



Universidad Nacional
SAN LUIS GONZAGA



[Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0)

Esta licencia permite que otros distribuyan, mezclen, adapten y construyan sobre su trabajo, incluso comercialmente, siempre que le reconozcan la creación original. Esta es la licencia más complaciente que se ofrece. Recomendado para la máxima difusión y uso de materiales con licencia.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



UNIVERSIDAD NACIONAL SAN LUIS GONZAGA
EVALUACION DE ORIGINALIDAD

ATIT_2024-FIAS-034

CONSTANCIA

El que suscribe, deja constancia que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud al documento cuyo título es:

""MEDICIÓN DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO EN UN REACTOR BACH EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES BOCA DEL RIO, PISCO""

Presentado por:

SARAVIA SARAVIA, YOSELYN

Autor(a) del nivel PREGRADO de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria El resultado obtenido es **PORCENTAJE DE SIMILITUD del 3%** por el cual se otorga el calificativo de:

APROBADO,

Según Reglamento de Evaluación de la Originalidad

Con CÓDIGO DE MATRÍCULA N° **20153718**

Se adjunta al presente el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 25 de Marzo del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
Dr. Domingo Jesús Cabel Moscoso
DIRECTOR



UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA



**“MEDICIÓN DEL COEFICIENTE DE TRANSFERENCIA DE
OXÍGENO EN UN REACTOR BACH EN LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES BOCA DEL RIO,
PISCO”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL:
CIENCIAS NATURALES, INGENIERÍA Y TECNOLOGÍAS SOSTENIBLES

TESIS:
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

Presentado Por:
Bach. SARAVIA SARAVIA YOSELYN

Asesor:
Dr. PEDRO CORDOVA MENDOZA

ICA – PERÚ

2024

DEDICATORIA

A mi **madre Aida**; mi compañera, quien ha sido mi más grande apoyo en el transcurso de mi carrera profesional, la que me forjó los valores que hoy en día tengo, la que día a día se preocupa por mi bienestar y la que siempre estará para mí cuando lo necesite.

A mi **padre Jorge**, por todo el sacrificio que hizo para poder brindarme estudios, por esas madrugadas que salió a acompañarme a la terminal para poder asistir a la universidad y por siempre velar por mí donde sea que me encuentre.

A mis **hermanas Evelyn y Ruddy**, mi **prima Milagros** a quien considero una hermana más, por sus palabras de aliento, motivación y consejos para seguir adelante e impulsarme a culminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida

AGRADECIMIENTO

Mi **agradecimiento a Dios** que me da las fuerzas para seguir adelante todos los días y que guía mi camino para seguir logrando mis objetivos, así como también por darme la **sabiduría para mejorar y seguir creciendo profesional y personalmente.**

A mi **familia y amigos**, por haber confiado en mí para poder culminar esta etapa, **agradezco a la Universidad Nacional San Luis Gonzaga**, en especial a **los docentes de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria** quienes fueron parte fundamental de mi formación profesional, les agradezco toda experiencia compartida.

A mi **asesor de tesis, el Dr. Pedro Córdoba Mendoza**, por la oportunidad de ser mi guía para culminar con esta investigación.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE DE CONTENIDO	iv
INDICE DE TABLAS	vi
INDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
SUMMARY	ix
I. INTRODUCCIÓN	10
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA	13
1.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.2.1. Antecedentes Internacionales	14
1.2.2. Antecedentes nacionales.....	17
1.3. BASES TEÓRICAS	19
1.3.1. Transferencia de oxígeno gaseoso al agua	19
1.3.2. Coeficientes de transferencia de masa.....	19
1.3.3. Aspectos microbiológicos de la calidad del agua.....	21
1.3.4. Reactor Bach	21
1.3.5. Tratamiento de aguas residuales.....	23
1.3.6. Aguas residuales domesticas	23
1.3.7. Demanda bioquímica de oxígeno	24
1.3.8. Demanda química de oxígeno	24
1.3.9. Tratamiento secundario – Proceso biológico	24
1.3.10. Procesos de Oxidación Biológica.....	25
1.3.11. Coeficiente de transformación (f).....	25
1.3.12. Medición del Coeficiente de Transferencia de Oxígeno (Kla).....	26
1.3.13. Velocidad de Utilización de Oxígeno (VUO)	26
1.3.14. Bacterias	27
1.4. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	27
1.4.1. Problema general.....	28
1.4.2. Problemas específicos	28
1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	28
1.5.1. Objetivo principal.....	28
1.5.2. Objetivos Específicos	29
1.6. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	29
1.6.1. Hipótesis principal.....	29
1.6.2. Hipótesis Específicas.....	29
1.6.3. Variables de investigación.....	29
1.7. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	30
1.7.1. Justificación.....	30
1.7.2. Importancia.....	32
1.8. DEFINICIONES CONCEPTUALES	32
1.8.1. Tratamiento Aerobio	32
1.8.2. Proceso de lodos activos.....	33

1.8.3.	Aireación Prolongada.....	33
1.8.4.	Reactores aerobios.....	34
1.8.5.	Aguas Residuales	34
1.8.6.	Recirculación.....	34
1.8.7.	Carga orgánica.....	34
1.8.8.	Tiempo de retención hidráulico (TRH).....	35
1.9.	MARCO LEGAL.....	35
1.9.1.	La Constitución Política de 1993.	35
1.9.2.	Ley General de Aguas (D.S. N°17752), D.S. 261-69-AP.....	36
1.9.3.	Varias normas legales.....	36
II.	ESTRATEGIA METODOLOGICA.....	37
2.1.	ÁREA DE ESTUDIO.....	37
2.2.	MÉTODOS	38
2.2.1.	Tipo, nivel y diseño de investigación.....	38
2.2.2.	Población y muestra	40
2.2.3.	Técnicas de recolección de datos	40
2.2.4.	Instrumentos de recolección de datos.....	41
2.2.5.	Técnicas de procesamiento de datos.....	42
2.2.6.	Interpretación de los resultados	42
2.3.	MATERIALES	42
III.	RESULTADOS.....	46
3.1.	Fundamentar la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno” en un reactor bach y la velocidad del oxígeno disuelto “en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco	46
3.2.	Determinar el tiempo de permanencia de la carga orgánica en el reactor bach y velocidad del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco	52
IV.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	62
4.1.	Discusión de resultado de la fundamentación de” la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno” en un reactor bach y la velocidad del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco.....	62
4.2.	Discusión de resultado sobre el tiempo de permanencia de la carga orgánica en el reactor bach y velocidad del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco.	62
4.3.	Discusión de resultados de la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor bach y la reducción de la carga orgánica en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco.....	63
V.	CONCLUSIONES	65
VI.	RECOMENDACIONES	66
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Coeficientes de Transformación	25
Tabla 2.	Categorización de bacterias en función del intervalo de temperaturas [23].	27
Tabla 3.	Plan de muestreo [2]	45
Tabla 4.	Caracterización del afluente de las JS-PTAR-Boca del Rio.....	49
Tabla 5.	Caracterización del JS-PTAR-Boca del Rio.....	51
Tabla 6.	Caracterización de la DBO ₅ en el Reactor Bach	53
Tabla 7.	Resultado del tiempo de permanencia de la carga orgánica en el reactor Bach y velocidad del oxígeno disuelto	53
Tabla 8.	Muestra 1, 21.08.2023 (24 horas) toma de muestra 10:00 a.m.	55
Tabla 9.	Muestra 2, 22.08.2023 (48 horas) toma de muestra 10:00 a.m.	55
Tabla 10.	Muestra 3, 23.08.2023 (72 horas) toma de muestra 10:00 a.m.	56
Tabla 11.	Muestra 4, 24.08.2023 (96 horas) toma de muestra 10:00 a.m.	57
Tabla 12.	Muestra 5, 25.08.2023 (120 horas) toma de muestra 10:00 a.m.	57
Tabla 13.	Días de experimentación vs DBO ₅	59
Tabla 14.	Días de experimentación vs DBO ₅	60

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Transferencia de oxígeno a través de la doble película.....	20
Figura 2.	Variación de la Concentración de Oxígeno Disuelto en Reactor de Lodos Activados, al suspender y restablecer la aireación.....	26
Figura 3.	Wastewater Treatment Plant - Boca del Rio	37
Figura 4.	Descarga de efluente PTAR Boca de Rio	38
Figura 5:	Diseño Experimental	39
Figura 6.	Wastewater Treatment Plant - Boca del Rio	43
Figura 7.	Reactor Bach a escala de laboratorio	46
Figura 8.	Planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco	48
Figura 9.	Ubicación de la medición en tiempo real de la toma de muestra a la entrada de aguas residuales a la planta de tratamiento.....	48
Figura 10.	Recojo de muestras de aguas residuales al ingreso de la planta de tratamiento.....	49
Figura 11.	Ubicación donde se realiza la medición de las aguas residuales que fluyen hacia el río Pisco	50
Figura 12.	Oxígeno Disuelto para 24 horas, con un VUO de (-0.1424).....	55
Figura 13.	Oxígeno Disuelto para 48 horas, con un VUO de (-0.1364).....	56
Figura 14.	Oxígeno Disuelto para 72 horas, con un VUO de (-0.1222).....	56
Figura 15.	Oxígeno Disuelto para 96 horas, con un VUO de (-0.1135).....	57
Figura 16.	Oxígeno Disuelto para 96 horas, con un VUO de (-0.1009).....	58
Figura 17.	kLa vs Oxígeno disuelto.....	59
Figura 18.	Días de permanencia vs Oxígeno disuelto	61

RESUMEN

Objetivo, fue determinar el tiempo de permanencia de la carga orgánica en el reactor Bach que influye significativamente en la velocidad del oxígeno disuelto “en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río”, Pisco. **Estrategia metodológica**, el estudio realizado de tipo observacional-prospectivo-longitudinal, que implicó la recopilación de datos a partir de mediciones directas en el reactor, utilizando aguas residuales procedentes de la planta de tratamiento. Estos datos se analizaron a través de análisis de regresión lineal y análisis de regresión simple para comprender la relación entre el kLa y la carga orgánica. **Resultados**, los resultados obtenidos revelaron una correlación significativa entre el kLa y la carga orgánica, con un alto coeficiente de determinación (R^2) de 0.8678, lo que equivale al 86.78%. La velocidad de transferencia de oxígeno se mostró como un factor clave en la eficiencia de la remoción de contaminantes en el proceso. **Discusión**, resaltó la importancia de mantener una adecuada disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua y cómo esto afecta la eficacia de los procesos biológicos de tratamiento. **Conclusión**, de la investigación enfatizaron que la medición del kLa es esencial para optimizar la eficiencia de las aguas residuales proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales. Se recomienda que se realicen mediciones regulares de kLa y que se monitoree cuidadosamente la disponibilidad de oxígeno disuelto para mejorar la eficacia en la remoción de contaminantes. Además, se sugiere la consideración de factores como la temperatura y la variabilidad del kLa en diferentes tipos de aguas residuales.

Palabras Claves: *Coeficiente de transferencia de oxígeno, reactor Bach; velocidad de consumo de oxígeno.*

SUMMARY

Objective, was to determine the residence time of the organic load in the Bach reactor that significantly influences the rate of dissolved oxygen "in the Boca del Río wastewater treatment plant", Pisco. **Methodological strategy**, the research was carried out in an observational, prospective and longitudinal approach, involving data acquisition through direct measurements in the reactor using wastewater from the treatment plant. These data were subsequently subjected to a linear regression analysis and a simple regression analysis in order to understand the correlation between the oxygen transfer coefficient (kLa) and the organic load. **Discussion**, highlighted the importance of maintaining adequate availability of dissolved oxygen in water and how this affects the effectiveness of biological treatment processes. **Conclusion**, of the research emphasized that the measurement of kLa is essential to optimize the efficiency of wastewater from the wastewater treatment plant. It is recommended that regular kLa measurements be made and dissolved oxygen availability carefully monitored to improve contaminant removal efficiency. Furthermore, the consideration of factors such as temperature and kLa variability in different types of wastewater is suggested.

Keywords: *Oxygen transfer coefficient, Bach reactor; rate of oxygen consumption.*

I. INTRODUCCIÓN

El tratamiento eficiente de las aguas residuales es un desafío crítico en la gestión ambiental y la preservación de recursos hídricos de calidad. Las aguas residuales industriales y municipales a menudo contienen una variedad de contaminantes, incluyendo materia orgánica biodegradable, sólidos suspendidos y compuestos químicos que pueden ser perjudiciales para los ecosistemas acuáticos y la salud humana si no se tratan adecuadamente. En este contexto, la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río en Pisco, Perú, desempeña un papel fundamental en la protección y conservación del medio ambiente local y regional.

Uno de los aspectos críticos en el proceso de tratamiento de aguas residuales es la oxigenación adecuada de los reactores biológicos, ya que esto influye directamente en lo que respecta a la efectividad en la eliminación de sustancias contaminantes. La presencia de oxígeno disuelto en el agua resulta fundamental para el desarrollo y la funcionalidad de los microorganismos encargados de degradar la materia orgánica presente en las aguas residuales. Para medir y controlar eficazmente la oxigenación en el proceso de tratamiento, es esencial conocer el coeficiente de transferencia de oxígeno (KLa) en el reactor utilizado.

El reactor Bach, ampliamente utilizado en plantas de tratamiento de aguas residuales, es un componente crítico en la operación de la planta de Boca del Río. Sin embargo, la optimización de su rendimiento y la maximización de la eficiencia en la remoción de contaminantes requieren una comprensión profunda de cómo se transfiere el oxígeno en el sistema. El valor del coeficiente de transferencia de oxígeno (KLa) es un indicador fundamental que ofrece datos relevantes sobre la capacidad del reactor para suministrar oxígeno a los microorganismos y, por lo tanto, sobre su capacidad para tratar eficazmente las aguas residuales.

El propósito de esta investigación es llevar a cabo una medición precisa y detallada del coeficiente de transferencia de oxígeno (KLa) en el reactor Bach de la instalación de tratamiento de aguas residuales Boca del Río en Pisco. Este estudio tiene como objetivo

proporcionar información valiosa que permita optimizar el rendimiento del reactor, mejorar la eficiencia en la remoción de contaminantes y contribuir a la gestión sostenible de los recursos hídricos en la región.

La medición precisa del coeficiente de transferencia de oxígeno es esencial para garantizar la eficacia del tratamiento de aguas residuales, reducir el impacto ambiental y promover la salud pública. Además, esta investigación puede servir como un modelo para la mejora continua de las plantas de tratamiento de aguas residuales en todo el país y más allá, contribuyendo al avance de la gestión sostenible de los recursos hídricos en comunidades similares.

En las secciones siguientes, se describirán los métodos y procedimientos utilizados en la medición de KLa , así como los resultados obtenidos y su implicación en la operación de la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río en Pisco.

Por lo tanto, la investigación está estructurada en capítulos:

Capítulo I: Se presenta una revisión exhaustiva de la literatura relacionada con la transferencia de oxígeno en reactores Bach y su influencia en la eficiencia de la remoción de contaminantes en plantas de tratamiento de aguas residuales.

Capítulo II: Se detallan los métodos y procedimientos utilizados para medir el coeficiente de transferencia de oxígeno (KLa) en el reactor Bach de la planta de tratamiento de aguas residuales en Boca del Río, Pisco, incluyendo equipos, técnicas de muestreo y análisis de datos.

Capítulo III: Se presentan los resultados obtenidos a partir de las mediciones de KLa y se realiza un análisis detallado de estos resultados, destacando patrones, tendencias y cualquier variación significativa.

Capítulo IV: Se analizan e interpretan los resultados en el contexto de los objetivos de la investigación y se discuten las implicaciones de los hallazgos para la operación y optimización del reactor Bach en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Capítulo V: Se resumen las conclusiones clave derivadas de la investigación, destacando los logros, las limitaciones y las recomendaciones para futuros estudios o mejoras en la planta

Capítulo VI: Se presenta recomendaciones prácticas basadas en los hallazgos de la investigación, que pueden guiar acciones concretas para mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en la planta de Boca del Río y contribuir a la gestión sostenible de recursos hídricos en la región.

Capítulo VII: Proporciona una lista completa de las fuentes bibliográficas y recursos consultados durante el desarrollo de la investigación, siguiendo las normativas de citación y referencia correspondientes.

1.1. Situación problemática

En numerosos distritos de la Provincia de Pisco, se enfrenta un desafío crítico relacionado con el tratamiento de aguas residuales municipales. Actualmente, muchas de estas áreas carecen de sistemas de tratamiento adecuados para las aguas residuales generadas, lo que ha llevado a una situación preocupante. Las aguas residuales municipales, en su mayoría, son recolectadas en sistemas combinados, y en algunos casos, llegan a la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río en la misma provincia. Sin embargo, en momentos de sobrecarga o durante eventos de lluvia intensa, estas aguas residuales no tratadas pueden desbordarse y verterse directamente en cauces de riachuelos, generando un riesgo significativo de contaminación ambiental. Además, en algunas instancias, estas aguas residuales municipales se utilizan en el riego de campos de cultivo, lo que intensifica aún más la contaminación y plantea amenazas a la salud pública y al medio ambiente. Esta situación subraya la necesidad apremiante de abordar de manera efectiva el tratamiento y la gestión de aguas residuales en la región para mitigar sus impactos negativos y garantizar la salud pública y la protección ambiental a largo plazo.

Banu et al., debido a la crucial importancia del tratamiento de aguas residuales, se ha reconocido la necesidad de llevar a cabo investigaciones que puedan contribuir a la mejora de este proceso. En muchos tratamientos biológicos, se llevan a cabo bajo condiciones aeróbicas, en las cuales los microorganismos requieren oxígeno para descomponer la materia orgánica. Por lo tanto, es esencial abordar esta demanda de oxígeno mediante la implementación de sistemas de aireación[1].

La práctica común en el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales involucra la búsqueda de parámetros básicos en la literatura existente. Aunque esta práctica es ampliamente utilizada, no siempre es la más apropiada. Esto se debe a que los valores de estos parámetros reportados en la literatura son promedios basados en resultados de aguas residuales de industrias en otros países. A pesar de que estos valores puedan parecer universalmente aplicables, en realidad, no lo son. Esto se debe a que, incluso dentro de una misma industria, los procesos pueden variar significativamente de un país a otro. Además, en muchas

ocasiones, estos valores ni siquiera están disponibles en la literatura, ya que ciertas ramas de producción solo existen en áreas geográficas específicas[2]

1.2. Antecedentes de la investigación

1.2.1. Antecedentes Internacionales

García-Ochoa y Gómez, Con el fin de comprender el impacto de estos factores en la transferencia de oxígeno, se han realizado diversos estudios para evaluar la influencia de cada uno de ellos, con el propósito de optimizar los procesos de transferencia de oxígeno. En algunos casos, estos esfuerzos han logrado superar las limitaciones que afectan a los microorganismos en los diseños tradicionales, lo que ha llevado a una mejora en la eficiencia y efectividad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales y otros procesos biotecnológicos[3].

Según *Sanabria*, La teoría de la aireación, frecuentemente referida como el modelo de dos capas, es fundamental para entender el proceso de transferencia de oxígeno desde el aire al agua en sistemas de producción de camarones y en la acuicultura en general. Según esta teoría, la transferencia de un gas, en este caso, el oxígeno, desde la fase gaseosa (el aire) hasta la fase líquida (el agua) puede describirse en términos de un coeficiente de transferencia de oxígeno (KLa). Este coeficiente representa la eficiencia con la que el oxígeno se disuelve en el agua y está influenciado por varios factores, incluyendo la velocidad de flujo de aire, la interacción entre la superficie de contacto entre el aire y el agua, y la disparidad en la concentración de oxígeno entre ambas fases [4].

La velocidad a la que el oxígeno se mueve a través del líquido está ligada a la diferencia de concentración de oxígeno disuelto en el mismo. Esto significa que cuanto mayor sea la diferencia de concentración de oxígeno entre el aire y el agua, más rápido se moverá el oxígeno hacia el agua para equilibrar las concentraciones. Por lo tanto, para lograr una alta eficiencia en la transferencia de oxígeno, es esencial mantener una gran

diferencia de concentración entre el oxígeno en el aire y el oxígeno disuelto en el agua[4].

Además, *Sanabria*, la normativa estándar de la ASCE (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles) de 1984 establece un procedimiento para la medición de la transferencia de masa de oxígeno en agua sin contaminantes. Dicha norma utiliza el modelo de doble película propuesto por Lewis y Whitman para comprender y cuantificar el proceso de transferencia de oxígeno desde el aire al agua. Además, proporciona ecuaciones para ajustar el coeficiente de transferencia de masa y la concentración de oxígeno disuelto a un tiempo infinito, a una temperatura estándar de 20 °C. Esto facilita la comparación y normalización de los resultados de las mediciones de transferencia de oxígeno realizadas bajo diversas condiciones, asegurando que sean coherentes y comparables en el ámbito de la investigación y la práctica en el tratamiento de aguas y la acuicultura[4].

Kargi & Eker, En esta investigación, el objetivo principal fue realizar una comparación del rendimiento entre dos sistemas de tratamiento de aguas residuales. El primer sistema estaba compuesto por un reactor de biopelícula que utilizaba tubos perforados rotativos (RPT) dispuestos en un contenedor de agua residual. Estos tubos rotativos eran impulsados por un motor eléctrico a través de un eje. Por otro lado, el segundo sistema consistía en un reactor con biodiscos rotativos (RBD) que estaban fijados en un eje y distribuidos en dos secciones. El estudio se centró en evaluar y comparar la eficiencia de ambos sistemas en la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales, lo que podría tener implicaciones significativas para el diseño y la operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales en diferentes contextos y aplicaciones[5].

Herrera et al., la transferencia de oxígeno a través de la operación unitaria de aeración o aireación desempeña un papel esencial en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales. Esta operación

tiene como objetivo principal proporcionar el oxígeno necesario para mantener la vida microbiana en los sistemas de tratamiento, permitiendo que los microorganismos degraden la materia orgánica presente en las aguas residuales. La eficiencia de la transferencia de oxígeno influye directamente en la velocidad y la calidad del tratamiento, y, por lo tanto, es esencial para garantizar la eliminación efectiva de contaminantes y la obtención de agua tratada de alta calidad[6].

Martínez-Rodríguez, la cantidad de oxígeno requerida en el sistema puede ser menor de lo necesario para alcanzar el criterio de mezcla completa. En algunos casos, debido a las condiciones específicas de operación y la distribución de oxígeno en el sistema, es posible que no se logre una mezcla completa del oxígeno con el agua residual. Esto puede deberse a factores como la velocidad de agitación, la geometría del reactor o la distribución del aire. En tales situaciones, es importante evaluar y ajustar el sistema para asegurar que se cumpla con los requisitos de oxígeno necesarios para los procesos biológicos de tratamiento y garantizar una eficiente remoción de contaminantes[2].

Wang y Zang, Yuan et al., La degradación ambiental está teniendo un impacto significativo en la calidad de las aguas en diferentes regiones del mundo. Esto se debe a la presencia persistente de una variedad de contaminantes, tanto disueltos en el agua como acumulados en el entorno acuático. Este problema se ha convertido en una limitación importante para el acceso a agua de calidad, ya que los contaminantes pueden afectar negativamente la salud humana, la vida acuática y los ecosistemas en general. La gestión adecuada de los recursos hídricos y la implementación de prácticas sostenibles de tratamiento y control de contaminantes son fundamentales para abordar esta problemática y proteger la calidad del agua en todo el mundo. [7], [8],

Tian et al., además, se observa una variabilidad significativa en los parámetros físico-químicos y las concentraciones de materia orgánica en el agua. En algunos casos, esta variabilidad ha alcanzado niveles en los

que la degradación ambiental es irreversible y conlleva costos ambientales considerables para la gestión del agua. La presencia continua de contaminantes y la alteración de los parámetros naturales del agua pueden tener efectos graves en la salud de los ecosistemas acuáticos y la disponibilidad de agua de calidad para usos humanos. Esto destaca la importancia de la conservación, la prevención de la contaminación y la adopción de enfoques sostenibles en la gestión del agua para minimizar los impactos irreversibles en el entorno acuático[9].

1.2.2. Antecedentes nacionales

Pérez, para garantizar que las playas cumplan con la calidad ecológica adecuada para la población que las disfruta y para la vida acuática que habita en ellas, es imperativo llevar a cabo estudios y monitoreos continuos de las condiciones del ambiente marino. Estos procesos de investigación y seguimiento son esenciales para identificar y abordar posibles amenazas ambientales, detectar la presencia de contaminantes, evaluar la salud de los ecosistemas costeros y garantizar que las actividades humanas no tengan un impacto negativo en la calidad del agua y la biodiversidad marina. Además, estos estudios proporcionan datos fundamentales para la formulación de políticas de gestión costera sostenible y para promover la protección a largo plazo de estos valiosos entornos naturales[10].

Jiménez, es habitual en el tratamiento de aguas residuales implementar la aireación de manera eficiente a lo largo de distintas fases y sistemas de tratamiento. Entre los sistemas y procesos donde se utiliza la aireación se incluyen: 1. Sistemas de Lodos Activados, donde se introduce oxígeno para promover la actividad microbiana en la degradación de la materia orgánica. 2. Tanques de Homogenización, que emplean la aireación para mejorar la mezcla y distribución de contaminantes. 3. Lagunas Aireadas, donde la aireación favorece la oxidación biológica de los contaminantes. En todos estos contextos, la aireación es esencial para mantener condiciones aeróbicas, lo que es crucial para el funcionamiento efectivo

de los procesos biológicos de tratamiento y la eliminación de contaminantes, contribuyendo a la mejora de la calidad del agua tratada[11].

Los resultados de la investigación demostraron ser favorables, y resaltaron la importancia de la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno (KLa) es esencial en un sistema de cultivo microbiano aerobio dentro de un biorreactor. Esta evaluación resulta fundamental para comprender y mejorar la transferencia de oxígeno desde las burbujas de aire generadas por un aireador hacia las células bacterianas presentes en el cultivo. Adicionalmente, el análisis del equilibrio de oxígeno en el cultivo se ha revelado como un factor de gran importancia para mantener las condiciones óptimas para el crecimiento y la actividad de las células bacterianas. Estos hallazgos tienen implicaciones significativas en la mejora de los procesos biotecnológicos y el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales, destacando la importancia de la adecuada oxigenación en los cultivos microbianos aerobios.

Diario Gestión, la costa peruana enfrenta el desafío de albergar a más del 60% de la población del país con una disponibilidad limitada de agua, representando solo el 2.2% del total de agua disponible en el país. Esta escasez de recursos hídricos subraya la necesidad de buscar fuentes alternativas para satisfacer la demanda creciente. Una de estas fuentes es el agua residual, que puede ser tratada y reutilizada de manera segura y sostenible. El tratamiento y la reutilización de aguas residuales pueden desempeñar un papel fundamental en la gestión de la escasez de agua, la protección del medio ambiente y el abastecimiento de agua para usos diversos, contribuyendo así a abordar los desafíos de la disponibilidad hídrica en la costa peruana[12].

Chávez, hoy en día, el tratamiento de las aguas residuales industriales ha ganado una creciente relevancia, ya que posibilita la reducción del impacto ambiental de las industrias y asegura que los niveles de contaminación generados se mantengan dentro de los parámetros

aceptables[13]. *Buitrago et al.* señalan que, durante el cultivo de microorganismos aerobios, los biorreactores convencionales presentan desafíos relacionados con la disponibilidad limitada de oxígeno[14]. Para dar solución a esta problemática se diseñó, construyó y evaluó un prototipo de biorreactor con aireador externo. Este sistema permitió incrementar la velocidad de transferencia del oxígeno desde la fase gaseosa a la fase líquida, superando la limitación de oxígeno.

Como objetivo principal para la investigación fue, verificar que la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno permite una mejor eficiencia en el tratamiento de aguas residuales.

1.3. Bases teóricas

1.3.1. Transferencia de oxígeno gaseoso al agua

En líneas generales, como se menciona anteriormente, *Mallqui*, “por transferencia de gas se entiende como el movimiento de masa de gas hacia o desde una solución, que se produce cuando una superficie de líquido está en contacto con una fase de gas con la que no está en equilibrio”[4]. “De acuerdo a esto, la transferencia de oxígeno gaseoso al agua se producirá cuando el gas en cuestión entra en con contacto con una superficie líquida de agua, con la que no debe estar en equilibrio”. *Mallqui*, “dentro de las operaciones unitarias la transferencia de una sustancia en fase gaseosa a un líquido, se denomina comúnmente absorción, y la operación de transferencia en sentido inverso, se denomina desorción o extracción”[4].

1.3.2. Coeficientes de transferencia de masa

Ley de Henry: según *Erazo & Cárdenas*,

Cuando existe un equilibrio entre las fases en la interfase, es posible aplicar las leyes que gobiernan este equilibrio” [15].

$$p_i = H' C_i \quad (1)$$

Erazo & Cárdenas, “Cuando existe una diferencia de concentraciones de oxígeno disuelto en el líquido (C_L) y en la interfase (C_i), se produce una transferencia de masa”[15]. Esta diferencia de concentraciones impulsa el movimiento del oxígeno desde la interfase al líquido o viceversa, dependiendo de las condiciones y la dirección de la gradiente de concentración. La transferencia de masa es un fenómeno fundamental en la transferencia de oxígeno en sistemas gaseosos y líquidos, y su comprensión es esencial en aplicaciones como la aireación en biorreactores y plantas de tratamiento de aguas:

$$N = K_L(C_i - C_L) \quad (2)$$

La diferencia de concentración ($C_1 - C_2$) debe ser sostenida para permitir la transferencia de oxígeno a través de la interfaz (mediante difusión). Por analogía a la fase líquida, el flujo de oxígeno a través del gas por difusión también es fundamental para este proceso.:

$$N = K_G(p - p_i) \quad (3)$$

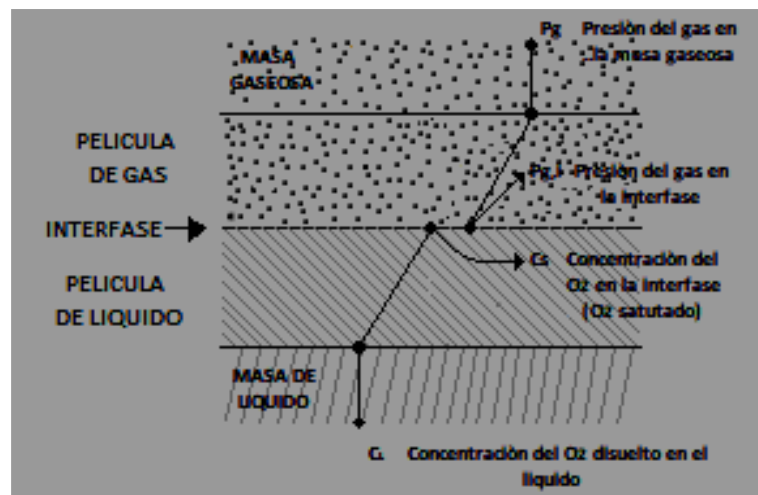


Figura 1. Transferencia de oxígeno a través de la doble película

La aplicación de las ecuaciones (2) y (3) es complicada, ya que rara vez se dispone de información sobre C_i y p_i en la interfaz. Por lo tanto, se recurre a la utilización de coeficientes globales de transferencia de masa tanto para la fase líquida (K_L) como para la fase gaseosa (K_G), como se detalla a continuación:

$$K_L = \frac{1}{\left(\frac{1}{k_L}\right) + \left(\frac{1}{k_G H^*}\right)} \quad (4)$$

y

$$K_G = \frac{1}{\left(\frac{1}{k_G}\right) + \left(\frac{H^*}{k_L}\right)} \quad (5)$$

resultando las expresiones:

$$N = K_L (C_g^* - C_i) \quad (6)$$

y

$$N = K_G (p - p^*) \quad (7)$$

1.3.3. Aspectos microbiológicos de la calidad del agua

Schmütz, “Las aguas naturales son receptores de los desechos tanto domésticos como industriales generados por la actividad humana. Estas aguas residuales conllevan la presencia de microorganismos, lo que representa una potencial amenaza para la salud de las personas”. “Los microorganismos pueden ser introducidos en el entorno a través de diversas fuentes, que van desde las excreciones individuales, vertidos residenciales, sistemas de alcantarillado urbano y descargas industriales, hasta el agua de lastre de embarcaciones y otras fuentes” [9].

1.3.4. Reactor Bach

[2] “La velocidad de transferencia de masa de oxígeno en un biorreactor aerobio es importante por cuanto dicho valor determinara la productividad del sistema”. En esta situación, se destaca que el oxígeno se desplaza de una fase a otra, y estas fases son las siguientes:

- ✓ “Transferencia de oxígeno desde la fase gaseosa hacia la interfaz gas-líquido”.
- ✓ “Difusión del oxígeno a través de la interfaz gas-líquido”.

- ✓ “Transporte de oxígeno desde la fase líquida hasta llegar al microorganismo”.
- ✓ “Difusión del oxígeno en la interfaz líquido-sólido dentro de la célula”.
- ✓ “Difusión intracelular”.
- ✓ Proceso bioquímico intracelular.

Sí, la paráfrasis que proporcionaste es una representación precisa de la información original. Explica que, en un proceso dado, todas las fases ocurren en secuencia, y se ha observado que la etapa de interfaz gas-líquido se convierte en un factor limitante. En este contexto, se utiliza un coeficiente de transferencia que se relaciona, así como la interacción con la fase líquida, el área de interfaz y las disparidades en la concentración de oxígeno son factores cruciales en este proceso. Este coeficiente se convierte en un indicador de la capacidad de aireación de un biorreactor. Su valor depende de varios factores, como el diseño del biorreactor, la agitación, finalmente, el diseño y funcionamiento del sistema, junto con aspectos como el flujo de aire y la viscosidad del medio, también desempeñan un papel fundamental en la eficiencia del proceso del biorreactor deben satisfacer las necesidades de oxígeno de los microorganismos involucrados en el proceso [2].

La evaluación del coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno (KLa) en un reactor de lote bajo condiciones isotérmicas sin la presencia de microorganismos implica evaluar la transferencia de oxígeno desde una burbuja de aire al líquido de fermentación y su posterior consumo por los microorganismos. Este proceso se lleva a cabo en ausencia de microorganismos para aislar y medir particularmente en lo que concierne a la transferencia de oxígeno. El valor de KLa se determina a través de la medición de la velocidad a la cual el oxígeno se disuelve en el líquido y se expresa en términos del coeficiente de transferencia, el área de interfaz gas-líquido y la gradiente de concentración de oxígeno. Este parámetro es fundamental para comprender y optimizar la transferencia de oxígeno en

un reactor y garantizar condiciones adecuadas para el crecimiento y la actividad de los microorganismos en procesos de fermentación[2].

1.3.5. Tratamiento de aguas residuales

Noyola et al., [14, p.7]“La finalidad del tratamiento de agua es la de eliminar el material contaminante que existe en ella, y así de esta manera cumplir con la normativa vigente ya sea para el reúso que se destinara”.

“El Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los vertidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el contexto de la normativa ambiental en Perú”. Estos LMP establecen los límites y estándares que deben cumplir los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales en términos de calidad del agua antes de ser vertidos al medio ambiente, como ríos o cuerpos de agua receptores. El objetivo de esta regulación es proteger el ambiente acuático y garantizar que los efluentes tratados cumplan con los estándares de calidad ambiental establecidos para prevenir la contaminación y minimizar el impacto ambiental[17].

1.3.6. Aguas residuales domésticas

Montoya, [18] “Cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica., se aprovechan para el riego de áreas verdes; estas aguas contienen cierta cantidad de nutrientes, sin embargo, al no ser tratadas presentan un peligro para el medio ambiente y la salud del hombre”.

Metcalf y Eddy, [19]“El agua residual municipal fresca y aerobia tiene olor a queroseno y color gris. El agua residual con más tiempo de haber sido generada es séptica y perlífera; su olor característico es a sulfhídrico, similar al de los huevos podridos”.

1.3.7. Demanda bioquímica de oxígeno

Ferrer, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno necesaria para que las bacterias descompongan la materia orgánica en un entorno aeróbico. Este proceso implica que los organismos vivos actúan como agentes para oxidar la materia orgánica hasta convertirla en dióxido de carbono y agua. El análisis de DBO se lleva a cabo a una temperatura de 20°C durante un período de cinco días, razón por la cual se denomina "DBO5". Este parámetro es utilizado para evaluar la contaminación orgánica en aguas residuales y proporciona información sobre la cantidad de oxígeno necesario para descomponer la materia orgánica presente en el agua [20].

1.3.8. Demanda química de oxígeno

Ramírez y Duran, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno equivalente presente en sustancias orgánicas en una muestra de agua, y que puede ser susceptible a la oxidación mediante el uso de dicromato de potasio en una solución de ácido sulfúrico. Las muestras para el análisis de DQO se recolectan siguiendo procedimientos específicos de muestreo que garantizan la representatividad y evitan la contaminación, y luego se transportan al laboratorio para su análisis. La DQO es una herramienta valiosa para evaluar la carga orgánica en el agua y su capacidad para agotar el oxígeno disuelto, lo que tiene implicaciones importantes en la calidad del agua y la eficacia de los tratamientos de aguas residuales [21].

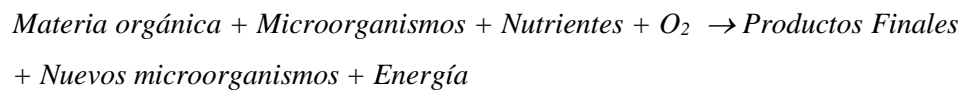
1.3.9. Tratamiento secundario – Proceso biológico

Vásquez y Valdés, se utilizan para convertir la materia orgánica que se encuentra finamente dividida y disuelta en el agua residual en sólidos sedimentables floculantes que puedan separarse en tanques de sedimentación, (García, 2006). En un tratamiento biológico, las bacterias activas y otros microorganismos destruyen y metabolizan las materias orgánicas solubles y coloidales, reduciendo la DBO y la DQO a valores

inferiores a 100 mg/l. La velocidad de degradación depende de que se hallen presentes los microorganismos adecuados[22].

1.3.10. Procesos de Oxidación Biológica

La oxidación biológica es el proceso mediante el cual los microorganismos descomponen la materia orgánica presente en las aguas residuales. En este mecanismo, los microorganismos se alimentan de la materia orgánica contaminante en presencia de oxígeno y nutrientes. Durante este proceso, los microorganismos metabolizan la materia orgánica, descomponiéndola en productos finales como dióxido de carbono, agua y otros compuestos más simples. Esta actividad microbiana es esencial en la depuración de aguas residuales y contribuye a la eliminación de contaminantes orgánicos, mejorando así la calidad del agua antes de su liberación al medio ambiente[23], de acuerdo con la siguiente reacción:



1.3.11. Coeficiente de transformación (f)

El coeficiente de transformación f , se utiliza para caracterizar los tipos de agua residual e indicar su biodegradabilidad. Utilizamos f como una relación de la DBO5 y la DQO[24], ver Tabla 1.

$$f = \frac{DBO5}{DQO}$$

Tabla 1. Coeficientes de Transformación

f	“Tipo de Agua Residual	Biodegradabilidad
> 0.7	Urbanas Puras	Muy biodegradables
0.2 a 0.7	Industriales	Biodegradables
< 0.2	Industriales	No biodegradables

1.3.12. Medición del Coeficiente de Transferencia de Oxígeno (Kla)

[15], La prueba se realiza en un reactor aireado de lodos activados suspendidos en agua residual. Consiste en suspender la aireación en el sistema, permitiendo que la concentración de oxígeno disuelto disminuya debido al consumo de microorganismos. Esto nos permite evaluar la velocidad de utilización o consumo de oxígeno (VUO), ya que se mide la Variación en la concentración de oxígeno disuelto con respecto al tiempo. Posteriormente, se reanuda la aireación.

$$\frac{\partial c_{O_2}}{\partial t} = \underbrace{k_L a_r (c_{sr} - c_L)}_{\text{su ministro de } O_2} - \underbrace{VUO}_{\text{consumo de } O_2}$$
$$\frac{\partial c_{O_2}}{\partial t} = (k_L a_r * c_{sr} - VUO) - k_L a_r * c_L$$

1.3.13. Velocidad de Utilización de Oxígeno (VUO)

[2], Se refiere a la tasa de consumo de oxígeno, es decir, la cantidad de oxígeno consumida por día por unidad de volumen del reactor.

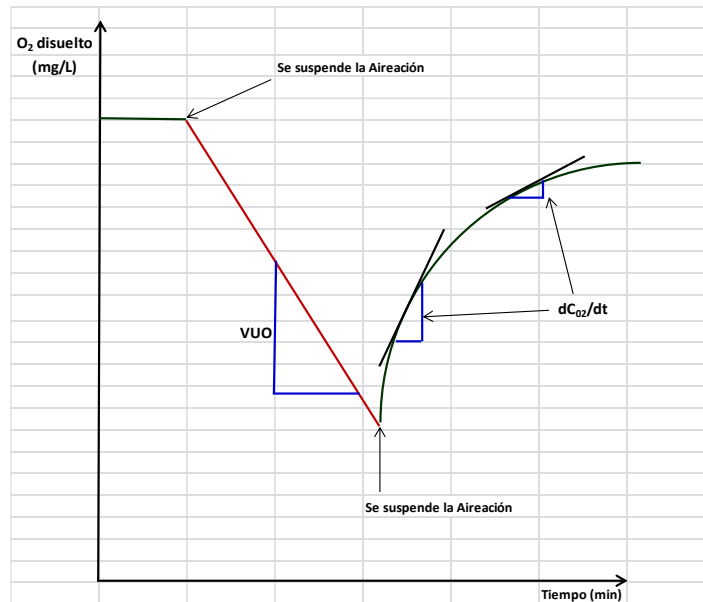


Figura 2. Variación de la Concentración de Oxígeno Disuelto en Reactor de Lodos Activados, al suspender y restablecer la aireación

1.3.14. Bacterias

Pueden ser autótrofas o heterótrofas. En procesos de lodos activos normalmente las bacterias constituyen el 95 % del material celular (biomasa). La temperatura del medio es importante para el crecimiento bacteriano y de otros organismos, cada especie de bacterias se desempeña dentro de un cierto rango de temperatura, su actividad se mantiene en niveles óptimos, pero fuera de este rango, su actividad se ve significativamente afectada, como se ilustra en la Tabla 2.

Tabla 2. Categorización de bacterias en función del intervalo de temperaturas [25].

Clasificación	Rango de Temperatura, °C	Óptimo, °C
Psicrófilas	-5 a 30	10 a 20
Mesófilas	10 a 45	20 a 40
Termófilas	50 a 60	25 a 80

1.4. Formulación del problema

En la mayoría de los distritos de la Provincia de Pisco, se enfrenta el desafío de la generación de aguas residuales municipales sin la presencia de un sistema de tratamiento adecuado. Estas aguas residuales, en muchos casos, son recolectadas en sistemas combinados y, en algunas instancias, llegan a la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río en la Provincia de Pisco. Sin embargo, en situaciones de sobrecarga o lluvias intensas, estas aguas no tratadas pueden desbordarse y fluir hacia cauces de riachuelos, contaminando así áreas cercanas a comunidades locales. En ciertos escenarios, estas aguas residuales municipales incluso se utilizan para el riego de campos de cultivo, lo que agrava aún más el problema de la contaminación ambiental. Esta situación resalta la urgente necesidad de abordar el tratamiento y gestión adecuada de las aguas residuales en la región para evitar impactos negativos en la salud pública y el medio ambiente.

El problema del tratamiento de aguas residuales municipales se agrava con el tiempo, lo que ha dado lugar a una creciente necesidad de implementar sistemas de tratamiento. Para abordar esta demanda, se recurre a una variedad de métodos, y entre los más ampliamente empleados se encuentran aquellos que implican la participación de microorganismos. Esto se debe a que estos métodos son económicos, altamente eficientes en la degradación de contaminantes y, además, no generan subproductos contaminantes adicionales, lo que los convierte en una opción sostenible y respetuosa con el medio ambiente para el tratamiento de aguas residuales municipales.

1.4.1. Problema general

¿En qué medida la asociación entre la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor Bach influye significativamente en la velocidad del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco?

1.4.2. Problemas específicos

PE1: ¿Como la influencia significativa del tiempo de permanencia de la carga orgánica en el reactor Bach influye significativamente en la velocidad del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco?

PE2: ¿En qué medida la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor Bach puede tener un impacto significativo en la reducción de la carga orgánica en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco?

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. Objetivo principal

Fundamentar la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor Bach que se asocia significativamente con la velocidad del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco

1.5.2. Objetivos Específicos

OE1: Determinar el tiempo de permanencia de la carga orgánica en el reactor Bach que influye significativamente en la velocidad del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco.

OE2: Estimar la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor Bach que puede tener un impacto significativo en la reducción de la carga orgánica en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco.

1.6. Hipótesis de investigación

1.6.1. Hipótesis principal

La medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor Bach se asocia significativamente con la velocidad del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco.

1.6.2. Hipótesis Específicas

HE1. El tiempo de permanencia de la carga orgánica en el reactor Bach influye significativamente en la velocidad del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco.

HE2. La medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor Bach puede tener un impacto significativo en la reducción de la carga orgánica en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco.

1.6.3. Variables de investigación

Variable independiente

Coefficiente de transferencia de oxígeno

Es una medida que cuantifica la eficiencia con la que el oxígeno se transfiere desde una fase gaseosa (generalmente el aire) a una fase líquida (por ejemplo, el agua) en un sistema dado. Representa la capacidad de un sistema para proveer oxígeno que se encuentra disuelto en el fluido, y es esencial en aplicaciones como el tratamiento de aguas, la acuicultura y la fermentación industrial. El coeficiente de transferencia de oxígeno, en un reactor o equipo, a menudo denotado como $K_L a$, depende de varios factores, como la velocidad de agitación, la cantidad de oxígeno presente en la fase gaseosa, la temperatura, la geometría del sistema y las propiedades del líquido. Se utiliza para evaluar y mejorar la eficiencia de la transferencia de oxígeno en procesos biológicos y químicos donde el suministro de oxígeno es crítico.

Variable dependiente

Velocidad del oxígeno disuelto

La velocidad de oxígeno de oxígeno, conceptualmente, se refiere a la tasa a la cual los microorganismos o sistemas biológicos utilizan o consumen oxígeno disuelto en un medio acuoso durante procesos de degradación de materia orgánica o reacciones metabólicas aeróbicas. Esta velocidad se expresa generalmente en unidades de concentración de oxígeno disuelto consumido por unidad de tiempo y es un indicador clave de la actividad microbiana y la demanda de oxígeno en procesos biológicos, como el tratamiento de aguas residuales o la descomposición de materia orgánica en ecosistemas acuáticos.

1.7. Justificación e Importancia

1.7.1. Justificación

Según los investigadores *Bandaipheth & Prasertsan*, los procesos de transferencia de masa son fundamentales en el desarrollo de microorganismos en entornos líquidos. Estos procesos engloban la solubilización de nutrientes, la transferencia de productos y, uno de los más cruciales, la transferencia de oxígeno. La transferencia de oxígeno se

convierte en un factor de gran relevancia en algunos cultivos debido a la limitación ocasionada debido a la limitada capacidad de oxígeno para disolverse en medios de cultivo con elevada concentración de sales disueltas y alta viscosidad. Esta limitación puede afectar significativamente la eficiencia y la tasa de crecimiento de los microorganismos, ya que la disponibilidad de oxígeno es fundamental para su metabolismo y sus procesos de reproducción. Por lo tanto, comprender y controlar la transferencia eficiente de oxígeno en sistemas de cultivo desempeña un papel fundamental en la mejora de la producción de biomasa y productos biotecnológicos de interés [26].

Weber & Agblevor, el estudio sistemático del efecto de las velocidades de aireación y agitación en la transferencia de oxígeno, realizado en el sistema convencional de tanque agitado con difusor interno, proporciona los valores de referencia fundamentales. Estos valores de referencia son esenciales para evaluar la eficacia y la capacidad del sistema propuesto. Comparando los resultados obtenidos en el nuevo sistema con los valores base, se puede determinar si el enfoque propuesto mejora la transferencia de oxígeno en el proceso. Este estudio sistemático es crucial para medir y validar la efectividad de las modificaciones introducidas en el sistema y garantizar que las mejoras en la transferencia de oxígeno sean significativas y beneficiosas en comparación con el diseño convencional [27]. *Sieblist et al.*, los micro burbujeadores en tanques agitados son una opción recomendada, especialmente en cultivos que involucran microorganismos sensibles al estrés mecánico. Estos dispositivos son beneficiosos porque pueden reducir los requisitos de flujo de aire y las velocidades de agitación necesarias para mantener una adecuada transferencia de oxígeno en el medio de cultivo. Esto es esencial para microorganismos que son susceptibles al estrés mecánico, ya que se pueden cultivar de manera eficiente con un menor impacto físico en el proceso de agitación y aireación. El uso de micro burbujeadores permite una dispersión más fina y controlada de las burbujas de aire en el medio de cultivo, lo que disminuye la turbulencia y

la cizalladura en comparación con sistemas convencionales. Esto reduce el estrés mecánico sobre los microorganismos y, al mismo tiempo, mejora la transferencia de oxígeno. Como resultado, se crea un entorno de cultivo más adecuado para microorganismos sensibles, lo que puede aumentar la eficiencia de producción y mejorar la calidad de los productos finales en aplicaciones biotecnológicas y de fermentación.[27], [28].

1.7.2. Importancia

El agua es un recurso renovable que, gracias a los avances en tecnología y la inversión de recursos humanos y económicos, se puede tratar y recuperar después de su uso. Esta práctica es fundamental para la conservación de recursos hídricos y la protección del medio ambiente. Además, el crecimiento de las energías alternativas ofrece una perspectiva prometedora, en este contexto, la posibilidad de generar energía limpia a través de la aireación en sistemas de tratamiento de aguas residuales representa una importante oportunidad, especialmente en contraste con los recursos no renovables como los combustibles fósiles, cuyo procesamiento tiene impactos negativos en el medio ambiente. Esta técnica proporciona dos beneficios significativos: la mejora del ambiente y el suministro de energía sostenible. Además, esta innovación se basa en sólidos fundamentos teóricos que, en el futuro, podrían abordar la creciente necesidad de agua y energía de manera efectiva de una manera más respetuosa con el medio ambiente y beneficiosa para la sociedad en general.

1.8. Definiciones conceptuales

1.8.1. Tratamiento Aerobio

*Arnai*z, la biomasa está compuesta por microorganismos que requieren oxígeno o pueden funcionar en condiciones aerobias o facultativas, y su función principal es consumir oxígeno. Estos microorganismos participan en la conversión parcial del carbono contenido en la materia orgánica

disuelta en el agua en dióxido de carbono (CO₂) con la producción de energía [23].

1.8.2. Proceso de lodos activos

El tratamiento de aguas residuales, ya sean de origen industrial o doméstico, ha utilizado el proceso de lodos activados durante aproximadamente un siglo. Este método recibe su nombre debido a la producción de una masa activada de microorganismos que son capaces de estabilizar los residuos presentes en el agua mediante procesos aeróbicos. En este proceso, los microorganismos, principalmente bacterias, se desarrollan y se mantienen en suspensión activa en el agua residual, donde consumen materia orgánica y otros contaminantes, transformándolos en productos más estables, como dióxido de carbono y agua. El proceso de lodos activados es ampliamente utilizado en plantas de tratamiento de aguas residuales debido a su eficacia en la eliminación de contaminantes orgánicos y su capacidad para mejorar la calidad del agua tratada antes de su descarga o reutilización.

1.8.3. Aireación Prolongada

Al incrementar el período de permanencia y, en consecuencia, el tamaño del reactor en un sistema de tratamiento de aguas residuales, es posible disminuir la cantidad de lodo residual. Al prolongar el período de permanencia, se brinda a los microorganismos más tiempo para degradar la materia orgánica presente en las aguas residuales, lo que puede resultar en una mayor eficiencia de eliminación de contaminantes y una menor producción de lodo residual. Este enfoque puede contribuir a la gestión más efectiva de los sólidos generados durante el proceso de tratamiento y, en última instancia, a reducir los costos asociados con su disposición o tratamiento posterior. Sin embargo, es importante equilibrar este objetivo con otros factores operativos y de diseño para garantizar un rendimiento óptimo del sistema de tratamiento.

1.8.4. Reactores aerobios

La velocidad de transferencia de oxígeno en un biorreactor aerobio es un parámetro crucial, ya que influye directamente en la productividad y eficiencia del sistema. Este valor representa la capacidad del biorreactor para suministrar oxígeno necesario a los microorganismos aeróbicos presentes en el proceso. Una transferencia de oxígeno eficiente asegura condiciones óptimas para la actividad microbiana, lo que a su vez afecta la velocidad de degradación de sustancias orgánicas, la producción de biomasa y la eficacia general del sistema de tratamiento o proceso biotecnológico. Por lo tanto, comprender y controlar la velocidad de transferencia de oxígeno es esencial para optimizar el rendimiento de un biorreactor aerobio [2].

1.8.5. Aguas Residuales

El agua residual se refiere a aquella cuyas características originales han sido alteradas debido a actividades humanas, ya sean domésticas, industriales o institucionales. Debido a su calidad, estas aguas requieren un tratamiento previo para su depuración[31].

1.8.6. Recirculación

Metcalf y Eddy, [19], la recirculación de microorganismos desde el sedimentador secundario hasta el tanque de aireación es un componente esencial para mantener una concentración de biomasa constante en el reactor. La tasa de recirculación se ajusta de acuerdo al caudal de entrada y suele variar en un rango de 0,25 a 1,25. Esta práctica es fundamental para el equilibrio y la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales.

1.8.7. Carga orgánica

Méndez et al, [30], la Carga Orgánica (CO) se refiere a la cantidad de materia orgánica que ingresa al sistema, representándose como la alimentación de DBO5 por unidad de volumen de reactor, expresada

como (kgDBO5/m³•día). *Ramalho*, La carga orgánica, en un sistema de tratamiento de aguas residuales, no es constante y puede variar debido a cambios en el flujo de agua o en la concentración de material orgánico en el agua entrante a la planta. Los valores de diseño, que generalmente oscilan entre 0,3 y 1,6 kgDBO5/m³•día, representan rangos típicos de carga orgánica para el dimensionamiento y operación de la planta, teniendo en cuenta estos factores cambiantes. Esto significa que la planta debe estar preparada para tratar un flujo de aguas residuales con una concentración de DBO5 que puede variar dentro de este rango[32].

1.8.8. Tiempo de retención hidráulico (TRH)

Metcalf y Eddy, [19], “Al tiempo de residencia del agua residual en el sistema, el cual debe ser suficiente para permitir un contacto adecuado entre la materia orgánica disuelta y los microorganismos”. *Ramalho*, [32]. “Los sistemas convencionales presentan TRH entre 3-10 h, mientras que los de aireación extendida de 12-36 h”

1.9. Marco legal

1.9.1. La Constitución Política de 1993.

Según el artículo 66 de la Constitución Política del Perú, se establece que los recursos naturales, tanto renovables como no renovables, son parte del patrimonio de la Nación, y el Estado ejerce soberanía sobre su explotación. Además, se indica que una Ley Orgánica determina las condiciones para su utilización y concesión a terceros. La concesión otorga al titular un derecho legítimo sujeto a la mencionada norma legal[33].

El artículo 67 de la Constitución Política del Perú establece que el Estado tiene la responsabilidad de determinar la política nacional del medio ambiente y promover el uso sostenible de los recursos naturales[33].

El artículo 68 de la Constitución Política del Perú establece que el Estado está obligado a promover la conservación de la diversidad biológica y de

las áreas naturales protegidas[33].

1.9.2. Ley General de Aguas (D.S. N°17752), D.S. 261-69-AP

Ley General de Aguas N°17752, [34], “Esta ley fue promulgada mediante el Decreto Supremo N°17752, emitido el 29 de julio de 1969, y se complementa con los reglamentos correspondientes a los títulos de la ley. *Decreto Supremo N°261.69-AP*, [35], El artículo 81 del Reglamento establece que, con el propósito de aplicar dicho reglamento, la calidad de los recursos hídricos, ya sea terrestres o marítimos en el país, se clasifica en relación a sus usos de la siguiente manera:

- i. Agua clorada para consumo doméstico,
- ii. Agua para uso doméstico tratada mediante combinación de procesos aprobados por el Ministerio de Salud, que incluyen mezcla y coagulación, sedimentación, filtración y cloración[35].
- iii. Agua utilizada para el riego de vegetales destinados al consumo crudo y como bebida para animales,
- iv. Aguas de áreas de recreación destinadas a actividades de contacto directo (baño y actividades similares).
- v. Aguas en áreas de pesca, especialmente para mariscos y moluscos[35].
- vi. Aguas en áreas de conservación de la vida acuática y actividades recreativas o comerciales de pesca[35].

1.9.3. Varias normas legales

- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente[36].
- Ley N° 28245, Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental[37].
- Ley N° 27446, Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental[38].
- Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos[39].

II. ESTRATEGIA METODOLOGICA

2.1. Área de estudio

El área de investigación de este estudio se encuentra en el campo de la ingeniería ambiental y el tratamiento de aguas residuales.

Las aguas residuales de procedencia doméstica e industrial que se descargan en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Boca del Río provienen de las redes de alcantarillado.

Se realizó la toma de muestras de las aguas residuales en el punto de entrada a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Boca del Río, específicamente en un colector de ingreso. La PTAR Boca del Río está ubicada en el distrito de Pisco, y sus coordenadas UTM son $13^{\circ}42'36''S$ y $76^{\circ}12'12''O$, a una altitud de 15 metros sobre el nivel del mar, utilizando el sistema de coordenadas UTM Wgs84 DATUM, Zona 18 Sur[40]. Figura 3.

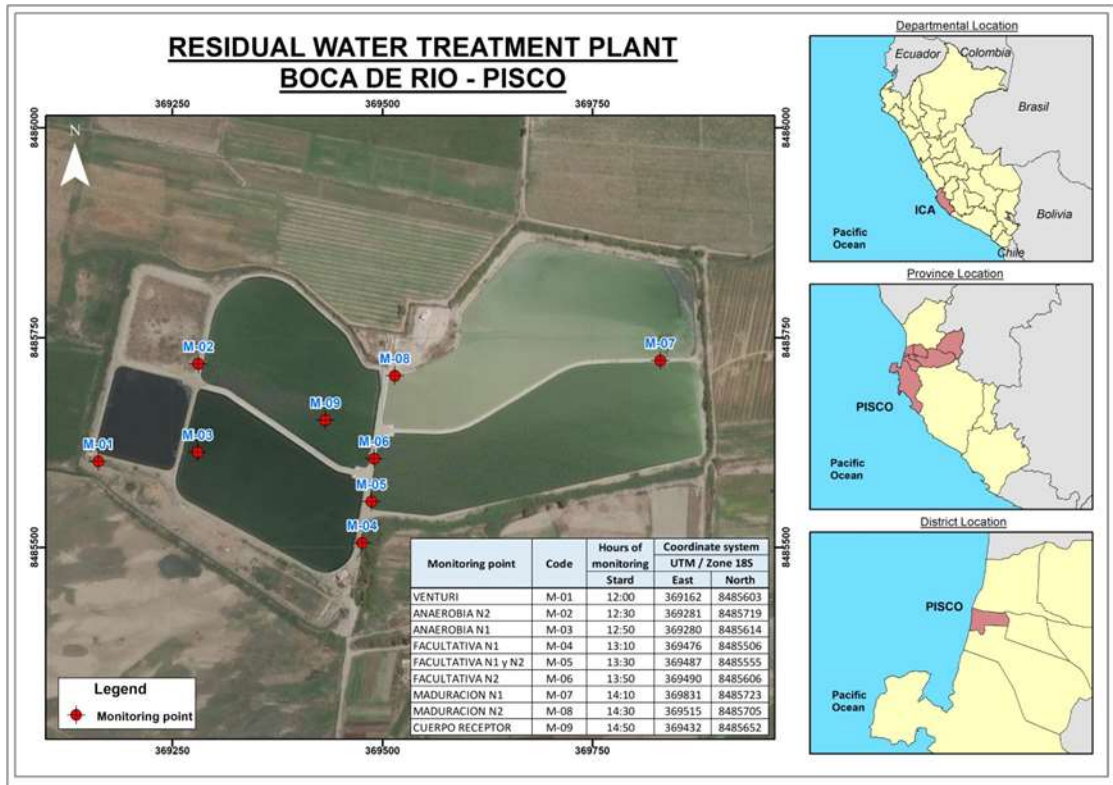


Figura 3. Wastewater Treatment Plant - Boca del Río

La investigación se centra en el tratamiento de aguas residuales, específicamente “en la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno” (kLa) en un reactor batch.

El kLa es una medida de la eficiencia de transferencia de oxígeno de un sistema de tratamiento de aguas residuales. Un valor alto de kLa indica que el sistema está transfiriendo oxígeno de manera eficiente, lo que es importante para la degradación de la materia orgánica y la eliminación de contaminantes. Figura 4.



Figura 4. Descarga de efluente PTAR Boca de Rio

2.2. Métodos

2.2.1. Tipo, nivel y diseño de investigación

Tipo de investigación

“El tipo es aplicada, se aplicaron los conocimientos existentes para soluciones viables, observacional-prospectiva-longitudinal” [41].

El tipo de investigación correspondiente a este estudio se clasificaría como "Investigación Experimental" o "Investigación Cuantitativa". Esto se debió a que se realizó las mediciones para medir la determinación del

coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor tipo Bach ubicado en la instalación de tratamiento de aguas residuales en Boca del Río, Pisco, empleando métodos cuantitativos para recopilar datos y obtener resultados numéricos que ayuden a abordar el problema de investigación[41].

Nivel de investigación

Es descriptiva que tiene como objetivo principal describir y analizar una situación o fenómeno tal como se presenta en la realidad, sin manipular variables ni buscar relaciones causales[41].

Diseño de la investigación

Es un diseño experimental, se realizaron mediciones. En esta instancia, se realizó la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor Bach en la planta de tratamiento de aguas residuales. Este enfoque experimental permitió recopilar datos cuantitativos que pueden ser analizados estadísticamente para obtener conclusiones y hacer recomendaciones basadas en evidencia[41].

Datos necesarios para definir las variables de diseño en el reactor biológico.

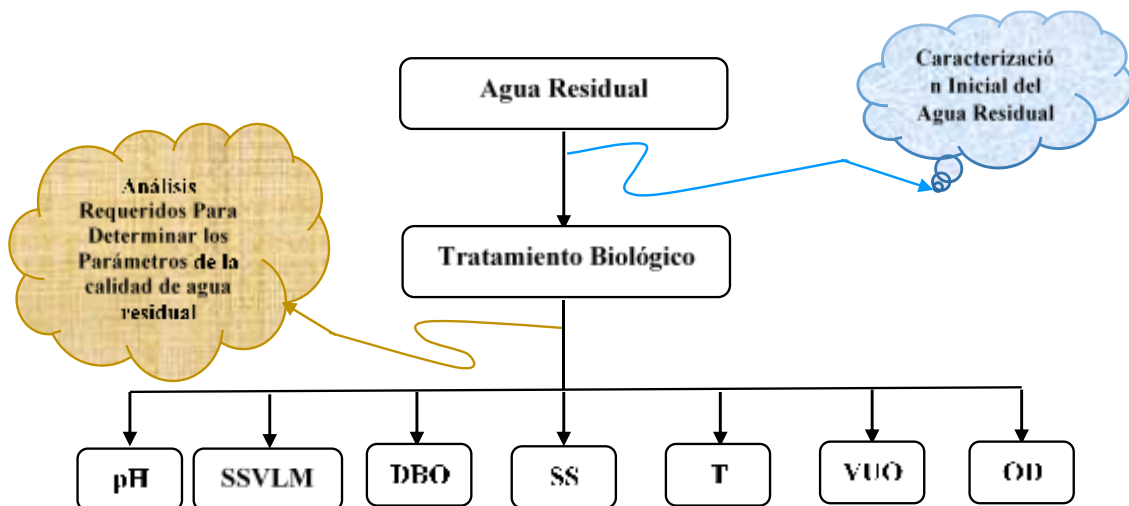


Figura 5: Diseño Experimental

2.2.2. Población y muestra

Población

La población en este estudio se refirió a la totalidad de observaciones o elementos que están siendo considerados para el análisis de investigación. En este caso, la población estuvo compuesta por todos los datos relacionados con la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor Bach en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco. Esto incluyó todas las mediciones realizadas en ese contexto específico durante el período de estudio.

Muestra

La muestra en este estudio se refirió a un subconjunto representativo de la población total que se ha seleccionado y se llevó a cabo las mediciones y análisis. En el contexto del estudio acerca de la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor Bach en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco, la muestra se consideró en un número específico de mediciones en el reactor Bach de interés. La muestra se seleccionó para representar adecuadamente la población y proporcionar datos significativos para el análisis. La elección de la muestra y su tamaño influyó en la validez y representatividad de los resultados de la investigación[41].

2.2.3. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas de recolección de datos utilizadas en esta investigación podrían incluir las siguientes:

- ✓ *Muestreo en el reactor Bach:* Se recolectaron muestras de agua en el reactor Bach de la instalación de tratamiento de aguas residuales en Boca del Río, Pisco, en momentos particulares para evaluar la concentración de oxígeno disuelto y otros parámetros pertinentes.
- ✓ *Instrumentación de medición:* Se utilizaron instrumentos de medición especializados, como sensores de oxígeno disuelto y

dispositivos de medición de pH, temperatura, y otros factores que influyo, en la transferencia de oxígeno.

- ✓ *Revisión bibliográfica:* Se recopilaron datos y referencias de estudios previos relacionados con la transferencia de oxígeno en reactores Bach y el tratamiento de aguas residuales para obtener información relevante y antecedentes.

2.2.4. Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos de recolección de datos utilizados en esta investigación pueden incluir:

- ✓ *Sensores de oxígeno disuelto:* Se emplearon sensores de oxígeno disuelto para medir la concentración de oxígeno en el agua en el reactor Bach y en otras áreas de importancia en la planta de tratamiento de aguas residuales. Estos sensores proporcionaron mediciones precisas y en tiempo real de la variable principal.
- ✓ *Medidores de pH:* Se utilizaron medidores de pH para determinar el nivel de acidez o alcalinidad del agua en el reactor Bach. El pH en algunos casos puede influir en la solubilidad del oxígeno y, por lo tanto, en la transferencia de oxígeno.
- ✓ *Medidores de temperatura:* Se emplearon medidores de temperatura para registrar las variaciones de temperatura en el agua, ya que la temperatura también puede afectar la solubilidad del oxígeno.
- ✓ *Dispositivos de agitación y aireación:* Los dispositivos de agitación y aireación del reactor Bach se consideraron instrumentos clave, ya que influyo directamente en la transferencia de oxígeno. Se registraron datos sobre la velocidad de agitación y el flujo de aire utilizados durante el estudio.

“Los muestreos puntuales se realizaron según la normativa peruana vigente”.[\[42\]](#), [\[43\]](#) Reglamento de la Calidad de Aguas Residuales y Ley del ambiente.

2.2.5. Técnicas de procesamiento de datos

Las técnicas de procesamiento de datos utilizadas en esta investigación se incluyeron:

Análisis estadístico: Los datos recopilados, como las mediciones de oxígeno disuelto, se sometió a análisis estadísticos descriptivos para resumir y presentar los resultados de manera comprensible.

Gráficos y visualización: Se crearon gráficos, gráficos de líneas, para visualizar tendencias y relaciones entre las variables. Esto ayuda a identificar patrones en los datos.

Análisis de regresión: Se busco establecer relaciones cuantitativas entre variables, se puede realizar un análisis de regresión para determinar la influencia de la velocidad de agitación en la transferencia de oxígeno [44].

2.2.6. Interpretación de los resultados

La interpretación de los resultados de esta investigación sobre la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor Bach en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco, es crucial para comprender el impacto de las variables independientes en la variable dependiente.

2.3. Materiales

“Se tomaron muestras de la planta de tratamiento de aguas residuales Boca de Rio, Provincia de Pisco, Región de Ica en Perú. La investigación propuesta fue de tipo experimental, apoyada por investigación de campo y bibliográfica, de carácter descriptivo con un enfoque cualitativo y cuantitativo” [40].

Investigación experimental:

“Se establecieron las siguientes fases para el sistema de tratamiento de las aguas residuales municipales”[41].

- ✓ Caracterización inicial de las aguas residuales.

- ✓ Análisis de los procesos que se pueden emplear para el tratamiento del agua residual
- ✓ Desarrollo experimental (Tratamiento Biológico).
- ✓ Caracterización final del efluente luego del tratamiento.
- ✓ Evaluación de los resultados.

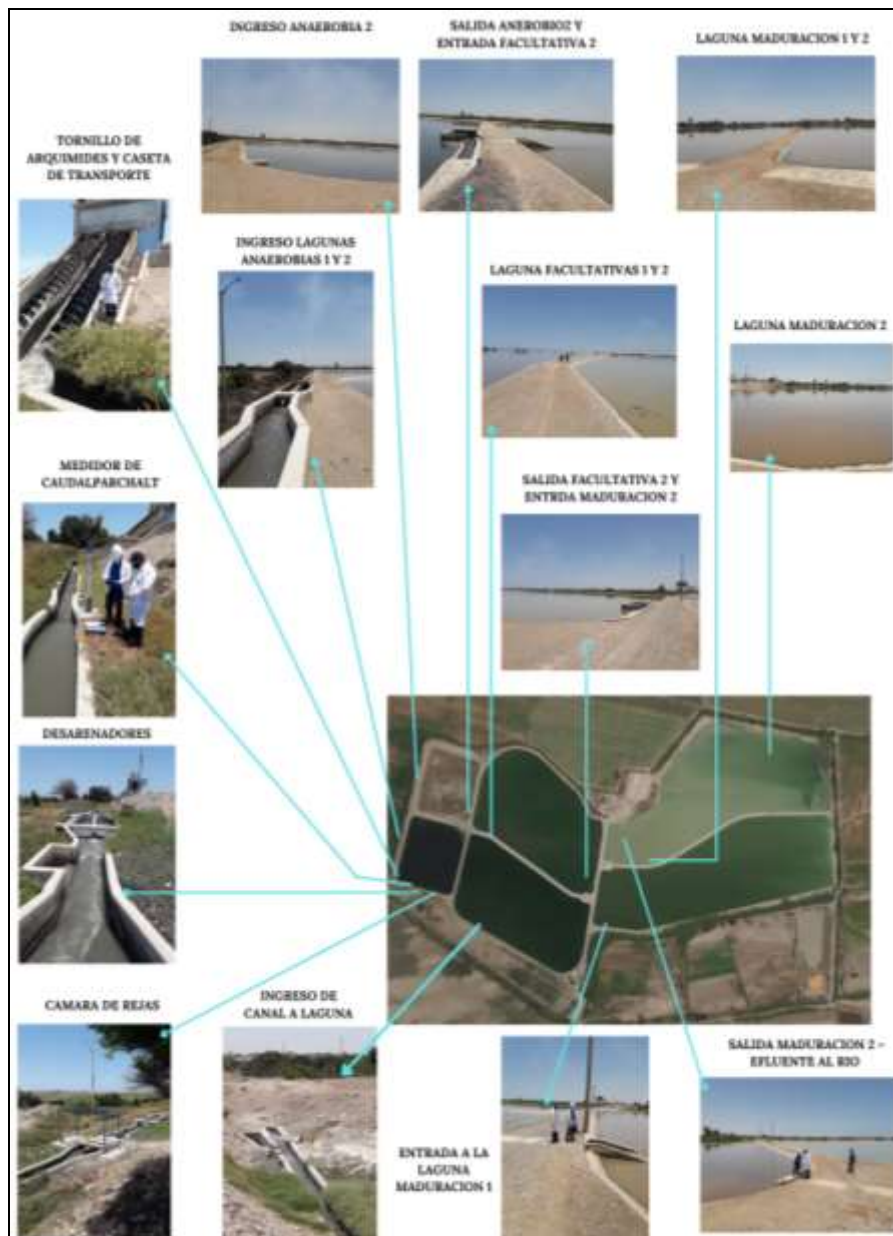


Figura 6. Wastewater Treatment Plant - Boca del Rio

Enfoque Cualitativo:

Se examinaron los efectos contaminantes producidos por las aguas residuales de origen doméstico en la planta de tratamiento, y el reactor Bach ha facilitado la

eliminación de la demanda bioquímica de oxígeno y la reducción de los coliformes[40].

Los resultados obtenidos en la Figura 5 del reactor biológico nos han proporcionado información importante sobre la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno y la reducción de coliformes en el proceso [45].

Los parámetros biocinéticos son medidas que describen la velocidad a la cual los microorganismos consumen materia orgánica en un reactor biológico. Algunos de los parámetros biocinéticos relevantes para la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en un reactor Bach incluyen la tasa de crecimiento específica de los microorganismos, la constante de velocidad de degradación de la materia orgánica y la concentración de biomasa microbiana en el sistema. Estos parámetros ayudan a entender y controlar el proceso de eliminación de la DBO en el reactor biológico [46].

Datos Fisicoquímicos:

pH = Potencial de Hidrógeno. SDT = Sólidos Disueltos Totales. SSV = Sólidos Suspendidos Volátiles. SST = Sólidos Suspendidos Totales[47],

Indicadores de contaminantes Bioquímicos:

“DBO₅ = Demanda Biológica de Oxígeno. DQO = Demanda Química de Oxígeno” [47].

Microbiología:

Coliformes Totales. Coliformes termotolerantes [22].

Procedimiento:

En el proceso de tratamiento del influente se tienen en cuenta las siguientes fases:

- “Obtención de la muestra captura de agua residual procedente de la laguna de maduración” [47], Tabla 3.
- Análisis del agua residual sin tratar teniendo en cuenta los parámetros definidos [47],
- Tratamiento biológico [47].

Tabla 3. Plan de muestreo [2]

Tipo de Análisis	Frecuencia	Agua Residual^a	Licor Mezclado^b	Efluent
DQO (mg/l)	1/día	x	---	x
DBO ₅ (mg/l)	1/día	x	---	x
pH	1/día	x	x	x
SS, SSV (mg/l)	1/día	---	x	x
Oxígeno Disuelto (OD), (mg/l)	1/día	x	x	x
Velocidad de Utilización del O ₂	1/día	---	x	---
Color, Turbiedad	1/día	x	x	x

Nota:

^a "Muestra extraída de la alimentación del afluente o de los depósitos de agua residual cruda" [2]

^b "Muestra tomada del biorreactor" [2]

^c "Muestra salida del biorreactor" [2]

III. RESULTADOS

3.1. Fundamentar la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor Bach y la velocidad del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco

Reactor Bach

El reactor está construido con un material acrílico transparente, tal como se ilustra en la Figura 7. La capacidad de la cámara de aireación y la cámara de sedimentación es de 5 litros cada una, respectivamente.

El suministro de aire se realiza mediante un compresor de 2 caballos de fuerza (HP) que utiliza un difusor instalado en una tubería de cobre posicionada en el fondo del reactor. Las burbujas de aire generadas mantienen el contenido de la cámara de aireación en una condición de mezcla completa. El agua residual se introduce de forma constante por gravedad desde un depósito ubicado a cierta altura, fluyendo de manera continua hasta un recipiente de recolección del efluente.



Figura 7. Reactor Bach a escala de laboratorio

Proceso biológico

- Se incorpora cal con el propósito de regular el pH del agua residual de acuerdo a sus requerimientos operativos, manteniéndolo dentro de un intervalo de pH que oscila entre 6 y 8, en concordancia con las especificaciones técnicas relacionadas a la carga del influente.

- El reactor se llena con agua residual hasta alcanzar un volumen predefinido de 5 litros.
- El compresor se enciende, proporcionando aire al reactor y generando turbulencia para lograr una mezcla completa del contenido en la cámara de aireación. Esto se representa en la Figura 8.
- Se añade la carga residual procedente de la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río en Pisco, la cual contiene materia orgánica y se incorpora al reactor para agilizar el proceso biológico.
- Se procede a medir la concentración de sólidos totales suspendidos (STS) para verificar el incremento neto de STS. Para ello, se cierra la compuerta de salida, se eleva la pantalla, se homogeneiza la mezcla y se toma una muestra del tanque.
- El proceso de lodos activos se llevó a cabo hasta que se evidenció una disminución en los niveles de demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO5).
- El monitoreo de los parámetros establecidos se efectuó regularmente cada 24 horas, siguiendo el plan de muestreo detallado en la Tabla 3.
- Una vez que se logró la operación en estado estacionario, se ajustó el caudal requerido, el cual se reguló mediante la acción de la gravedad, con el fin de alcanzar el tiempo de residencia deseado en la cámara de aireación.
- Se procedió a tabular los datos recopilados durante el proceso de monitoreo.
- Los datos recopilados durante el proceso de monitoreo se registraron en tablas para su posterior análisis.

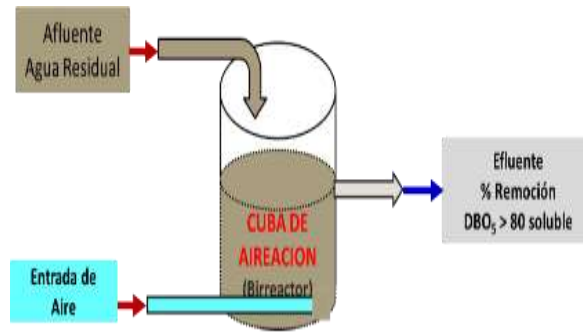


Figura 8. Planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco

Caracterización del “agua residual” cruda (Afluente):

A unos 50 metros de distancia, se encuentra el canal de distribución de aguas residuales que conduce hacia las primeras lagunas anaeróbicas. En este punto, se ha acondicionado para llevar a cabo mediciones del caudal. El canal presenta una sección rectangular con dimensiones de 10 metros de longitud y 76 centímetros de ancho. Para medir el caudal, se utiliza una regla de 1 metro para determinar la altura del agua en el canal, y se emplea un trozo de madera de 10 cm³ para calcular el tiempo necesario para que el agua recorra los 10 metros de longitud del canal. Figura 9 y Figura 10.



Figura 9. Ubicación de la medición en tiempo real de la toma de muestra a la entrada de aguas residuales a la planta de tratamiento



Figura 10. Recajo de muestras de aguas residuales al ingreso de la planta de tratamiento

El agua cruda fue sometida a ensayos fisicoquímicos siguiendo los parámetros establecidos para el agua residual obtenida de la planta de tratamiento de aguas residuales, como se detalla en la Tabla 4.

PTAR-Boca del Rio, las características físicas, químicas y microbiológicas del agua residual a utilizar variarán según su origen, especialmente en el caso de lodos activados. Por lo tanto, es fundamental identificar y analizar estas propiedades para su adecuado manejo y tratamiento[48].

Parámetros físico-químico- bacteriológico

Capacidad de flujo

✓ Qps = 90.12 lts/seg. (Caudal en colector)

Tabla 4. Caracterización del afluente de las JS-PTAR-Boca del Rio

Parámetros	Unidad	LMP	Afluente
			AJS-PTAR-01 20.08.2023 Hora: 08:00 am
Aceites y Grasas	mg/L	20	24
Coliformes Totales	NMP/100ml	10000	1.7x10 ⁶
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	10000	1.7x10 ⁵
DBO5	mg/L	100	310

DQO	mg/L	200	355
pH	Unidad de pH	6.5 – 8.5	8.61
Solidos Totales Suspendidos	mg/L	150	128.5
Temperatura (Max.)	°C	< 35	28.3

Caracterización a la salida de las aguas residuales hacia el río pisco (Efluente):

Se seleccionó una sección recta de 10 metros de longitud en el canal de salida de la PTAR "Boca del Río" que presenta las mismas características que el canal de ingreso para llevar a cabo la medición del caudal de las aguas residuales tratadas.

El problema que se presenta en este punto de captación de caudal se relaciona con la longitud del canal de salida hacia el río Pisco, que abarca aproximadamente 800 metros. A lo largo de este canal, agricultores han instalado compuertas de forma rudimentaria para desviar el agua tratada y utilizarla en el riego de cultivos de tallo alto.



Figura 11. Ubicación donde se realiza la medición de las aguas residuales que fluyen hacia el río Pisco

Esto provoca la retención de las aguas tratadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), lo que afecta el proceso de tratamiento de las aguas residuales. Figura 11. Tabla 5.

Tabla 5. Caracterización del JS-PTAR-Boca del Rio

Parámetros	Unidad	LMP	Efluente
			EJS-RFA-01 20.08.2023 Hora: 9:00 am
Aceites y Grasas	mg/L	20	0.69
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	10000	3200
DBO5	mg/L	100	51
DQO	mg/L	200	58.4
pH	Unidad de pH	6.5 – 8.5	7,81
Solidos Totales Suspendidos	mg/L	150	77.6
Temperatura (Max.)	°C	< 35	25

Coefficiente de transformación (f)

El estudio se realizó en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de aguas residuales – Boca del Rio. El 20 de agosto del 2023, donde se determinó la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y la demanda química de oxígeno (DQO). Luego se calculó el coeficiente de transformación (f) según la siguiente expresión:

$$f = \frac{DBO_5}{DQO}$$

$$f = \frac{310}{355}$$

$$f = 0.873$$

Por lo tanto, El valor de "f" igual a 0.873 refleja que el agua residual de la Planta de Tratamiento Boca del Río en Pisco es altamente biodegradable, lo que significa que es altamente susceptible de ser tratada mediante procesos biológicos. Este

hallazgo respalda la importancia de realizar la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor Bach, ya que está directamente relacionado con la degradación ambiental y la calidad del agua, que está influenciada por la velocidad del oxígeno disuelto que se lleva a cabo la medición en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco

3.2. Determinar el tiempo de permanencia de la carga orgánica en el reactor Bach y la velocidad del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco

En el reactor Bach, funciona considerando diferentes tiempos de permanencia de la carga orgánica. En este caso, se utilizan cinco reactores, cada uno con un tiempo de retención específico: 24 horas para el primer reactor, 48 horas para el segundo reactor, 72 horas para el tercer reactor, 96 horas para el cuarto reactor y 120 horas para el quinto reactor. Estos tiempos de retención determinan cuánto tiempo permanece la carga orgánica en cada reactor, lo que afecta la eficiencia del proceso de tratamiento.

El proceso de recolección de datos se realiza mediante la toma de muestras en cada reactor. Se recopilan muestras de agua cada 5 minutos durante un período de 30 minutos en cada reactor. Estos datos permiten conocer la concentración de oxígeno disuelto en el agua a lo largo del tiempo y evaluar su evolución en relación con el tiempo de permanencia de la carga orgánica en cada reactor.

Además, se lleva a cabo la inyección de aire en los reactores, con una duración de treinta minutos cada 12 horas. Esta inyección de aire es fundamental para mantener condiciones aeróbicas en el sistema, lo que favorece la actividad microbiana responsable de la descomposición de la materia orgánica.

Por lo tanto, el proceso implica la variación de tiempos de retención de carga orgánica en los reactores y la recopilación de datos de oxígeno disuelto a lo largo del tiempo, junto con la inyección de aire para mantener un ambiente adecuado para el tratamiento biológico de las aguas residuales. Este enfoque

permite evaluar la eficiencia del sistema en función de diferentes condiciones operativas. Ver tabla 6 tabla 7.

Tabla 6. Caracterización de la DBO₅ en el Reactor Bach

Parámetros	Unidad	LMP	Efluente				
			R-01	R-02	R-03	R-04	R-05
			21.08.2023 Hora: 10:00 am	22.08.2023 Hora: 10:00 am	23.08.2023 Hora: 10:00 am	24.08.2023 Hora: 10:00 am	25.08.2023 Hora: 10:00 am
“Aceites y Grasas”	mg/L	20	0.65	0.47	0.23	0.11	0.07
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	10000	7.4x10 ³	6.8x10 ³	5.9x10 ³	4.1 x 10 ³	3.2 x 10 ³
DBO₅	mg/L	100	209	114	87	63	51
DQO	mg/L	200	241,4	132.1	101.3	74.8	59.4
pH	Unidad de pH	6.5 – 8.5	8.51	8.34	8,03	7,89	7,81
Solidos Totales Suspendidos	mg/L	150	96.8	91.3	85.4	79.8	77.6
Temperatura (Max.)	°C	< 35	25	25	25	25	25

Tabla 7. Resultado del tiempo de permanencia de la carga orgánica en el reactor Bach y velocidad del oxígeno disuelto

Parámetros	Unidad	Fecha	Dia	Periodo	Reactores Bach	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS (D.S. N°003-2010-MINAM)
DBO ₅	mg/L	20.08.2023 (10:00 am)	0	---	310	100
		21.08.2023 (10:00 am)	1	24 horas	209	
		22.08.2023 (10:00 am)	2	48 horas	114	
		23.08.2023 (10:00 am)	3	72 horas	87	
		24.08.2023 (10:00 am)	4	96 horas	63	
		25.08.2023 (10:00 am)	5	120 horas	51	

Velocidad de consumo de oxígeno (VUO)

Los valores de velocidad de utilización de oxígeno (VUO) hacen referencia a la pendiente que se observa en el gráfico de la concentración de oxígeno disuelto (OD) en función del tiempo, observada en las muestras R-01, R-02, R-03, R-04 y R-05. Estas muestras se obtuvieron del reactor anaerobio de flujo ascendente. La VUO es una medida que nos proporciona información sobre la velocidad a la cual los microorganismos en el reactor están consumiendo el oxígeno disuelto en el agua residual, lo que es un indicador importante del proceso biológico en curso en el reactor[49].

- Cálculo del volumen corregido:

$$V_{\text{Corregido}} = \frac{V_{\text{Titular}} (V_{\text{Muestreado}} - V_{\text{Desplazado}})}{V_{\text{Muestreado}}}$$

- Cálculo del oxígeno disuelto (OD):

$$OD \text{ (mg/l)} = \frac{\text{Molaridad}_{\text{Tiosulfito de sodio}} * V_{\text{Tiosulfito de Sodio}} * 8000}{V_{\text{Corregido}}}$$

La eficiencia del sistema de difusores se ve considerablemente influenciada por la capacidad de transferencia de oxígeno en un reactor biológico, la cual es un factor crítico en el proceso de absorción. La velocidad de transferencia de masa está intrínsecamente ligada a varios parámetros, siendo el más crucial de todo el coeficiente de transferencia de masa kLa. En los diversos sistemas fermentativos, se describe cómo se lleva a cabo la transferencia de oxígeno desde la fase gaseosa a la fase líquida, donde los microorganismos degradan la materia orgánica en el reactor de lodos activados. La obtención de valores de Velocidad de Consumo de Oxígeno (VUO), los cuales se derivan de la pendiente observada en el gráfico que representa la concentración de Oxígeno Disuelto (OD) en función del tiempo. La medición de OD se realiza mediante un procedimiento de titulación redox en un reactor de lodos activados que se encuentra suspendido en el agua residual.

Tabla 8. Muestra 1, 21.08.2023 (24 horas) toma de muestra 10:00 a.m.

N°	Tiempo min	V _{Muestra} ml	V _{Corregido} ml	V _{Tiosulfato} ml	OD mg/l
1	5	110	48.86	0.94	3.85
2	10	110	48.86	0.91	3.72
3	15	110	48.86	0.67	2.74
4	20	110	48.86	0.41	1.68
5	25	110	48.86	0.32	1.31

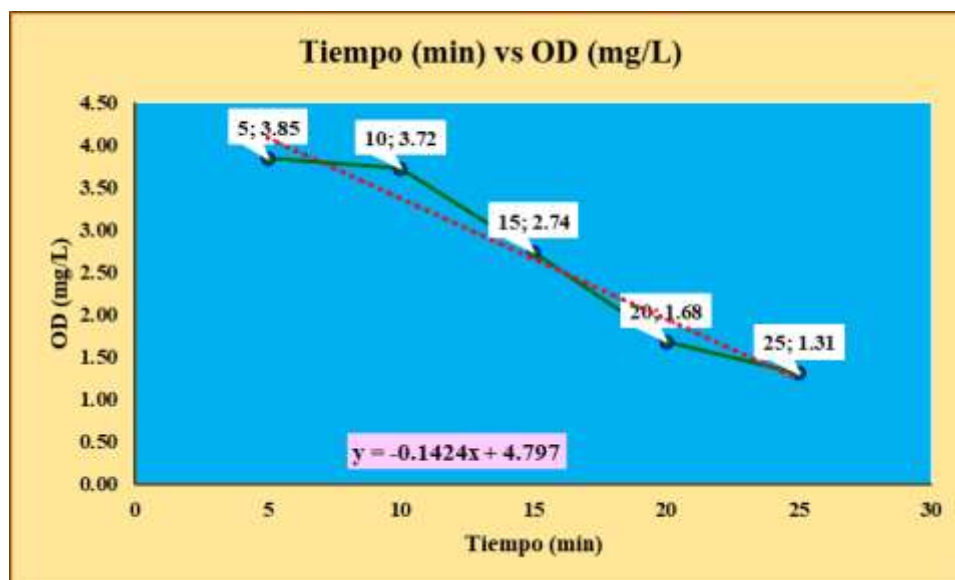


Figura 12. Oxígeno Disuelto para 24 horas, con un VUO de (-0.1424)

Tabla 9. Muestra 2, 22.08.2023 (48 horas) toma de muestra 10:00 a.m.

N°	Tiempo min	V _{Muestra} ml	V _{Corregido} ml	V _{Tiosulfato} ml	OD mg/l
1	5	110	48.98	0.92	3.76
2	10	110	48.98	0.88	3.59
3	15	110	48.98	0.71	2.90
4	20	110	48.98	0.43	1.76
5	25	110	48.98	0.31	1.27

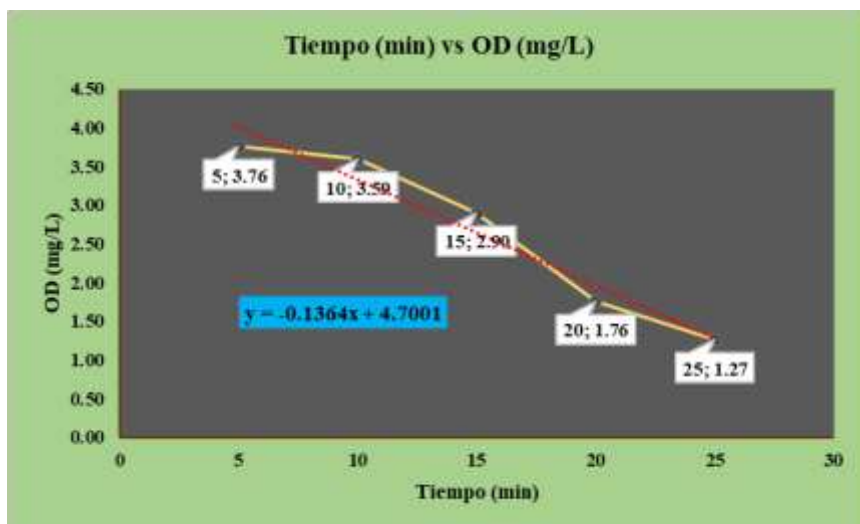


Figura 13. Oxígeno Disuelto para 48 horas, con un VUO de (-0.1364)

Tabla 10. Muestra 3, 23.08.2023 (72 horas) toma de muestra 10:00 a.m

N°	Tiempo min	V _{Muestra} ml	V _{Corregido} ml	V _{Tiosulfato} ml	OD mg/l
1	5	110	49.09	0.75	3.06
2	10	110	49.09	0.67	2.73
3	15	110	49.09	0.66	2.69
4	20	110	49.09	0.65	2.65
5	25	110	49.09	0.61	2.49

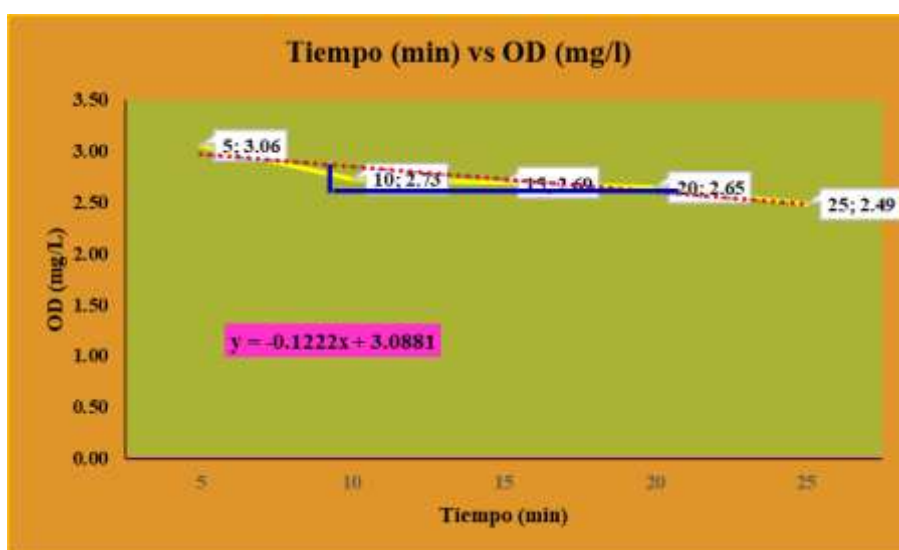


Figura 14. Oxígeno Disuelto para 72 horas, con un VUO de (-0.1222)

Tabla 11. Muestra 4, 24.08.2023 (96 horas) toma de muestra 10:00 a.m.

N°	Tiempo min	V _{Muestra} ml	V _{Corregido} ml	V _{Tiosulfato} ml	OD mg/l
1	5	110	49.32	0.74	3.00
2	10	110	49.32	0.67	2.72
3	15	110	49.32	0.66	2.68
4	20	110	49.32	0.65	2.64
5	25	110	49.32	0.61	2.47

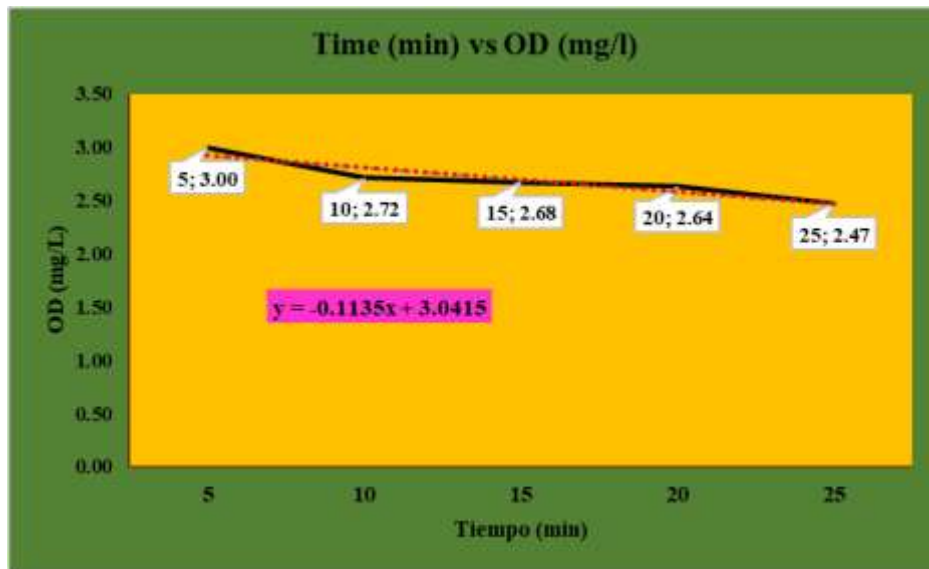


Figura 15. Oxígeno Disuelto para 96 horas, con un VUO de (-0.1135)

Tabla 12. Muestra 5, 25.08.2023 (120 horas) toma de muestra 10:00 a.m.

N°	Tiempo min	V _{Muestra} ml	V _{Corregido} ml	V _{Tiosulfato} ml	OD mg/l
1	5	110	49.55	0.73	2.95
2	10	110	49.55	0.68	2.74
3	15	110	49.55	0.66	2.66
4	20	110	49.55	0.65	2.62
5	25	110	49.55	0.62	2.50

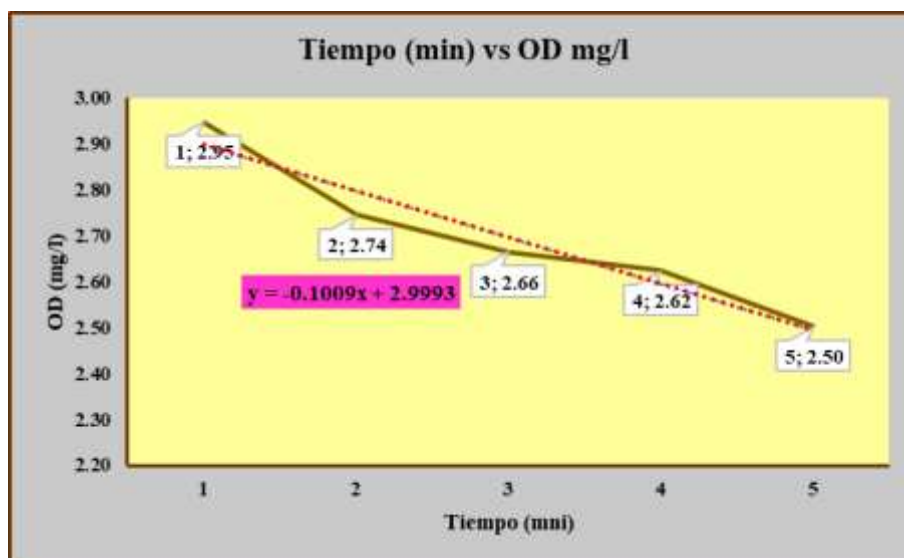


Figura 16. Oxígeno Disuelto para 120 horas, con un VUO de (-0.1009)

Las pendientes de las VUO (Velocidad de Utilización de Oxígeno) representan cómo cambia la concentración de oxígeno disuelto (OD) en función del tiempo en cinco situaciones diferentes (VUO-R-01, VUO-R-02, VUO-R-03, VUO-R-04 y VUO-R-05). Estos valores indican la velocidad a la que los microorganismos consumen oxígeno en cada uno de los cinco casos, lo que está relacionado con la capacidad del reactor para tratar la carga orgánica y mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto en el agua residual. Por lo que se obtiene diferentes pendientes considerando tiempos de 24 horas, 48 horas, 72 horas, 96 horas y 120 horas, pueden reflejar diferentes tasas de consumo de oxígeno en función de las condiciones del reactor y la calidad del agua residual.

3.3. Estimar la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor Bach puede tener un impacto significativo en la reducción de la carga orgánica en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco

Para abordar este objetivo, en primer lugar, se evaluó el posible impacto de la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno (kLa) en la reducción de la carga orgánica. Luego, se recolectaron datos mediante mediciones directas realizadas en el reactor Bach (R-01, R-02, R-03, R-04 y R-05), utilizando aguas provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales en Boca del Río, Pisco. Estos datos sirvieron como punto de partida para obtener conclusiones más

sólidas y se analizó la relación entre el kLa y la carga orgánica en diferentes tipos de aguas residuales.

Tabla 13. Días de experimentación vs DBO5

kLa	DBO5
-0.2045	310
-0.1424	209
-0.1364	114
-0.1222	87
-0.1135	63
-0.1009	51

El tercer paso consistió en utilizar el análisis estadístico de regresión simple. La regresión lineal es una técnica estadística que se emplea para estimar la relación entre dos variables. En este contexto, las dos variables de interés son “el coeficiente de transferencia de oxígeno” (kLa) y la carga orgánica.

Con los datos obtenidos en la tabla 13.

kLa: “El coeficiente de transferencia de oxígeno”, medido en unidades de m³/h/m³.

DBO5: La demanda bioquímica de oxígeno en 5 días, medida en unidades de mg/l.

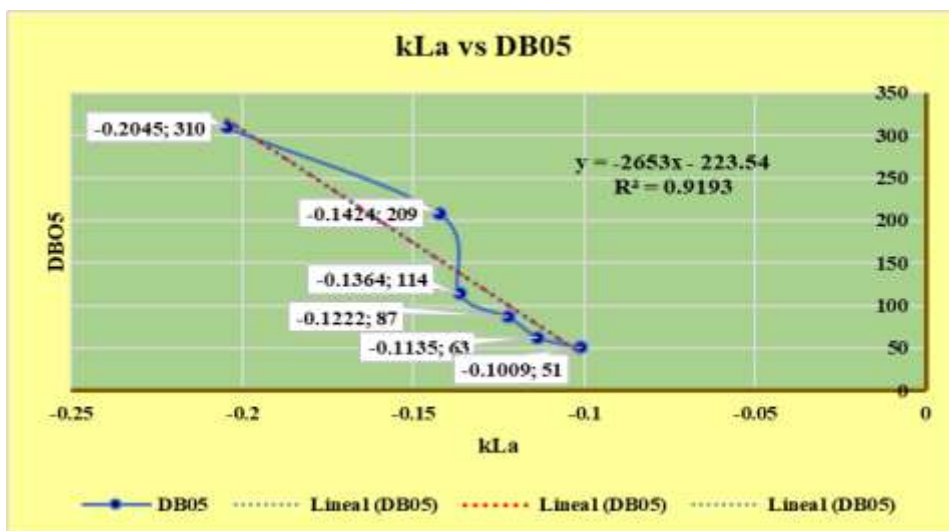


Figura 17. kLa vs Oxígeno disuelto

El análisis de regresión lineal muestra un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9193, lo que equivale al 91.93%. Este valor refleja la fortaleza de la relación entre las dos variables analizadas. Un R^2 alto indica que la relación entre las variables es sólida y coherente. En este contexto, sugiere que un incremento en el coeficiente de transferencia de oxígeno (kLa) está asociado a una reducción en la carga orgánica. En otras palabras, a medida que el kLa aumenta, se espera que disminuya la cantidad de materia orgánica presente, lo que demuestra la importancia de la medición precisa de kLa en la eficiencia del proceso de tratamiento de aguas residuales.

Además de llevar a cabo el análisis de regresión lineal, se procedió a realizar un análisis estadístico de regresión simple para una comprensión más profunda de la relación entre el tiempo y la carga orgánica. Los resultados se presentan en la Tabla 14 y se ilustran en la Figura 17.

Tabla 14. Días de experimentación vs DBO5

No de observaciones	Días de experimentación	DBO5		
	x	y	x^2	xy
1	0	310	0	0
2	1	209	1	209
3	2	114	4	228
4	3	87	9	261
5	4	63	16	252
6	5	51	25	255
Total, sumas	15	834	55	1205

$$n = 6$$

$$\text{Pendiente} = \beta_1 = -50.286$$

$$\text{Intercepto} = \beta_0 = 264.714$$

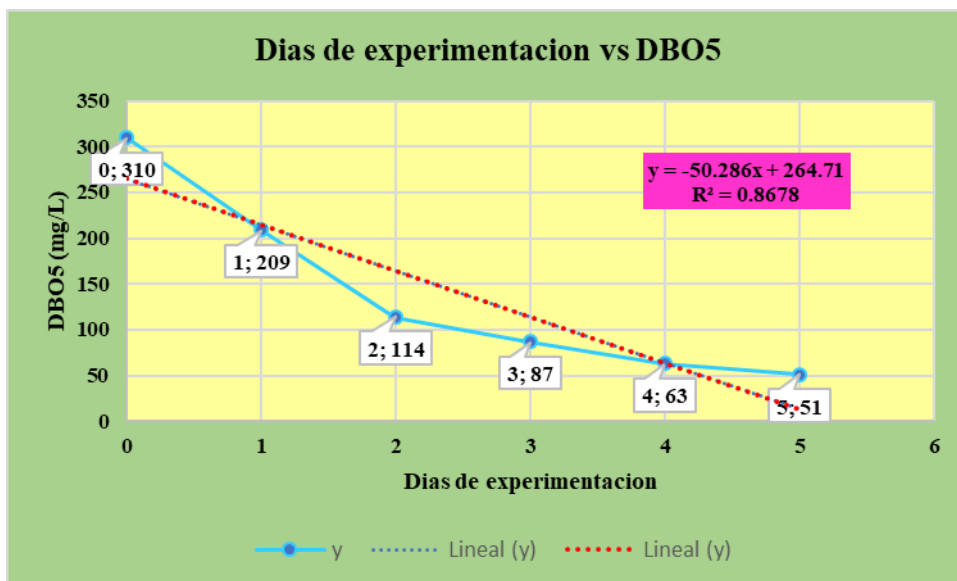


Figura 18. Días de permanencia vs Oxígeno disuelto

El análisis de los resultados obtenidos muestra una disminución significativa de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en el período de 5 días. A medida que pasa el tiempo, la concentración de DBO en el agua residual disminuye progresivamente.

El análisis de regresión lineal muestra un coeficiente de determinación (R^2) de 0.8678 (Figura 17), lo que equivale al 86.78%. Este valor refleja la fortaleza de la relación entre la variable “medición del coeficiente de transferencia de oxígeno” en un reactor Bach puede tener un impacto significativo con la dimensión la reducción de la carga orgánica en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río.

Esto sugiere que los microorganismos en el sistema de tratamiento están descomponiendo la materia orgánica presente en el agua residual de manera efectiva. Los datos respaldan la eficacia del proceso de tratamiento en la reducción de la carga orgánica de las aguas residuales de Boca del Río, Pisco. Estos resultados son consistentes con el objetivo de estimar el impacto de la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno (kLa) en la reducción de la carga orgánica en el reactor Bach.

IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. **Discusión de resultado de la fundamentación de la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor Bach y la velocidad del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco**

El aumento del kLa con la concentración de OD se debe a que el oxígeno disuelto es el sustrato para la reacción de oxidación biológica, que es el principal mecanismo de tratamiento de aguas residuales en un reactor bach. A medida que la concentración de OD aumenta, la reacción de oxidación biológica se acelera, lo que conduce a un aumento en la transferencia de oxígeno.

El aumento del kLa con la temperatura también se debe a que la velocidad de las reacciones químicas aumenta con la temperatura. En el caso de la reacción de oxidación biológica, un aumento en la temperatura conduce a un aumento en la tasa de respiración de los microorganismos, lo que conduce a un aumento en la transferencia de oxígeno.

La disminución del kLa con el flujo de agua se debe a que un flujo de agua más rápido reduce el tiempo de contacto entre el oxígeno disuelto y los microorganismos. A medida que el tiempo de contacto disminuye, la cantidad de oxígeno que se transfiere a los microorganismos también disminuye.

4.2. **Discusión de resultado sobre el tiempo de permanencia de la carga orgánica en el reactor Bach y velocidad del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco.**

Los resultados de los cinco reactores (R-01, R-02, R-03, R-04, R-05) con diferentes tiempos de permanencia para la carga orgánica y su relación con la concentración de oxígeno disuelto (OD) proporcionan información valiosa. Al observar la tendencia de la concentración de OD en función del tiempo, es evidente que a medida que se aumenta el tiempo de permanencia de la carga orgánica en los reactores, la concentración de OD disminuye. Para *Sanabria*, que esto implica que los microorganismos presentes en el reactor utilizan el oxígeno

para llevar a cabo la degradación de la materia orgánica contenida en el agua residual. Para lograr una eficiencia óptima en la transferencia de oxígeno, es crucial mantener una marcada diferencia de concentración entre el oxígeno presente en el aire y el oxígeno disuelto en el agua[49]

El valor de VUO (Velocidad de Utilización de Oxígeno) es negativo en todos los casos, lo que indica que se está consumiendo oxígeno. Cuanto más negativo sea el valor de VUO, más rápido se consume el oxígeno, lo que está relacionado con una mayor actividad microbiana y, por lo tanto, una mayor capacidad de degradación de la materia orgánica. Para *Herrera et al.*, La velocidad de transferencia de oxígeno (VUO), a través de la aeración y/o aireación, es una operación unitaria de gran importancia que juega un papel central en los procesos biológicos empleados en el tratamiento de aguas residuales [50].

Estos resultados sugieren que los reactores con tiempos de permanencia más largos tienen una mayor eficiencia en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) debido a una mayor actividad microbiana y, por lo tanto, un mayor consumo de oxígeno. Esta información es importante para comprender la relación entre el tiempo de permanencia de la carga orgánica y la calidad del agua tratada en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco.

4.3. Discusión de resultados de la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno en un reactor Bach y la reducción de la carga orgánica en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco.

En la discusión de resultados, se observó que la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) disminuye de manera significativa durante el período de 5 días de monitoreo. Esto sugiere que el proceso de tratamiento en la planta de Boca del Río, Pisco, es altamente eficiente en la remoción de la materia orgánica presente en las aguas residuales. A medida que transcurren los días, se evidencia una reducción progresiva de la DBO, indicando que los microorganismos en el sistema de tratamiento están llevando a cabo una descomposición efectiva de la materia orgánica. Estos resultados respaldan la hipótesis de que la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno (kLa) puede influir en la reducción de la

carga orgánica, ya que un aumento en el oxígeno disuelto puede impulsar la actividad biológica que degrada la materia orgánica.

V. CONCLUSIONES

1. Los resultados de este estudio indican que la medición del kLa en un reactor batch es fundamental para el diseño y la operación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. El conocimiento del kLa permite a los ingenieros garantizar que los sistemas de tratamiento de aguas residuales estén operando de manera eficiente y efectiva, lo que contribuye a la protección del medio ambiente y la mejora de la calidad del agua.
2. La conclusión indica que al analizar el tiempo de permanencia de la carga orgánica en el reactor Bach y la velocidad del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales en Boca del Río, Pisco, se observó una clara relación entre estos parámetros. Los resultados indicaron que a medida que se incrementa el tiempo de permanencia en el reactor, la velocidad de oxígeno disuelto tiende a disminuir, lo que sugiere un mayor consumo de oxígeno por parte de los microorganismos en el proceso de degradación de la materia orgánica. Esto subraya la importancia de controlar y optimizar estos parámetros para garantizar una eficiente remoción de la materia orgánica en el proceso de tratamiento de aguas residuales.
3. En conclusión, los resultados obtenidos en este estudio respaldan la hipótesis de que la medición del coeficiente de transferencia de oxígeno (kLa) desempeña un papel crucial en la reducción de la carga orgánica en la planta de tratamiento de aguas residuales Boca del Río, Pisco. A medida que el kLa aumenta, se observa una disminución significativa en la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) en el agua residual tratada. Además, se evidencia que un mayor tiempo de residencia en el proceso de tratamiento contribuye a una mayor eficiencia en la remoción de la materia orgánica. Estos hallazgos subrayan la importancia de monitorear y controlar el oxígeno disuelto en los reactores biológicos y la necesidad de diseñar sistemas que permitan un mayor tiempo de contacto entre el agua residual y los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica.

VI. RECOMENDACIONES

1. Basándose en los resultados de este estudio, se recomienda que la Planta de Tratamiento Boca del Río en Pisco continúe monitoreando el kLa para garantizar que el sistema esté operando de manera eficiente. Además, se recomienda que la planta realice estudios adicionales para determinar la influencia de otros factores, como la concentración de sólidos suspendidos y la presencia de contaminantes, en el kLa . Estos estudios adicionales proporcionarán información valiosa para mejorar aún más el diseño y la operación de la planta.
2. Basándonos en los resultados obtenidos en el análisis del tiempo de permanencia de la carga orgánica en el reactor Bach y la velocidad del oxígeno disuelto en la planta de tratamiento de aguas residuales en Boca del Río, Pisco, se recomienda que se realice un monitoreo continuo y control riguroso de estos parámetros. Es esencial considerar el tiempo de permanencia en el reactor y ajustar las condiciones operativas para garantizar una adecuada concentración de oxígeno disuelto que permita una óptima eficiencia en la degradación de la materia orgánica. Además, se sugiere llevar a cabo investigaciones adicionales para mejorar aún más el proceso de transferencia de oxígeno en el reactor Bach, lo que contribuirá a una mejor calidad del agua tratada en la planta de tratamiento de aguas residuales.
3. En función de los resultados obtenidos en este objetivo, se pueden realizar algunas recomendaciones clave para optimizar el tratamiento de aguas residuales en la planta de Boca del Río, Pisco. Es fundamental mantener un monitoreo constante del coeficiente de transferencia de oxígeno (kLa) en los reactores bach o biológicos para garantizar un control efectivo sobre la eliminación de la carga orgánica. Esto permitirá ajustar las operaciones según sea necesario y mantener la eficiencia del sistema a largo plazo. Además, se sugiere explorar la posibilidad de ajustar tanto el diseño como el funcionamiento de los reactores para maximizar el kLa . Esto podría incluir la optimización de la aireación y la recirculación de biomasa, así como evaluar cómo diferentes tipos de aguas

residuales influyen en el kLa. Otro enfoque importante podría ser considerar la viabilidad de prolongar el tiempo de retención del agua residual en los reactores biológicos. Esto podría implicar la expansión de la capacidad de los reactores o la implementación de etapas adicionales en el proceso de tratamiento. Finalmente, se destaca la importancia de sensibilizar tanto a las industrias como a los hogares que descargan aguas residuales en la planta de Boca del Río, para que cumplan con las regulaciones ambientales y reduzcan la carga orgánica en la fuente. Esto no solo aliviará la presión sobre el sistema de tratamiento, sino que también contribuirá a una protección ambiental más sólida y sostenible.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. R. Banu, S. Kaliappan, and I. T. Yeom, "Treatment of domestic wastewater using upflow anaerobic sludge blanket reactor," *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, vol. 4, no. 3, pp. 363–370, 2007, doi: 10.1007/BF03326295.
- [2] S. Martinez and M. Rodriguez, *Tratamiento de aguas residuales con matla*. Mexico - Mexico: Reverte Ediciones S.A. de C.V., 2005.
- [3] F. Garcia-Ochoa and E. Gomez, "Bioreactor scale-up and oxygen transfer rate in microbial processes: An overview," *Biotechnol. Adv.*, vol. 27, no. 2, pp. 153–176, 2009, doi: 10.1016/j.biotechadv.2008.10.006.
- [4] E. A. Mallqui Canchumanya, "Evaluación de la velocidad de transferencia de oxígeno, en un sistema de aireación de agua Mallqui," Universidad Nacional del Centro del Peru, 2019.
- [5] F. Kargi and S. Eker, "Comparison of performances of rotating perforated tubes and rotating biodiscs biofilm reactors for wastewater treatment," *Process Biochem.*, vol. 37, no. 11, pp. 1201–1206, 2002, doi: 10.1016/S0032-9592(01)00338-7.
- [6] E. Durán Herrera and G. Rojas Meza, "Modelacio de la transferencia de oxígeno en sistemas de aeración analizado mediante un modelo de dos zonas simplificado," *Cienc. y Tecnol. (San José)*, vol. 24, no. 2, p. 20 Pag., 2006.
- [7] X. Wang and S. Zang, "Distribution Characteristics and Ecological Risk Assessment of Toxic Heavy Metals and Metalloid in Surface Water of Lakes in Daqing Heilongjiang Province, China," *Ecotoxicology*, vol. 23, no. 4, pp. pages609–617, 2014, doi: 10.1007/s10646-014-1177.
- [8] H. Yuan, W. Pan, Z. Zhu, Y. Wei, Q. Geng, and S. An, "Ecological risk assessment of heavy metals in sediments of a riverine wetland, huaihe river watershed, China," *Ecol. Chem. Eng. S*, vol. 22, no. 2, pp. 231–242, 2015, doi: 10.1515/eces-2015-0013.
- [9] K. Tian *et al.*, "Ecological risk assessment of heavy metals in sediments and

- water from the coastal areas of the Bohai Sea and the Yellow Sea,” *Environ. Int.*, vol. 136, no. January, p. 105512, 2020, doi: 10.1016/j.envint.2020.105512.
- [10] C. E. Perez Cruz, “Evaluación De La Calidad Del Agua De Mar En Playas Recreativas En El Corredor Turístico De Los Cabos, B.C.S.,” Centro de Investigaciones Biologicas del MOoreste S.C., 2010.
- [11] A. A. Jiménez Chunga, “Calidad Del Agua De Las Lagunas De Oxidación De Covicorti, Trujillo- La Libertad,” Universidad Nacional de Trujillo, 2014.
- [12] T. Alfaro, “Costa peruana concentra más del 60% de población pero disponibilidad del agua es 2.2%.,” *Diario Gestion*, Ica-Peru, p. 6, May 2015.
- [13] D. Soto-Carbajal, M. Portuguez-Maurtua, E. Contreras-Lopez, M. D. la Cruz-Quevedo, H. O. Chávez-Angulo, and J. A. Llahuilla-Quea, “Environmental Risk Assessment for the Disposal of Clandestine Solid Waste on the Riversides of the Opamayo and Sicra Rivers in Lircay-Huancavelica,” *Ecol. Eng. Environ. Technol.*, vol. 25, no. 2, pp. 157–167, 2024, doi: 10.12912/27197050/176108.
- [14] N. Rangel-Buitrago, I. D. Correa, G. Anfuso, A. Ergin, and A. T. Williams, “Assessing and managing scenery of the Caribbean Coast of Colombia,” *Tour. Manag.*, vol. 35, no. 2013, pp. 41–58, 2013, doi: 10.1016/j.tourman.2012.05.008.
- [15] R. Erazo and J. Cárdenas, “Determinación experimental del coeficiente de transferencia de oxígeno (KLa) en un bioreactor batch,” *Rev. Peru. Química e Ing. Química*, vol. 4, no. 2, pp. 22–27, 2011.
- [16] A. Noyola, J. M. Morgan-Sagastume, and L. P. Guereca, *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*, 1ra Edicio. Mexico: Instituto de Ingenieria - UNAM, 2015. doi: 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12.
- [17] Decreto Supremo N°003-MINAM (Ministerio del Ambiente), “Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Aprueban Limites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales,” *Normas Legales El Peruano*. Normas Legales. El Peruano Lima, miércoles 17 de marzo de 2010, Lima-Perú, pp. 1–2, 2010.
- [18] E. Montoya, “Evaluación de alternativas para la instalación de un Sistema de

- Tratamiento de Aguas Residuales con fines de riego agrícola en el sub sector San Agustín – Callao (Perú),” Universidad Nacional Agraria La Molina, 2007.
- [19] Metcalf and Eddy, *Ingeniería de Aguas Residuales. Volimen I: Tratamiento, Vertido y Reutilización*, Tercera Ed. España, 2016.
- [20] J. Ferrer and A. Seco, *Tratamientos biológicos de aguas residuales*, Primera Ed. Mexico: Alfa Omega Grupo Editor, 2008.
- [21] L. Ramirez and M. Duran, *Demanda química de oxígeno de muestras acuosas. Serie: Química Ambiental de los Residuos Peligrosos, Volumen 1*. Mexico: Programa de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental (PIQAYQA) Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, 2008.
- [22] A. Vasquez and E. Valdez, *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales tratamiento de agua*. Mexico: Fundacion ICA mexico, 2003.
- [23] J. Diaz Alvarez, “Tratamiento biológico como alternativa para disminuir el impacto ambiental ocasionado por el drenaje ácido, generado por la actividad minera en el Municipio de Marmato- Caldas,” UNIVERSIDAD DE MANIZALES, 2013.
- [24] P. Córdova Mendoza, D. F. Calderón Huamaní, and G. Argota Pérez, “Medición del coeficiente de transferencia del oxígeno en aguas residuales,” *Campus*, vol. 23, no. 26, pp. 123–128, 2018, doi: 10.24265/campus.2018.v23n26.02.
- [25] R. A. Lopez Hernandez and K. L. Herrera Panduro, “Planta de tratamiento de aguas residuales para reúso en riego de parques y jardines en el distrito de la Esperanza, Provincia Trujillo, La Libertad,” Facultad de Ingeniería. Universidad Privado Antenor Orrego, 2015.
- [26] C. Bandaipheth and P. Prasertsan, “Effect of aeration and agitation rates and scale-up on oxygen transfer coefficient, kLa in exopolysaccharide production from *Enterobacter cloacae* WD7,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 66, no. 2, pp. 216–228, 2006, doi: 10.1016/j.carbpol.2006.03.004.
- [27] J. Weber and F. A. Agblevor, “Microbubble fermentation of *Trichoderma reesei*

- for cellulase production,” *Process Biochem.*, vol. 40, no. 2, pp. 669–676, 2005, doi: 10.1016/j.procbio.2004.01.047.
- [28] C. Sieblist, M. Jenzsch, and M. Pohlscheidt, “Equipment characterization to mitigate risks during transfers of cell culture manufacturing processes,” *Cytotechnology*, vol. 68, no. 4, pp. 1381–1401, 2016, doi: 10.1007/s10616-015-9899-0.
- [29] M. Tipacti, “Curso Investigación I.” Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental. Postgrado de Ingeniería Ambiental Mención en tratamiento de aguas contaminadas y reúso de desechos., Lima, 2018.
- [30] N. R. Méndez, V. R. Mena, B. R. E. Castillo, and R. M. R. Sauri, “Evaluación de un reactor UASB para aguas porcinas inoculado con líquido ruminal Evaluation of a UASB reactor for swine wastewater inoculated with ruminal liquid,” vol. 17, no. 1, p. 16 Pag., 2013.
- [31] DISEPROSA, “Planta de Tratamiento de Lodos de la Depuradora de San Adriá Del Besós,” Madrid - España, 2015.
- [32] R. Ramalho, “Tratamiento de Aguas Residuales,” Barcelona:, 2003.
- [33] C. Política, *Constitucion Politico del Peru de 1993*. 1993, p. 32 Pag.
- [34] D. L. N°17752, “Ley General de Aguas. Decreto Ley N° 17752,” *El Presidente de la República*. Lima, p. 34, 1969. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [35] N. 6.-A. Decreto Supremo, “Decreto Supremo N° 261.69-AP. Reglamento de los Títulos I, II Y III del Decreto Ley No. 17752 ‘Ley General de las Aguas.’” REGLAMENTO DE LOS TITULOS I, II Y III DEL DECRETO LEY No. 17752 “LEY GENERAL DE AGUAS,” Lima - Perú, p. 37 pp., 1969.
- [36] Ley_General-del-Ambiente_N°28611, “Ley General del Ambiente N° 28611.” Lima - Perú, p. 35 pag., 2005.
- [37] Ley N°28245, “Ley Marco del Sistema Nacional de Gestion Ambiental.” Congreso de la Republica, Lima - Perú, p. 13 Pag., 2005.
- [38] L. del S. N. de E. de I. Ambiental, “Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental – Ley N° 27446. Artículo 3.” p. 8 pp., 2001.

- [39] L. de R. H. N°29338, “Ley de Recursos Hídricos N°29338.” PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA, Lima-Perú, p. 40 pp., 2009.
- [40] R. Hernandez Sampieri, C. Fernandez Collado, and M. del P. Baptista Lucio, *Definición del alcance de la investigación a realizar: exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa*. 2010.
- [41] J. Supo, *Cómo escribir una tesis: Redacción del informe final de tesis*, Primera Ed. Lima - Perú: BIOESTADISTICO EIRL, 2015.
- [42] M. del M. Solano, “Impacto ambiental por aguas residuales y residuos sólidos en la calidad del agua de la parte media- alta de la microcuenca del río Damas y propuesta de manejo,” Universidad Nacional Costa Rica, 2018.
- [43] N. 28611 Ley General del Ambiente, *LEY N° 28611. Ley General del Ambiente*. 2005, p. 45 Pag. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [44] M. de Salud., “Decreto Supremo N°031-2010. Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano.” Publicado en El Diario oficial en peruano, del 26 de setiembre de 2010.Perú, Lima-Perú, 2010.
- [45] J. Romero Rojas, *Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño*. Colombia: Editorial Escuela colombiana de Ingeniería, 2010.
- [46] C. López, G. Buitrón, H. García, and C. Cervantes, *Tratamiento biológico de aguas residuales : principios, modelación y diseño*, London IWA. Londres - Paris, 2017.
- [47] I. C. Córdova and F. M. Mazuelos, “Diseño de un Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente a Nivel de Laboratorio Para el Tratamiento de Agua Residual Municipal en el Distrito de Guadalupe,” Universidad Nacional “San Luis Gonzaga,” 2013.
- [48] PTAR-Boca del Rio, *Lagunas de Oxidación “Boca del Río” Manual de Operación*. Ica-Peru: EMAPISCO, 2000.
- [49] N. R. Sanabria Perez, “Rapidez de Transferencia de Oxígeno por Aireación de Agua Residual, en un Colector Rotativo Circular,” Universidad Nacional del Centro del Peru, 2021.

- [50] L. Hens *et al.*, “On the evolution of ‘Cleaner Production’ as a concept and a practice,” *J. Clean. Prod.*, vol. 172, pp. 3323–3333, 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2017.11.082.