrito (NO_2^-) a menudo se

convierte fácilmente en nitrato (NO_3^-), lo que significa que el nitrito rara vez se encuentra en las aguas subterráneas. Los nitratos son esenciales para el crecimiento de las plantas, por esta razón, se utiliza principalmente como fertilizante y se produce en grandes cantidades a escala industrial.²⁷

Por tanto, se puede decir que existen dos tipos de fuentes de contaminación natural del agua con compuestos nitrogenados: la contaminación puntual y la contaminación difusa. El primer caso se refiere a actividades de origen industrial, animal o urbano (vertido de aguas residuales industriales, aguas residuales municipales u orgánicas de explotaciones ganaderas, así como fugas de vertederos, etc.), mientras que la contaminación es difusa o difusa, la actividad agronómica es la principal causa.²⁷

1.7.4 Sólidos volátiles totales. Los sólidos son sustancias que se encuentran suspendidas o disueltas en el agua potable, agua superficial y agua salada, así como en las aguas residuales domésticas e industriales. El material particulado puede afectar negativamente la calidad del agua o de las aguas residuales de varias maneras. El agua con un alto contenido de sólidos disueltos tiende a tener un sabor más pobre y puede causar reacciones fisiológicas adversas en los consumidores intermedios, por lo que se recomienda un límite de 500 mg/L de sólidos disueltos en el agua potable. El agua altamente mineralizada tampoco es adecuada para muchas aplicaciones industriales. El agua con alto contenido de sólidos en suspensión puede no ser estéticamente adecuada para nadar y otros usos.

El análisis de partículas es importante para monitorear los procesos de tratamiento de agua y aguas residuales, así como para evaluar el cumplimiento normativo. Cantidad de materia orgánica (incluidos aquellos inorgánicos) capaz de volatilizarse por el efecto de la calcinación a $550^\circ\text{C} \pm 50^\circ\text{C}$ en un tiempo de 15 min a 20 min.²⁸

METODOLOGÍA

2.1 Diseño de investigación

Este trabajo tiene como objetivo el diseño de un reactor MBBR para el camal municipal de Pasaje. Por el lugar de trabajo, se ha establecido que es de tipo laboratorio debido a que buscamos llevar un registro de los análisis que se realizarán en el tiempo que dure la experimentación. Es de tipo experimental, aplicando la metodología cuantitativa, por lo tanto, se cuantificará los resultados generados en los análisis físico - químicos.

2.2 Equipos, Materiales y Reactivos

A continuación, se enlistará los equipos, materiales y reactivos que se usarán en la realización de los análisis de la experimentación:

2.2.1 *Materiales*

- Bandejas de aluminio
- Bata de laboratorio
- Canecas de 20 L
- Cápsulas de 50 mL
- Charolas de aluminio
- Embudo
- Erlenmeyer (25 mL)
- Espátula
- Filtros con jeringa de 10 mL
- Gradillas
- Luna reloj
- Mascarilla
- Micropipetas (0.1 μ L a 10 μ L – 100 μ L a 1000 μ L)
- Papel filtro
- Pera de succión
- Pinzas (Cortas y largas para mufla)
- Pipetas graduadas
- Pipetas volumétricas (25 mL, 1mL, 10mL)
- Piseta

- Probetas 50 mL
- Balones volumétricos (10mL, 25mL, 50mL, 1000mL)
- Varilla de agitación
- Vasos de precipitación (100 mL, 1000 mL)

2.2.2 Equipos

- Balanza analítica (RADWAG MODELO AS-220.X2)
- Bar Mufla (BARNSTEAD MODELO -F48015)
- Campana de extracción (LABCONCO)
- Compresor (CAMPBELL HAUSFELD MODELO HS518000AJ14RYY7 DE 175 psi)
- Estufa (MENMERT MODELO SNB 400)
- PH metro (BANTE INSTRUMENTS 901)
- Photometer de tratamiento de aguas residuales (HANNA INSTRUMENTS HI 83214)
- Photometer Hach DR-1900
- Reactor de DQO (HANNA INSTRUMENTS HI 839800)
- Reactores elaborados con acrílico (2 unidades)

2.2.3 Reactivos

- Ácido Clorhídrico HCl al 37%
- Ácido Nítrico concentrado
- Agua destilada
- Cloruro cobalto Hexahidratado ($\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- Cloruro de potasio (KCl)
- Cloruro férrico Hexahidratado ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- Cloruro Níquel Hexahidratado ($\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)
- NitraVer 5
- NitriVer 3

2.3 Muestreo

Del sector poblacional se tomó uno de los principales focos de contaminación por aguas residuales con el objetivo de dar solución a dicho proceso para ello se realizó en el camal municipal El Oro - Pasaje, Cda. Nuevos horizontes. Coordenadas en el mapa - 3.3262175892589227, -79.78416601992626 del pozo 1 que es la salida principal de aguas residuales, se sumergió un balde de 10 L en la tubería de residuos generados en

el camal, después se realizó un filtrado de esta y se colocó en canecas de 20 L, el método a aplicar en la toma de un volumen considerable, una vez terminada el muestreo se traslada a la planta piloto previamente instalada en las inmediaciones de la Universidad Técnica De Machala

Figura 1. Punto de muestreo



Fuente: Google Maps

2.4 Métodos de análisis Físico – químico

2.4.1 Determinación de DQO. Para la determinación de DQO seguimos los pasos indicados en el Manual de Análisis de Agua, 2da Edición, de Hach, método 8000.

Usando el Método 8000 indicado en el manual, se empieza con el tratamiento de la muestra extraída de los dos reactores con una pipeta volumétrica de 10 mL y ubicarlos en los vasos de precipitación de 100 mL. Se toma la jeringa y se absorbe la muestra, luego se le adapta el filtro de jeringa con el papel filtro y, por consiguiente, se presiona con fuerza para separar los sólidos y residuos en suspensión de la muestra.

La técnica de Alto Rango (HR) abarca los valores entre 0 - 1500 mg/L, sin embargo, en nuestro primer análisis de muestra, tuvimos la determinación de 3000 mg/L de DQO. Al ser superior a los rangos de la técnica de HR de Hach, se procede a realizar los cálculos de dilución para trabajar correctamente, aplicando la siguiente fórmula:

$$C_1 \cdot V_1 = C_2 \cdot V_2 \quad \text{ec. (2)}$$

C₁: Concentración inicial (mg/L)

V₁: Volumen inicial (mL)

C₂: Concentración deseada

V₂: Volumen a preparar (mL)

Para el cálculo de factor de dilución C_1 se toma como referencia en un análisis enviado a un laboratorio externo.

C₁: 2447 mg/L

C₂: 500 mg/L

V₂: 25mL

C₁: 500 mg/L (valor tomado para no exceder el rango de viales)

$$V_1 = \frac{C_2 \cdot V_2}{C_1} \quad \text{ec. (3)}$$

$$V_1 = \frac{500 \frac{m}{L} * 25mL}{2447mg/L}$$

$$V_1 = 5.11 \text{ mL}$$

$$\frac{V_2}{V_1} \rightarrow \text{Factor de dilución}$$

$$F\Delta = \frac{25mL}{5.11mL}$$

$$F\Delta = 4.89$$

Con el valor calculado de muestra a tomar, se procede a aforar en un balón volumétrico de 25 mL, y es de aquí en donde se toman los 2 mL que especifica la técnica de Hach

para ser trasladados a los Viales, adicional a eso, se debe crear un Vial "Blanco" que será usado más adelante.

Luego, con el termoreactor encendido y calentado a 150°C, se ubican los Viales previamente rotulados, y se espera 2 horas del procedimiento para que la reacción se haga efectiva. Una vez el tiempo culmina, esperar 20 minutos a que se estabilice la reacción y puedan ser manipulables los viales para agitar verticalmente para finalmente dejarlos reposar hasta que alcancen la temperatura ambiente.

En el fotómetro DR-1900, seleccionamos la determinación colorimétrica 0 a 1500 mg/L DQO alto rango. Limpiamos bien el exterior del vial blanco y lo colocamos en el equipo para encerrar la medición, por lo tanto, realizamos el mismo procedimiento con el vial que contiene la muestra diluida, una vez colocado iniciamos la medición y anotamos los valores mostrados por el equipo.

Finalmente, multiplicamos por el factor de dilución la medida otorgada y obtendremos el valor real de DQO de la muestra.

2.4.2 Determinación de SVT. Para la determinación de SVT según el método 8276 , se hizo uso de cápsulas de porcelana previamente taradas, esto consiste en liberar de toda impureza cada cápsula con agua destilada y rotular después secar en la estufa alrededor de 2 horas, se pasa al desecador 15 minutos y se procede a pesar rotulando con la denominación "A" siendo este el peso inicial de cada cápsula después de cada reactor y del afluente, se tomaron 50 mL de muestra y se procedió a colocar en cada cápsula, llevamos las muestra a secar en la estufa a 105°C por 4 - 5 horas o hasta que se evapore la muestra, una vez evaporada se deja 15 minutos en el desecador y se procede a pesar denominándose con la letra "B" (Peso de capsula + Peso de cápsula con residuo evaporado) se reporta los datos obtenidos.

Previamente rotulado los datos una vez pesada las cápsulas denominadas B se las deja en la mufla por 15 minutos a 550°C después se las coloca 15 minutos en el desecador y se procede a pesar siendo esta las muestras con denominación "C" una vez obtenidos los valores se procede con el cálculo de los mg/L de Sólidos Volátiles Totales mediante la siguiente fórmula.

$$mg\ SVT/L = \frac{(B - C) * 1000\ mg/g}{V} \quad ec. (4)$$

B: Peso de la muestra secada (g)

C: Peso de la muestra calcinada (g)

V: Volumen de muestra (V)

2.4.3 Determinación de Nitrógeno Amoniacal (NH₃ - N). Para la determinación de NH₃ - N se hizo el uso de tiras de prueba de Nitrógeno Amoniacal Hach 2755325 las cuales se sumergen en el agua que se desea hacer la prueba, dejar actuar unos 30 segundos aproximadamente, retirar del agua problema y agitar con la esponja boca arriba hasta eliminar los residuos de muestra, hacer la lectura con los rangos de colores que se indica en el recipiente que contiene de las tiras.

2.4.4 Determinación de Nitratos (NO₃⁻-N). Para la determinación de Nitratos, seguimos los pasos indicados en el Manual de Análisis de Agua, 2da Edición, de Hach, método 8039.

Realizamos un cálculo de dilución de la muestra para trabajar en el rango establecido del método, de 0 a 30 mg/L NO₃⁻-N. Con el valor de muestra calculado, realizamos dos aforos de 25 mL, para colocarlos en dos viales de 25 mL cada uno. Un vial lo rotularemos como el blanco, y otro lo ocuparemos para colocar el reactivo NitraVer5. El vial con el reactivo debe agitarse enérgicamente durante 1 minuto, luego de ese tiempo se dejar reposar 5 minutos para que el nitrato presente en la muestra reaccione con el NitraVer5 y forme la coloración necesaria para el procedimiento.

Con el tiempo completado, procedemos a la lectura iniciando con el vial blanco para encerrar el fotómetro, luego tomamos nuestro vial con la coloración y cerramos con un escudo para el ingreso de la luz, posteriormente anotamos el valor arrojado.

Finalmente, ocupamos el factor de dilución para multiplicarlo por el valor mostrado en la lectura, para así obtener el valor real de Nitratos en la muestra de agua residual.

2.4.5 Determinación de Nitritos (NO₂⁻-N). Para la determinación de Nitritos, seguimos los pasos indicados en el Manual de Análisis de Agua, 2da Edición, de Hach, método 8507.

Realizamos un cálculo de dilución de la muestra para trabajar en el rango establecido del método, de 0 a 0.3 mg/L NO₂⁻-N. Con el valor de muestra calculado, realizamos el aforo a 25 mL, luego tomamos 20 mL para colocarlo en dos viales de 10 mL cada uno. Un vial lo rotularemos como el blanco, y otro lo ocuparemos para colocar el reactivo NitriVer3. El vial con el reactivo debe agitarse hasta su disolución y dejar reposar 20 minutos para que el nitrito presente en la muestra reaccione con el NitriVer3 y forme la coloración necesaria para el procedimiento.

Con el tiempo completado, procedemos a la lectura iniciando con el vial blanco para encerrar el fotómetro, luego tomamos nuestro vial con la coloración y cerramos con un escudo para el ingreso de la luz, posteriormente anotamos el valor arrojado.

Finalmente, ocupamos el factor de dilución para multiplicarlo por el valor mostrado en la lectura, para así obtener el valor real de Nitritos en la muestra de agua residual.

2.5 Diseño de la unidad experimental

Para nuestra unidad experimental con base a nuestra variable independiente aplicaremos un diseño unifactorial. Con la obtención de los datos experimentales, el diseño nos estará otorgando una base para la interpretación de los mismos, teniendo en cuenta la importancia de la COV en la operatividad del reactor del MBBR. Mediante el cálculo de caudal de entrada podemos modificar la COV así obtener el tiempo de retención hidráulica óptimo para la remoción de carga contaminante en el agua residual, y notar la inferencia de la variable independiente en el factor más importante que es la remoción de carga contaminante. Como análisis de las variables DQO y SVT en función de la COV, para determinar si la variable independiente, genera un efecto en las dependientes.

El procedimiento estadístico utilizado fue un análisis de varianza (ANOVA) para SVT. El nivel de significancia ($p < 0,05$) fue implementado para todas las pruebas estadísticas. Para la verificación de supuestos de distribución normal y de homogeneidad de varianzas, se empleó la prueba de Shapiro-Wilk y de Levene, respectivamente. Como método de separación de medias para las comparaciones múltiples entre los grupos, se aplicaron pruebas de rangos múltiples post hoc de Duncan. El software IBM, (1968) SPSS Statistic 25 fue utilizado para procesamiento estadístico.

2.5.1 Tratamiento preliminar del agua cruda. Para un tratamiento inicial se procede a realizar un cribado que logre eliminar partículas grandes (vísceras, excremento, pelos del animal, cartílagos) para que no afecten la cinética de crecimiento dentro de los reactores, luego se realiza un tamizado del afluente para eliminar restos de partículas sólidas que no se lograron descartar en el cribado provenientes del faenamiento, así logramos evitar una posible obstrucción en la vía de ingreso (caudal) a nuestro reactor.

2.5.2 Inoculación de Nutrientes. La preparación de un coctel de nutrientes es muy importante en los tratamientos de afluentes con reactores aerobios para garantizar el alimento de diversos conglomerados de bacteria acidófilas por lo tanto aplicamos las siguientes concentraciones para la inoculación:

Tabla 1. Nutrientes y concentraciones

Sol Nutriente	g/L
FeCl ₃ ·6H ₂ O	1
CoCl ₂ ·6H ₂ O	0,3
NiCl ₂ ·6H ₂ O	0,61
KCl	2,0

Fuente: Autoría propia

En la tabla se expresa los gramos de reactivos para 1 litro de solución, se procede a pesar cada uno de ellos y en un balón de 1000 mL mezclamos todos los componentes y enrasamos, la técnica dice que se debe inocular 50 mL de la solución de nutrientes en 5L de volumen de reactor, por lo tanto, trabajamos con un taque de distribución de 100L al cual se siembran 1000 mL de sol.

2.5.3 Cálculo de carga orgánica volumétrica. Carga orgánica volumétrica es la cantidad en kg DQO de materia que ingresa a un reactor para su próximo tratamiento, este cálculo se realiza mediante dicha fórmula:

$$COV = \frac{Q \cdot DQO}{V} \quad \text{ec. (5)}$$

$$Q = \frac{COV \cdot V}{DQO} \quad \text{ec. (6)}$$

Para controlar la cinética dentro de los reactores optamos por trabajar con COV variando de 8 kg DQO/m³·día, 5 kg DQO/m³·día, 3 kg DQO/m³·día, así notar cual es el más eficiente en la remoción de carga contaminante.

2.6 Equipo Experimental

Se implementó una fase de reservorio de tanque azul de 80L y dos reactores (R₁ R₂ y R₃) con fase de sedimentación, fabricados manualmente con material acrílico par las paredes y silicona para unir cada división, en la fase de aireación usa mangueras de 3 mm de diámetro, ya que dentro de los reactores se adaptaron en la parte inferior difusores de aire planos en paralelo con un diámetro de burbuja mínimo, conectados a un compresor de capacidad de 175 psi, el cual mediante un regulador de presión otorgamos aproximadamente 10 psi, cada unidad tiene una llave de paso para regular

la presión de aire así evitar turbulencia dentro de los reactores, así otorgamos 5 psi para cada reactor.

Las unidades reactantes se encuentran en serie con una fase final de sedimentación, cada unidad con un volumen de 10L los cuales se encuentran cargados con un 40% de Carriers (MBBR) y la fase de sedimentación con un volumen de 20 L.

2.7 Parámetros de operación

Acorde a nuestras variables mediante la implementación de 3 reactores con diferente COV se fijan los parámetros de trabajo en la tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de operación

Q (mL/min)	TRH (h)	COV (kg DQO/m ³ -día)
8,51	19,5	3
14,12	11,77	5
22,7	7,3	8

Fuente: Autoría propia

RESULTADOS

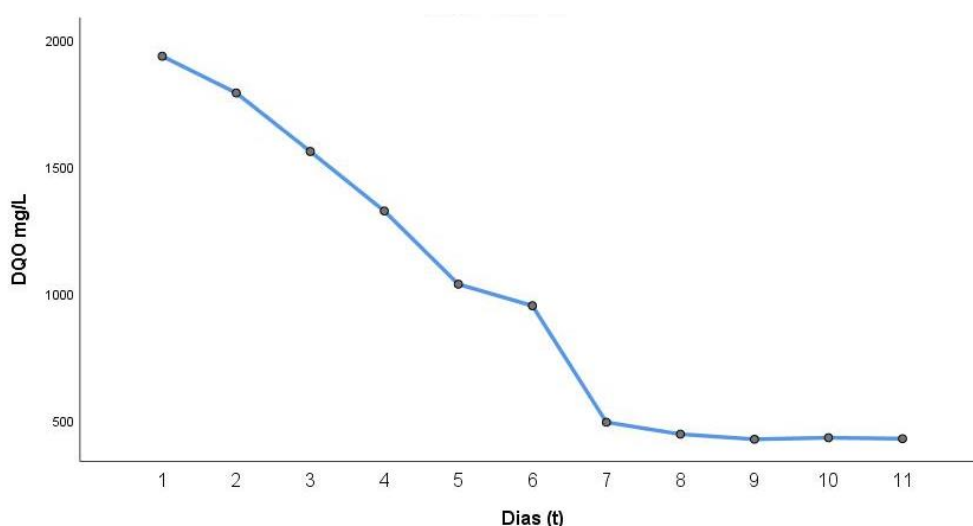
3.1 Eliminación de DQO

En una muestra de agua residual, es importante conocer el valor presente de oxígenos que sirve para poder oxidar el material orgánico presente en la muestra de agua que se trabaja, del camal municipal de Pasaje. En tres reactores en paralelo con las mismas dimensiones y cantidad de carriers (40% en 10 L), se trabajó con tres valores de COV, que por ende se vio reflejada en el TRH para determinar el de mayor remoción y eficiencia en el proceso.

Para iniciar el proceso, se dejó trabajar los reactores durante 5 días en Bach para poder lograr que la materia orgánica pueda formarse y los microorganismos tengan alimento para posteriores análisis ya que, iniciar desde el día 0 a tomar muestra, sólo nos reflejará resultados iguales a los valores de la muestra cruda.

A partir del día 6 hasta el día 11, final del proceso, se tomaron muestra para registrar los valores.

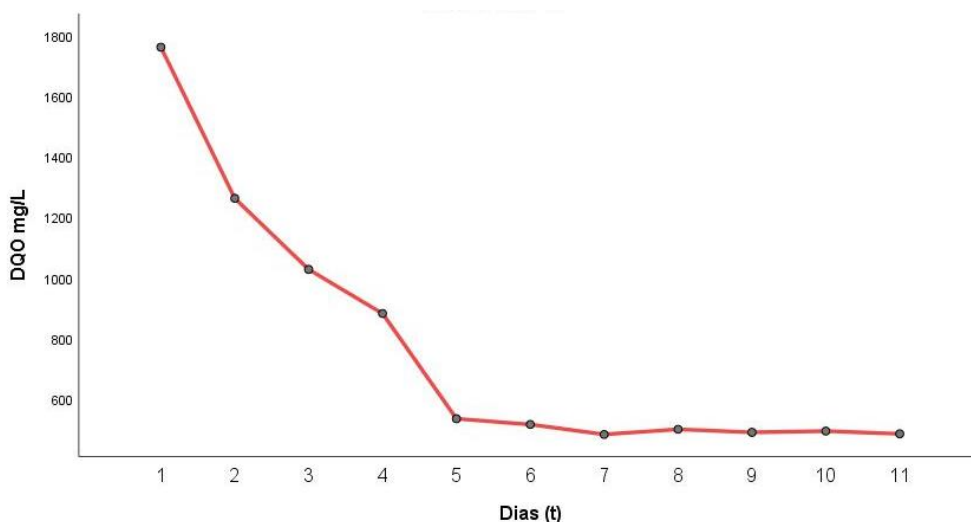
Figura 2. DQO en el reactor de COV = 8 kg DQO/m³·día



Fuente: Autoría propia

En la figura 2 se muestra los datos obtenidos para el reactor de COV = 8, se visualiza una decreciente notoria en la primera lectura en comparación a la inicial, además de eso, desde la muestra 7 hasta la 11, fin del estudio, se registró una constante de valores siendo el mínimo de DQO en la muestra de 423 mg/L.

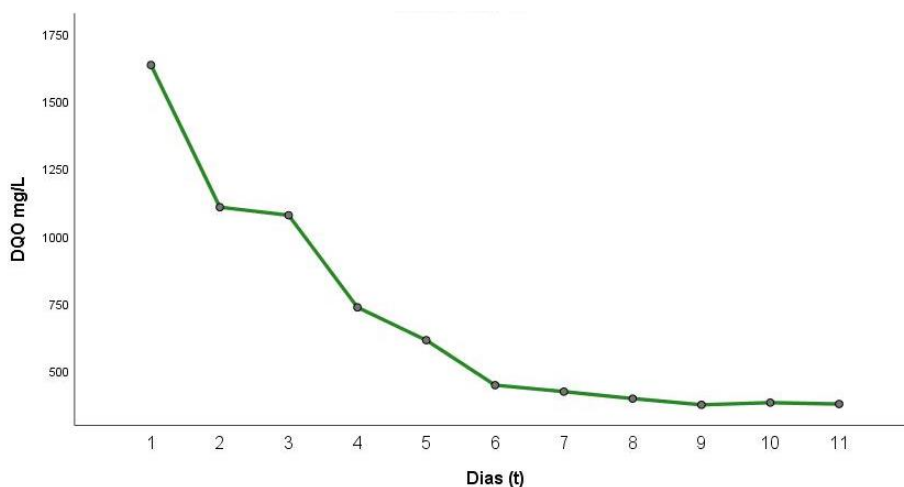
Figura 3. DQO en el reactor de COV = 5 kg DQO/m³·día



Fuente: Autoría propia

En el segundo estudio de COV = 5, se llevó a cabo el mismo principio de mantener en Bach durante los primeros cinco días del proceso, para posteriormente realizar muestras desde el día 6 hasta el día 16. Mostrando claramente la velocidad a la que alcanzó su máximo de remoción, siendo en el día 10 este registro (muestra 5), es así como a partir de este punto se genera la constante de valores mostrando que no es posible seguir en su remoción, como se observa en la figura 3.

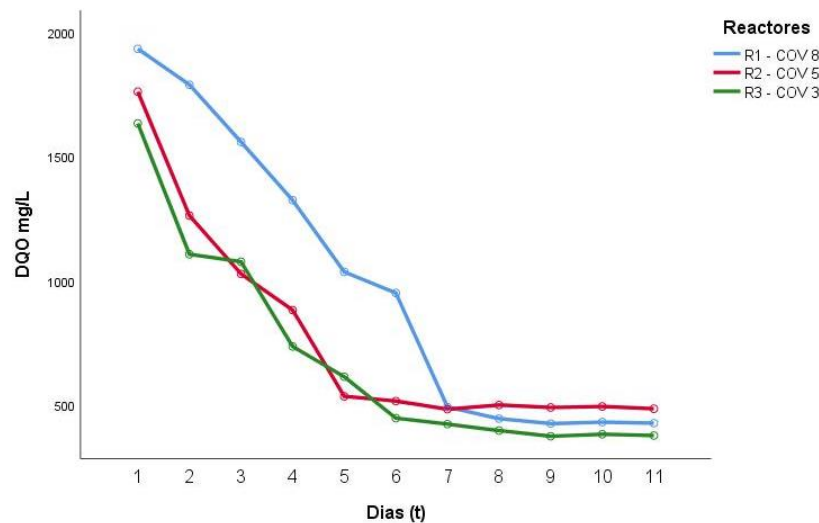
Figura 4. DQO en el reactor de COV = 3 kg DQO/m³·día



Fuente: Autoría propia

Como estudio final, se repitió por tercera vez el proceso en el reactor para la remoción de DQO. Las condiciones de operación como se observa en la figura 4, fue de un COV de 3, teniendo un tiempo de retención de 20 horas. Los valores reflejados en el proceso en comparación con los otros dos reactores evaluados son importantes, ya que demuestra una rápida remoción de DQO además de una eficiencia considerable del proceso al llegar a un pico mínimo de 372 mg/L, a su vez que mantienen la constante en sus valores de DQO.

Figura 5. Comparación de DQO entre Reactores



Fuente: Autoría propia

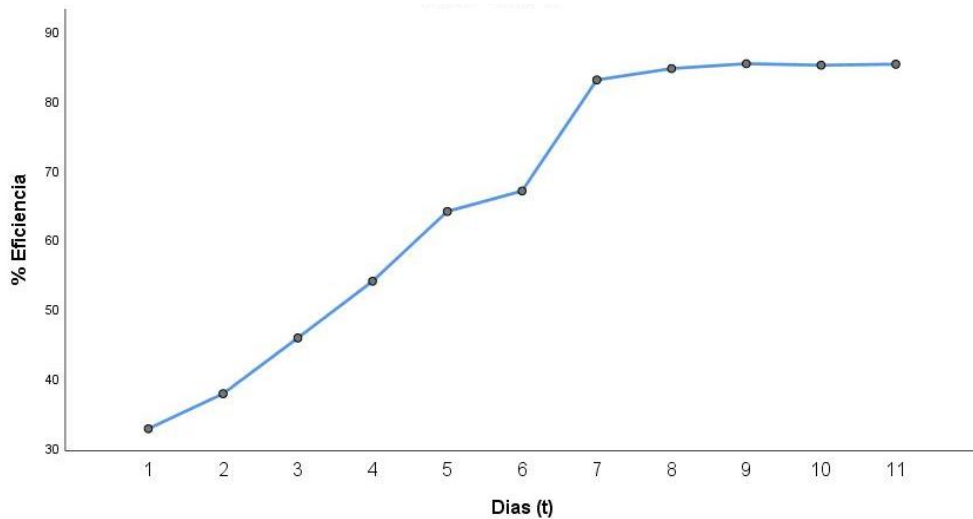
Uno de los reactores con menor remoción de carga contaminante es el reactor con COV de 3 kg DQO/m³-día, observándose en la figura 5 cómo llega a valores mínimos de DQO. Es claro mencionar que mientras el COV disminuye, se aumenta el TRH, de tal manera que los microorganismos presentes en el agua pueden alimentarse por mayor tiempo posible generando eficiencia clave en el reactor. Sin embargo, en el reactor de COV de 5 kg DQO/m³-d, en donde teóricamente tiene menos TRH que el reactor de COV de 8 kg DQO/m³-d, registró menor eficiencia durante el tratamiento. Este detalle podemos atribuírselo a la sobresaturación de los microorganismos presentes en el agua, siendo así su causa probable la reutilización de ciertas aguas para completar inicialmente los 10 L determinados para operar. Según Borja²⁹ que menciona a los lineamientos de la normativa ambiental del Acuerdo Ministerial 097A, los límites permisibles de DQO para el desfogue de efluentes a las masas de agua es de 500 mg/L.³⁰ En los tres reactores se reflejó los valores mínimos de DQO de 423 mg/L, 481 mg/L y 372 mg/L

respectivamente por lo que deducimos que está bajo los límites permisibles dictaminados en la norma mencionada con anterioridad.²⁹

3.2 Eficiencia de remoción de DQO

Estos valores porcentuales nos permiten evidenciar cuál de los tres estudios reflejó los mejores valores de remoción y en la menor cantidad de tiempo de trabajo; es así cómo deducimos las mejores condiciones del reactor.

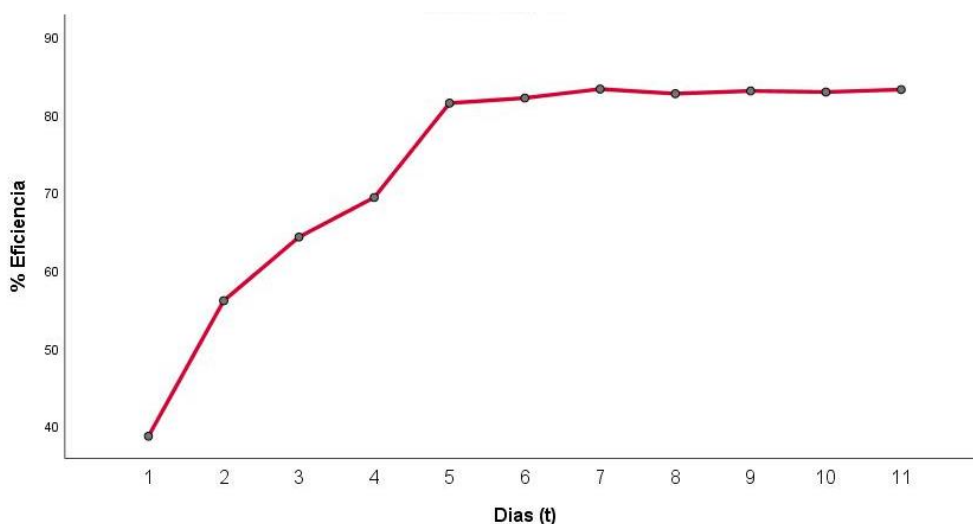
Figura 6. Porcentaje de eficiencia en remoción COV = 8 kg DQO/m³·día



Fuente: Autoría propia

En la figura 6 se representa en sentido ascendente como el reactor con COV = 8, en representación del gráfico 2, cuán eficiente se mostró en las muestras tomadas desde el día 6 hasta el día 17 que se finalizó el proceso; en referencia a la gráfica son el día 1 hasta el día 11 respectivamente. Con relación a la eficiencia y los días de toma de muestra, se evidenció que este reactor llegó a su pico de eficiencia en el día 7 de muestra en donde se refleja una constante numérica en el porcentaje, siendo su valor más elevado el de 85.3% obtenido en el día 9 de muestra. Un valor bastante elevado considerando las condiciones iniciales de tratamiento del reactor.

Figura 7. Porcentaje de eficiencia en remoción COV = 5 kg DQO/m³·día

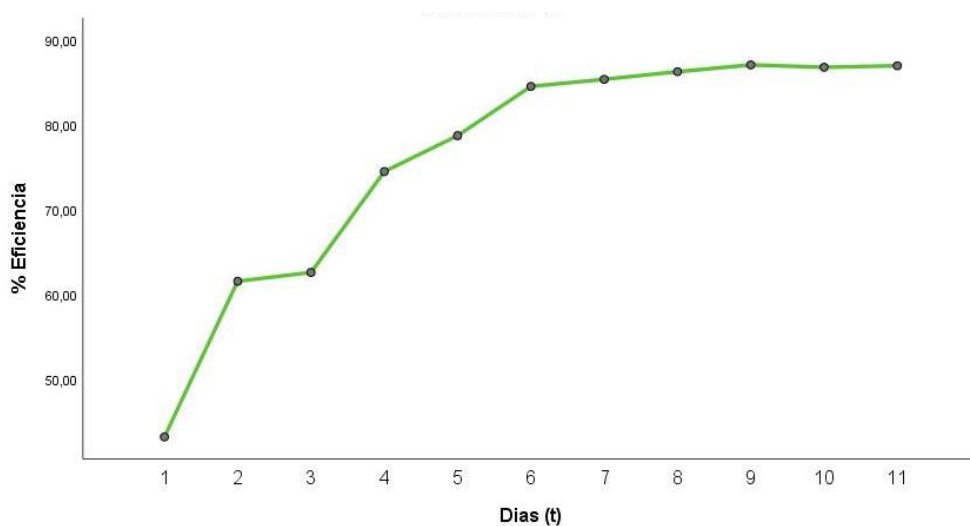


Fuente: Autoría propia

La eficiencia de remoción en el reactor 2 cargado con un COV de 5 presentó un porcentaje máximo de remoción de carga contaminante aceptable referente a otros autores que usan Cargas orgánicas volumétricas similares.

En la figura 7, se evidencia un gran progreso en alcanzar la constante de eficiencia máxima para este reactor, sin embargo, su porcentaje de remoción es el más bajo de los tres llegando a un pico de 83,3%.

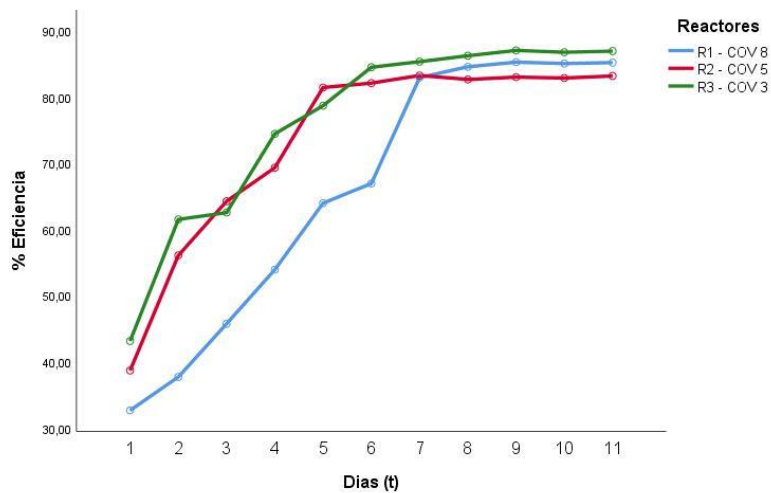
Figura 8. Porcentaje de eficiencia en remoción COV = 3 kg DQO/m³·día



Fuente: Autoría propia

Observando la figura 8, se destaca una eficiencia mayor al 60% en apenas el día 2 de muestra, sin embargo no mantiene ese crecimiento alcanzando su pico de remoción en el día 6 de muestra, difiriendo de los otros dos reactores. A pesar de este cambio se alcanzó un elevado porcentaje de remoción, 87.1%, siendo el primero de los tres durante este periodo de tratamiento.

Figura 9. Eficiencia de los tres reactores



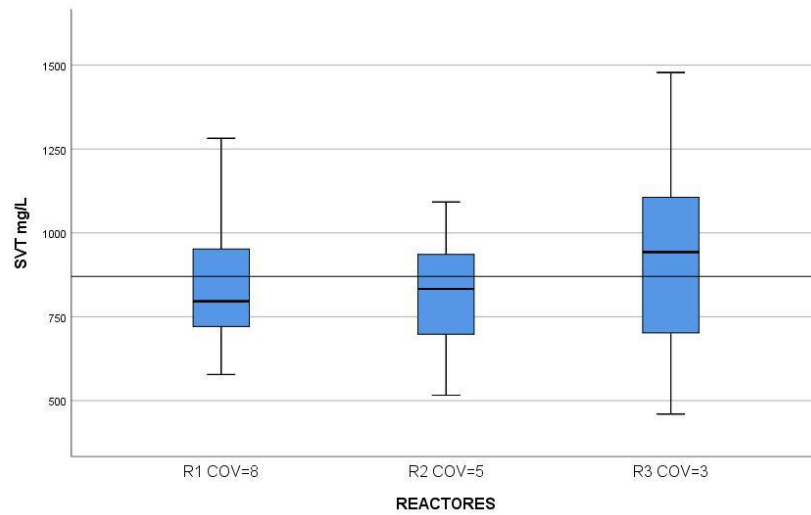
Fuente: Autoría propia

En la figura 9 se observa en comparación de la eficiencia de los tres reactores, evidenciándose como el que posee un COV de 3 llega al máximo de remoción que soporta. Según³¹, alcanzaron un máximo de eficiencia en remoción de DQO de 44.4% en el tratamiento de agua residual doméstica utilizando la reacción de Fentón y también³², utilizaron un Reactor Anaerobio Granular de Flujo Ascendente, o sus siglas en ingles UASB, registrando una eficiencia en sus valores de DQO de un máximo de 57% en aguas municipales. En retrospectiva se ha conseguido una elevada eficiencia en remoción de DQO del agua residual del camal utilizando la técnica MBBR para este estudio.

3.3 Análisis de sólidos volátiles totales

La lectura del p-valor para sólidos volátiles (0,741) demuestra que no existen diferencias significativas entre los reactores, presentando similitudes en sus medias. Se interpreta que las diferentes COV aplicadas no generaron efecto en la cantidad de SVT acumulados en los reactores. Es decir, al utilizar cualquier COV, generan cantidades similares de SVT como podemos evidenciar en la figura 10.

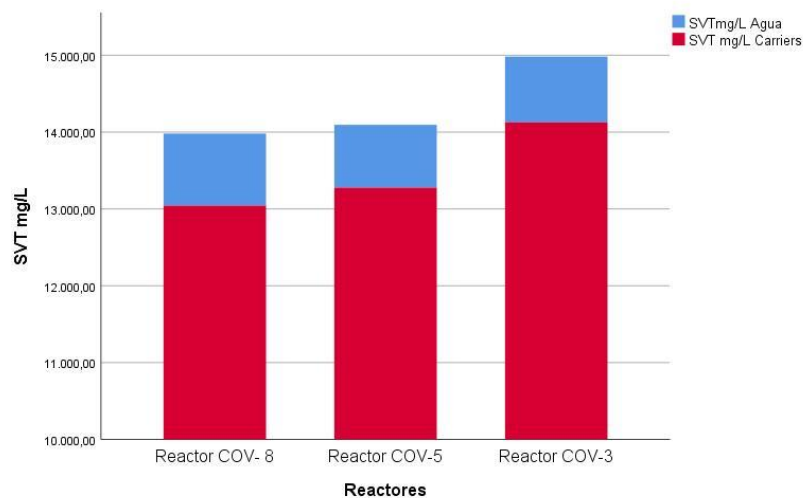
Figura 10. Sólidos volátiles totales (SVT)



Fuente: Autoría propia

Según³³, a medida que el tiempo de retención hidráulica disminuye hay aumento en los valores de SVT, caso contrario a nuestros reactores que a medida que el TRH aumenta, la cantidad de SVT también lo hace como se puede observar en la figura 10, esto se debe a la inferencia del tiempo en cuanto al crecimiento microbiano y eliminación de carga contaminante dentro del sistema MBBR.

Figura 11. (SVT) Relación Agua - Carriers



Fuente: Autoría propia

La cantidad de biomasa adherida en los portadores en relación con el agua tratada es muy notable ya que estos son agares portadores de conglomerados de microorganismos, a medida que se aumenta TRH el crecimiento en la fase estacionaria aumenta, y con esto aumenta la eficiencia de remoción de materia biodegradable de los reactores aerobios, como se detalla en la figura 11, además de poder observar detalladamente en las figuras 12 y 13, como la biomasa se adhirió a los carriers en gran medida.

Figura 12. Portadores de Biomasa



Fuente: Autoría propia

Figura 13. Muestra de portadores de biomasa

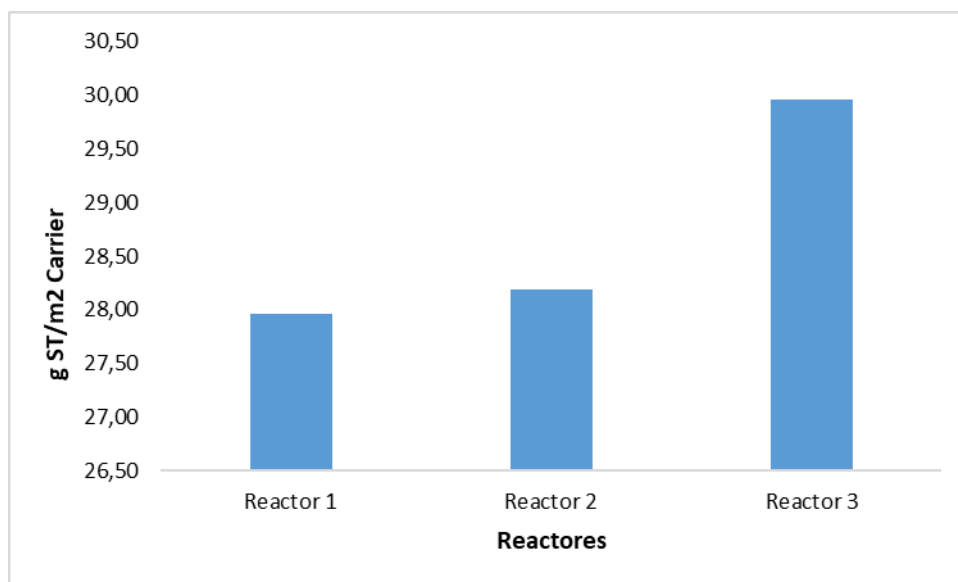


Fuente: Autoría propia

3.4 Sólidos volátiles por carrier

En la figura 14 se aprecia de mejor manera la proporción de biomasa adherida a los carrier en relación con las dimensiones de estos, (área superficial del carrier es $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$). Confirmando lo observado en las figuras 12 y 13, además de constatar con lo mencionado por Nava *et al*⁶⁴, que en sus estudios confirmaron que la biomasa adherida para el tratamiento de aguas domésticas es de un aproximado de 4 y 9 g SVT/ m^2 , obteniendo nosotros en los reactores 1, 2 y 3 los datos de 27,96 g SVT/ m^2 , 28,19 g SVT/ m^2 y 29,96 g SVT/ m^2 respetivamente.

Figura 14. Sólidos totales por m^2 de carrier



Fuente: Autoría propia

CONCLUSIONES

Durante el periodo de estudio en los laboratorios de la UTMACH, se evidenció la fortaleza de la tecnología MBBR aplicada al tratamiento de aguas residuales que se generan en el camal de Pasaje.

Se planteó el desarrollo de la investigación a escala de laboratorio siendo los parámetros de operación 10 L de efluente, 40% de carriers en el reactor y, los COV correspondientes de 8, 5 y 3 kg DQO/m³·día. Los resultados generados a lo largo de la investigación proyectan que la tecnología MBBR en el tratamiento de este efluente, es óptimo.

La determinación de tres diferentes valores en el COV sirvió para la implementación de los tres reactores experimentales y generar la mayor cantidad de resultados que ayudaron a la evaluación de esta tecnología MBBR. El reactor 1 con un COV = 8 kg DQO/m³·día, el reactor 2 con un COV = 5 kg DQO/m³·día y el reactor 3 con un COV = 3 kg DQO/m³·día, fueron las unidades experimentales en este trabajo.

En cada uno de los reactores, inicialmente se dejó trabajar en Bach, para permitir a los microorganismos reproducirse y crecer adecuadamente. Desde el arranque hasta el final del proceso, existió registro de 27,96 g SVT/m² carrier, 28,19 g SVT/m² carrier y 29,96 g SVT/m² carrier en los reactores 1, 2 y 3 respectivamente. Esos valores de SVT es considerablemente alto, teniendo de referencia estudios de aguas domésticas en los que no superaban los 10 g SVT/m² carrier, teniendo así un crecimiento aproximando al 300%.

Los microorganismos tienen un papel fundamental en la reducción de carga contaminante, debido a que en el reactor con mayor presencia bacteriana, alcanzó valores de DQO dentro los límites permisibles. La DQO inicial del proceso fue de 2874 mg/L y, en los reactores 1, 2 y 3 llegaron a picos mínimos en sus valores los cuales fueron de 423 mg/L, 481 mg/L y 372 mg/L de DQO respectivamente, en donde se representa con el 85,3%, 83,3% y 87,1% del mismo orden. En diversos estudios, estos porcentajes de remoción no superaban porcentajes del 60% en condiciones similares, resultando en una gran ventaja de la tecnología MBBR. El TULSMA establece un límite de DQO para efluentes al alcantarillado de 500 mg/L, registrando en los tres reactores de este trabajo valores inferiores, siendo apta para su dirección de alcantarillado.

Finalmente, el COV tiene una influencia en valores de DQ, siendo en este estudio el valor mínimo de COV = 3 kg DQO/m³·día con registros altos de eficiencia y remoción, siendo para estas aguas, con un DQO inicial de 2874 mg/L y 10 L de volumen por reactor, el COV óptimo e influyente.

RECOMENDACIONES

El desarrollo de esta investigación necesita de aguas residuales libres de residuos sólidos de tamaño exagerado y agentes químicos espumantes como lo es el detergente y desinfectante comercial usado en la limpieza de suelos y paredes. Los reactores trabajan con la constante agitación de los carriers, provocando estos agentes químicos una espuma espesa y abundantes que provoca la salida por densidad de los carriers. Es importante que el agua residual que ingrese sea tratada antiespumantes para evitar esta interferencia.

Durante este experimento por estancamiento del agua residual tratada insectos como mosquitos y mosquillas depositaron sus huevos, generando durante un periodo el crecimiento de gusanos que procedían a comerse la materia biodegradable del agua que es analizada por el método de SVT, alterando sus resultados. Se debe tener un control del agua residual generada y verificar que en el ambiente no exista presencia de los insectos antes mencionados.

En esta investigación, la cantidad de análisis presenta una clara desventaja para tener una certificación mayor de las muestras y establecer veredictos más completos del estudio requiriendo más análisis como DBO5, Sólidos suspendidos totales y, floculación y coagulación.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Obotey Ezugbe, E.; Rathilal, S. Membrane Technologies in Wastewater Treatment: A Review. *Membranes* **2020**, *10* (5), 89. <https://doi.org/10.3390/membranes10050089>.
- (2) Mero, J. D. Z.; Párraga, A. G. D.; Mero, E. T. Z.; Villafuerte, S. L. P. Contaminantes biológicos presentes en fuentes de agua del centro-sur de la provincia de Manabí, Ecuador. *Siembra* **2022**, *9* (2), e4011–e4011. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.4011>.
- (3) Cando, C. Estadística de Información Ambiental Económica En Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales. *Inst. Nac. Estad. Censos Quito* **2017**.
- (4) Medina-Valderrama, C.; Uriarte-Tirado, W.; Cardenas-Vásquez, E.; Orrego-Zapo, S. Tratamiento de Aguas Residuales de Camales Mediante Tecnologías Avanzadas de Oxidación: Proceso Fenton. *Rev. Ing. UC* **2020**, *27* (2), 165–174.
- (5) Peña, S.; Mayorga, J.; Montoya, R. Propuesta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Yaguachi (Ecuador). *Cienc. E Ing.* **2018**, *39* (2), 161–167. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=507557606007>.
- (6) Madan, S.; Madan, R.; Hussain, A. Advancement in Biological Wastewater Treatment Using Hybrid Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR): A Review. *Appl. Water Sci.* **2022**, *12* (6), 141. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01662-y>.
- (7) Díaz-Cuenca, E.; Alavarado-Granados, A. R.; Camacho-Calzada, K. E. 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 (SUTRANE) En San Miguel Almaya, México. *Quivera Rev. Estud. Territ.* **2012**, *14* (1), 78–97.

- (8) González-Jiménez, Y.; Villalobos-Morales, J.; González-Jiménez, Y.; Villalobos-Morales, J. Manejo ambiental de residuos orgánicos: Estado del arte de la generación de compostaje a partir de residuos sólidos provenientes de sistemas de trampas de grasa y aceite. *Rev. Tecnol. En Marcha* **2021**, *34* (2), 11–22. <https://doi.org/10.18845/tm.v34i2.4843>.
- (9) Centeno Calderón, L. G.; Quintana Díaz, A.; López Fuentes, F. L. Efecto de Un Consorcio Microbiano En La Eficacia Del Tratamiento de Aguas Residuales, Trujillo, Perú. *Arnaldoa* **2019**, *26* (1), 433–446. <https://doi.org/10.22497/arnaldoa.261.26123>.
- (10) Mendoza, Y. I.; I. Pérez, J.; Galindo, A. A.; Mendoza, Y. I.; I. Pérez, J.; Galindo, A. A. Evaluación Del Aporte de Las Plantas Acuáticas Pistia Stratiotes y Eichhornia Crassipes En El Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. *Inf. Tecnológica* **2018**, *29* (2), 205–214. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000200205>.
- (11) Ibagón-Gutiérrez, L. M. Exergy Use Review of Wastewater Study in Latin America. *DYNA* **2021**, *88* (216), 170–175. <https://doi.org/10.15446/dyna.v88n216.89054>.
- (12) Medina-Herrera, M. del R.; Negrete-Rodríguez, M. de la L. X.; Gámez-Vázquez, F. P.; Álvarez-Bernal, D.; Conde-Barajas, E.; Medina-Herrera, M. del R.; Negrete-Rodríguez, M. de la L. X.; Gámez-Vázquez, F. P.; Álvarez-Bernal, D.; Conde-Barajas, E. LA APLICACIÓN DE LODOS RESIDUALES AFECTA, A CORTO PLAZO, LA BIOMASA MICROBIANA Y SU ACTIVIDAD EN SUELOS SÓDICOS. *Rev. Int. Contam. Ambient.* **2020**, *36* (3), 577–591. <https://doi.org/10.20937/rica.53425>.
- (13) Duque-Sarango, P.; Heras-Naranjo, C.; Lojano-Criollo, D.; Vilorio, T. Modelamiento Del Tratamiento Biológico de Aguas Residuales; Estudio En

- Planta Piloto de Contactores Biológicos Rotatorios. *Rev. Cienc. UNEMI* **2018**, 11 (28), 88–96. <http://dx.doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol11iss28.2018pp88-96p>.
- (14) Ribeiro, T. B.; da Silva Lobato, L. C.; de Souza, S. N.; Pegorini, E. S.; de Lemos Chernicharo, C. A. Contribución para el perfeccionamiento del diseño, la construcción y la operación de reactores UASB aplicados al tratamiento de aguas residuales urbanas–Parte 2: Tratamiento preliminar, bombeo y distribución de caudal. *Abril 2019* **2018**, 66 (214), 13. <https://doi.org/10.4322/dae.2018.039es>.
- (15) Arciniega Tenemaza, A. E.; Salazar Chacha, J. P. Diseño de la planta de tratamiento de agua residual mediante lodos activados para la Comunidad de Pesillo, parroquia Olmedo. **2021**.
- (16) Pimentel, G.; Flores, R.; Alfaro, Y.; Villarreal, D.; Cruz, A. de la. Aplicación de bacterias benéficas como modelo experimental para la reducción de sólidos y conductividad en aguas residuales. *Rev. Iniciación Científica* **2018**, 4, 57–61. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1821>.
- (17) Muruganandam, L.; Kumar, M. P. S.; Jena, A.; Gulla, S.; Godhwani, B. Treatment of Waste Water by Coagulation and Flocculation Using Biomaterials. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* **2017**, 263 (3), 032006. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/263/3/032006>.
- (18) Bassin, J. P.; Dias, I. N.; Cao, S. M. S.; Senra, E.; Laranjeira, Y.; Dezotti, M. Effect of Increasing Organic Loading Rates on the Performance of Moving-Bed Biofilm Reactors Filled with Different Support Media: Assessing the Activity of Suspended and Attached Biomass Fractions. *Process Saf. Environ. Prot.* **2016**, 100, 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2016.01.007>.

- (19) Pratiwi, R.; Notodarmojo, S.; Helmy, Q. Decolourization of Remazol Black-5 Textile Dyes Using Moving Bed Bio-Film Reactor. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* **2018**, *106*, 012089. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/106/1/012089>.
- (20) Dargahi, A.; Shokoohi, R.; Asgari, G.; Ansari, A.; Nematollahi, D.; Reza Samarghandi, M. Moving-Bed Biofilm Reactor Combined with Three-Dimensional Electrochemical Pretreatment (MBBR–3DE) for 2,4-D Herbicide Treatment: Application for Real Wastewater, Improvement of Biodegradability. *RSC Adv.* **2021**, *11* (16), 9608–9620. <https://doi.org/10.1039/D0RA10821A>.
- (21) Peitz, C.; Xavier, C. R. Moving Bed Biofilm Reactor for Treatment of Kraft Pulp Effluent with High Organic Load Rate. *Rev. Ambiente Água* **2020**, *15*. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2512>.
- (22) di Biase, A.; Kowalski, M. S.; Devlin, T. R.; Oleszkiewicz, J. A. Moving Bed Biofilm Reactor Technology in Municipal Wastewater Treatment: A Review. *J. Environ. Manage.* **2019**, *247*, 849–866. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.053>.
- (23) Villanueva, D.; Salazar, M. Formación de Biopelículas Por *Listeria Monocytogenes* Aisladas de Queso Fresco de Mercados Del Cercado de Lima. *An. Fac. Med.* **2017**, *78* (3), 322–325. <https://doi.org/10.15381/anales.v78i3.13768>.
- (24) Paredes, C. A. M.; Mendoza, B. F. R.; Moreira, S. E. G. Digestión anaerobia de las aguas residuales de la industria del café instantáneo. *Rev. ESPAMCIENCIA* ISSN 1390-8103 **2018**, *9* (1), 23–31. https://doi.org/190.15.136.171/index.php/Revista_ESPAMCIENCIA/article/view/152.
- (25) 5210 Biochemical Oxygen Demand (Bod). In *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*, Standard Methods for the Examination

- of Water and Wastewater; American Public Health Association, 2017.
<https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.102>.
- (26) 5220 Chemical Oxygen Demand (Cod). In *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; American Public Health Association, 2017.
<https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.103>.
- (27) Bolaños-Alfaro, J. D.; Cordero-Castro, G.; Segura-Araya, G.; Bolaños-Alfaro, J. D.; Cordero-Castro, G.; Segura-Araya, G. Determinación de nitritos, nitratos, sulfatos y fosfatos en agua potable como indicadores de contaminación ocasionada por el hombre, en dos cantones de Alajuela (Costa Rica). *Rev. Technol. En Marcha* **2017**, 30 (4), 15–27. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i4.3408>.
- (28) 2540 Solids. In *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*; Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; American Public Health Association, 2017. <https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.030>.
- (29) Borja, D.; Llangarí, K. S.; Moina, H. B. Cuantificación de efluentes de aguas residuales del Camal Frigorífico Riobamba. *Cienc. Digit.* **2019**, 3 (2), 783–794. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v3i2.497>.
- (30) TULSMA. Norma De Calidad Ambiental y Descarga de Efluentes: Recurso Agua. *Minist. Ambiente Agua Transic. Ecol.* **2015**, ANEXO 1, 32.
- (31) Sánchez Proaño, R. G.; García Gualoto, K. J.; Sánchez Proaño, R. G.; García Gualoto, K. J. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CARGAS INDUSTRIALES CON OXIDACIÓN AVANZADA EN SISTEMAS CONVENCIONALES. *GRANJA Rev. Cienc. Vida* **2018**, 27 (1), 103–111. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.08>.

- (32) Salazar-Larrota, L.; Uribe-García, L.; Gómez-Torres, L.; Zafra-Mejía, C. Analysis of the Efficiency of UASB Reactors in a Municipal Wastewater Treatment Plant. *DYNA* **2019**, *86* (209), 319–326. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.70332>.
- (33) Pereira, E. R. Desempenho e caracterização microbiana do processo de dois estágios com reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) tratando águas residuárias de suinocultura. text, Universidade de São Paulo, 2004. <https://doi.org/10.11606/D.18.2004.tde-26022007-170703>.
- (34) Nava Urrego, L. M.; Gasperín Sánchez, R.; Durán Moreno, A. Comparación de un reactor de biomasa suspendida y un reactor de biomasa adherida para la biodegradación de compuestos tóxicos presentes en aguas residuales de refinerías de petróleo. *Rev. Int. Contam. Ambient.* **2014**, *30* (1), 101–112.

ANEXOS

Anexo 1. Dimensionamiento de reactores



Fuente: Autoría propia

Anexo 2. Tanque reservorio de 100L con Sol. Nutrientes



Fuente: Autoría propia

Anexo 3. Inicio del tratamiento de los reactores 1, 2 y 3



Fuente: Autoría propia

Anexo 4. Reactor 1 con 5 días en Bach



Fuente: Autoría propia

Anexo 5. Reactores con caudal y tiempo de retención hidráulica controlado



Fuente: Autoría propia

Anexo 6. Muestra de análisis para DQO



Fuente: Autoría propia

Anexo 7. Preparación de la muestra en viales HR



Fuente: Autoría propia

Anexo 8. Lectura DQO en equipo Hach DR1900



Fuente: Autoría propia

Anexo 9. Lectura de pH en los reactores



Fuente: Autoría propia

Anexo 10. Muestreo para el análisis de SVT



Fuente: Autoría propia

Anexo 111. Fundición de muestras para SVT



Fuente: Autoría propia

Anexo 12. Peso de cápsulas con ceniza



Fuente: Autoría propia

Anexo 13. Crecimiento microbiano dentro de los portadores MBBR



Fuente: Autoría propia

Anexo 14. Análisis de efluente realizado por ETAPA EP

LABORATORIO DE SANEAMIENTO Panamericana Norte Km. 5 y 1/2. - Cuenca Telf : 4175568	Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE con Acreditación N° SAE LEN 06-004	INFORME DE RESULTADOS Página 1 de 1
---	--	---

INFORME N°: 529/01/22

FECHA: 27/12/2022

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE

NOMBRE: SANMARTIN GALVAN HOOVER MANUEL
 SOLICITADO POR: SR. HOOVER SANMARTIN
 DIRECCIÓN: JORGE SANCHEZ 28-06 Y PADRE JUAN PALOMINO


MUESTRA
 CÓDIGO: 529/01/22
 DESCRIPCIÓN (Fuente): EFLUENTE DE PROCESO
 PROCEDENCIA (Lugar): CAMAL PORCINO Y BOVINO
 FECHA DE RECEPCIÓN: 20/12/2022
 ENTREGADAS EN EL LABORATORIO POR: SR. HOOVER SANMARTIN

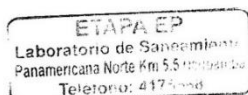
RESULTADOS

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA REALIZACIÓN	UNIDAD	AGUA CAMAL FAENA 529/01/22
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO	PEE/LS/FQ/06	20/12/2022	mg/l	2447
* NITROGENO AMONICAL	SM 4500 NH3 C	20/12/2022	mg/l	133.04
* NKT	SM 4500 NORG B	22/12/2022	mg/l	619.74
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	PEE/LS/FQ/04	20/12/2022	mg/l	2410
* SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES VOLATILES	SM 2540 E	21/12/2022	mg/l	2130

Parámetros	DQO rango bajo	DQO rango alto	SOL. SUSP TOTALES
Incertidumbre	20.71% 95% k=2	15.18% 95% k=2	19.99% 95% k=2

Atentamente,


 BGF. María José Chávez T.
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO



- Los resultados contenidos en el presente informe solo afectan a los objetos sometidos al ensayo.
- Este informe no deberá reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio.
- "Los ensayos marcados con (*) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE"
- El laboratorio se descarga de responsabilidad debido a que la información del objeto de ensayo es proporcionada íntegramente por el cliente.
- Los resultados son aplicados a la muestra tal y como se recibió.
- La Declaración de conformidad queda excluida del informe de resultados.
- El Laboratorio es responsable de la gestión de toda la información obtenida por el cliente y será tratada como estrictamente confidencial.

MC0406-16

Fuente: ETAPA EP (2022).