

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ambiental

Trabajo de Investigación

**Influencia del tipo de sistema de aireación difuso
en la eficiencia de transferencia de oxígeno en aguas
residuales domésticas Huancayo-2020**

Lozano Povich Arlitt Amy

Para optar el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Ambiental

Huancayo, 2020

Repositorio Institucional Continental
Trabajo de investigación



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por permitirme realizar este trabajo de investigación y brindarme soporte en los momentos difíciles, sé que nunca me abandona.

Mi más sincero agradecimiento a todos mis familiares, en especial a mi mamita Betzi pues siempre me brinda palabras de aliento y me apoya en todo momento. Así mismo, a mi compañera de vida mi hermanita Danielita pues ella me impulsa a seguir cada día.

DEDICATORIA

A todas aquellas personas que luchan por lograr sus sueños y se esfuerzan para alcanzarlos pues entienden el verdadero significado de escribir tu propia historia.

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	11
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	11
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	11
1.1.1. Planteamiento del problema.....	11
1.1.2. Formulación del problema.....	12
1.2. Objetivos.....	12
1.2.1. Objetivo general.....	12
1.2.2. Objetivos específicos.....	12
1.3. Justificación e importancia.....	12
1.3.1. Económica.....	12
1.3.2. Ambiental.....	13
1.3.3. Social (salud, educación).....	13
1.3.4. Teórica.....	13
1.3.5. Tecnológica.....	13
1.4. Hipótesis y descripción de variables.....	13
1.4.1. Hipótesis general.....	13
1.4.2. Hipótesis nula.....	13
1.4.3. Hipótesis específicas.....	13
1.4.4. Hipótesis nulas específicas.....	14
1.4.5. Operacionalización de variables.....	14
CAPÍTULO II.....	15
MARCO TEÓRICO.....	15
2.1. Antecedentes del problema.....	15
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	15
2.2. Bases teóricas.....	18
2.2.2. Teorías biológicas.....	26
2.2.3. Metodología.....	27
2.3. Definición de términos básicos.....	29
CAPÍTULO III.....	30
METODOLOGÍA.....	30
3.1. Método y alcance de la investigación.....	30
3.1.1. Método.....	30
3.1.2. Nivel.....	32
3.1.3. Diseño de la Investigación.....	32
3.1.4. Población y muestra.....	33
3.2. Técnica e instrumentos de recolección de datos.....	33

CAPÍTULO IV	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información	34
4.1.1. Concentración de oxígeno disuelto	34
4.1.2. Coeficiente global de transferencia de masa.....	35
4.1.3. Velocidad de transferencia de oxígeno	36
4.1.4. Eficiencia	37
4.2. Prueba de Hipótesis.....	38
4.2.1. Hipótesis nula general de la investigación.....	38
4.2.2. Hipótesis nulas específicas de la investigación	39
4.3. Discusión de resultados	41
CONCLUSIONES	43
RECOMENDACIONES	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
ANEXOS.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables.....	14
Tabla 2. Clasificación de aguas residuales	18
Tabla 3. Componentes orgánicos de las aguas residuales	19
Tabla 4. Composición característica.....	19
Tabla 5. Presión de vapor de agua	21
Tabla 6. Métodos estables	27
Tabla 7. Métodos dinámicos	28
Tabla 8. Preparación de la muestra	31
Tabla 9. Niveles de las variables	32
Tabla 10. Diseño de los experimentos	32
Tabla 11. KLa promedio obtenidos.....	36
Tabla 12. Eficiencia promedio obtenida	38
Tabla 13. Descriptivos	38
Tabla 14. Análisis de varianza de un factor.....	38
Tabla 15. Descriptivos concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L).....	39
Tabla 16. Análisis de varianza de concentración de oxígeno disuelto (mg/L)	39
Tabla 17. Descriptivos de la velocidad de transferencia de oxígeno	40
Tabla 18. Análisis de varianza de la velocidad de transferencia de oxígeno	40
Tabla 19. Descriptivos del coeficiente global de transferencia de masa	40
Tabla 20. Análisis de varianza del coeficiente global de transferencia de masa.....	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Relación de la temperatura y K_{La}	21
Figura 2. Variación de α según la DBO.....	22
Figura 3. Variación de α en función del grado de turbulencia.....	22
Figura 4. Factores que afectan la transferencia de oxígeno.....	24
Figura 5: Balance general del sistema de aireación.....	26
Figura 6. Esquema de los procedimientos a seguir en la investigación.....	30
Figura 7. Concentración de oxígeno disuelto a) Sistema de aireación A b) Sistema de aireación B c) Sistema de aireación C.....	34
Figura 8. Coeficiente global de transferencia de masa a) Sistema de aireación A b) Sistema de aireación B c) Sistema de aireación C.....	35
Figura 9. Velocidad de transferencia de oxígeno a) Sistema de aireación A b) Sistema de aireación B c) Sistema de aireación C.....	36
Figura 10. Eficiencia de transferencia de oxígeno a) Sistema de aireación A b) Sistema de aireación B c) Sistema de aireación C.....	37

RESUMEN

En los tratamientos de aguas residuales domésticas de tipo biológico, una de las etapas que orienta a un mayor gasto energético es la aireación, resultando un elemento crítico cuando se pretende evaluar la elección de un sistema para el tratamiento de estas aguas. Ante esto, en la presente investigación se planteó como objetivo principal explicar la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la eficiencia de transferencia de oxígeno en aguas residuales domésticas. Para ello, se desarrollaron pruebas experimentales de aireación que permitieron obtener datos de oxígeno disuelto, velocidad de transferencia de oxígeno, coeficiente global de transferencia de masa y la eficiencia de transferencia de oxígeno empleando tres tipos de sistemas de aireación difuso (burbuja fina, burbuja gruesa y burbuja extragruesa). Con los resultados obtenidos, se llegó a establecer que, el tipo de sistema de aireación difuso tiene un efecto significativo en la eficiencia de transferencia de oxígeno ya que disminuye a medida que la concentración de oxígeno disuelto se incrementa. Finalmente, en todos los experimentos el tipo de sistema de aireación difuso A (burbuja fina) obtuvo los valores más representativos.

Palabras clave: *aireación, eficiencia, difusión*

ABSTRACT

In the treatment of domestic wastewater of a biological type, one of the stages that leads to greater energy expenditure is aeration, which is a critical element when evaluating the choice of a system for treating these waters. Given this, the main objective of this research was to explain the influence of the type of diffuse aeration system on the efficiency of oxygen transfer in domestic wastewater. To do this, experimental aeration tests were developed that allowed obtaining data on dissolved oxygen, oxygen transfer rate, global mass transfer coefficient and oxygen transfer efficiency using three types of diffuse aeration systems (fine bubble, thick bubble and extra thick bubble). With the results obtained, it was established that the type of diffuse aeration system has a significant effect on the efficiency of oxygen transfer since it decreases as the concentration of dissolved oxygen increases. Finally, in all the experiments the type of aeration system A (fine bubble) obtained the most representative values.

Keywords: *aeration, efficiency, diffusion*

INTRODUCCIÓN

La presencia de oxígeno disuelto en el agua, resulta primordial para llevar a cabo procesos tanto físicos y químicos permitiendo el tratamiento de aguas residuales. Siendo indicador del nivel de tratamiento que requerirá el proceso de descontaminación de estas aguas. Actualmente, estos procedimientos han tenido mayor relevancia, ya que la producción de estas aguas se ha incrementado de manera considerable por la presencia de diversas actividades antropogénicas. A partir de esto surge la necesidad de contar con sistemas de tratamiento, que complementen los procesos de autodepuración de los cuerpos hídricos ya que están muy cerca de colapsar incrementando los impactos negativos.

Dentro de estos sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas, en general, dada las cualidades que presenta, es aplicable el tratamiento donde se aprovechan microorganismos aerobios; es decir, aquellos que necesitan de oxígeno para su respiración ya que son los encargados de metabolizar la materia biodegradable requiriendo cantidades óptimas de oxígeno disuelto en el agua. Con esto, queda claro que la importancia de disolver oxígeno en el agua es enorme y que es posible con el uso de sistemas que ayuden a oxigenar el agua.

Con respecto a la existencia de métodos o técnicas que permitan desarrollar este tratamiento destaca el uso de sistemas de aireación difuso los cuales facilitarán la transferencia de oxígeno de la atmosfera al agua siendo parte esencial del tratamiento de agua. En tanto, la eficiencia de transferencia de oxígeno es la relación de la cantidad de oxígeno presente en el líquido, y la cantidad de oxígeno suministrado a condiciones estándar siguiendo los procedimientos establecidos por la ASCE/EWRI 2-06.

En el presente trabajo de investigación se pretende explicar la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la eficiencia de transferencia de oxígeno en aguas residuales domésticas en el Distrito de Huancayo. Para lo cual, se desarrollaron pruebas experimentales que permitieron la colecta de datos cuyo fin era dar respuesta al problema de investigación. Con dicha información, se tiene una explicación de la influencia de este factor en la eficiencia de transferencia de oxígeno para ser tomado en consideración en la operación de plantas de tratamiento de agua en el distrito de Huancayo.

Esta investigación fue dividida en 4 capítulos, el primero, planteamiento del estudio; el segundo, tiene la revisión bibliográfica y los antecedentes que apoyan esta investigación; el tercero, el diseño metodológico y el cuarto, presenta los resultados, discusión y prueba de hipótesis para validar esta investigación. Finalmente, se detallan las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Las aguas residuales están constituidas por altas cantidades de materia orgánica y éstas reemplazan el oxígeno por gases contaminantes y que para ser eliminados requieren la realización de múltiples procesos de tratamiento que se fundamentan en el uso de bacterias y así eliminar la MO y nutrientes. Es así que, uno de estos procedimientos para tratar el AR es la aireación y necesita de equipos especializados llamados sistemas de aireación y que promueven la inyección de oxígeno en el agua contaminada (1).

La transferencia de oxígeno al agua es importante en los tratamientos biológicos en aguas residuales pues influye en la eliminación de contaminantes por los microorganismos. Es decir, consiste en poner en contacto burbujas de gas con agua con el fin de transferir gas al agua y es influenciado por: presión, equipos tipo de aireación y temperatura (2).

En este tipo de tratamiento, es importante considerar el volumen a manejar y la cantidad de oxígeno a suministrar lo cual constituye el costo operativo más influyente. Por lo tanto, transferir oxígeno al agua resulta indispensable para propiciar el incremento de microorganismos siendo pieza fundamental en la economía y escalado de un sistema de biosíntesis aerobia (3).

Con respecto a la eficiencia de transferencia de oxígeno, este parámetro nos indica el rendimiento de los sistemas de aireación empleados para oxigenar el agua residual y es conocido como eficiencia estándar de transferencia de oxígeno a condiciones estándar expresado en porcentaje (4).

A partir del diagnóstico que se realizó a las plantas de tratamiento locales, se indica que en Huancayo existe el vertimiento de 384 L/s de aguas residuales que no tienen un tratamiento previo ya que presentan deficiencias en su funcionamiento y operación. Alrededor del 92% cuentan con lagunas de estabilización a nivel nacional y un 72% opta por el uso de lagunas facultativas (5).

De otra manera, “la operación de aireación es la que más energía consume en los procesos de tratamiento secundarios de una planta, representando típicamente entre un 50 a un 90% de los requerimientos de energía” (6).

Finalmente, en este proyecto se realizará la evaluación de la eficiencia de transferencia de oxígeno utilizando 3 tipos de sistemas de aireación difuso en aguas residuales domésticas (7).

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

- ¿Cómo es la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la eficiencia de transferencia de oxígeno en aguas residuales domésticas del Distrito de Huancayo en el 2020?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo es la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la concentración de oxígeno disuelto en aguas residuales domésticas?
- ¿Cómo es la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la velocidad de transferencia de oxígeno en aguas residuales domésticas?
- ¿Cómo es la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en el coeficiente global de transferencia de masa en aguas residuales domésticas?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

- Explicar la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la eficiencia de transferencia de oxígeno en aguas residuales domésticas del distrito de Huancayo en el 2020.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la concentración de oxígeno disuelto en aguas residuales domésticas.
- Determinar la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la velocidad de transferencia de oxígeno en aguas residuales domésticas.
- Determinar la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en el coeficiente global de transferencia de masa en aguas residuales domésticas.

1.3. Justificación e importancia

1.3.1. Económica

La investigación dentro de lo económico, procura orientar una mejor elección del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas que permitan reducir el costo energético y operativo que conllevan otros tratamientos (8).

1.3.2. Ambiental

Dentro del aspecto ambiental, con esta investigación se aspira a favorecer los procesos de tratamiento de aguas residuales pues estos tienen el rol de degradar de la materia orgánica e inorgánica solubilizada en el agua, y obtener agua residual tratada con menores concentraciones de contaminantes. El proceso en el que se transfiere el oxígeno al agua constituye un importante tratamiento de tipo aeróbico en las aguas residuales complementado con procesos biológicos (9).

1.3.3. Social (salud, educación)

En el aspecto social, con los resultados de esta investigación, se beneficiará a la población local cercana a una planta de tratamiento de aguas residuales mitigando los impactos ambientales que éstas pudiesen provocar (10).

1.3.4. Teórica

En el aspecto teórico, se obtendrán datos experimentales según las condiciones ambientales Huancayo y determinar el sistema de aireación más eficiente (11).

1.3.5. Tecnológica

En cuanto a la contribución tecnológica de esta investigación se pretende optimizar el tratamiento de aguas residuales pues su control demanda mayor complejidad actualmente para su vertimiento a diversas fuentes receptoras lo cual exige un adecuado diseño y dimensionamiento de los diferentes equipos que favorecen el proceso de tratamiento biológico y que requieren ser evaluados con trabajos de laboratorio (12).

1.4. Hipótesis y descripción de variables

1.4.1. Hipótesis general

- La influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la eficiencia de transferencia de oxígeno de aguas residuales domésticas del distrito de Huancayo es significativa.

1.4.2. Hipótesis nula

- La influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la eficiencia de transferencia de oxígeno en aguas residuales domésticas del distrito de Huancayo es no significativa.

1.4.3. Hipótesis específicas

- La concentración de oxígeno disuelto disminuye antes de alcanzar el equilibrio según el sistema de aireación difuso empleado.
- La velocidad de transferencia de oxígeno es menor a cero antes del equilibrio según el sistema de aireación difuso empleado.
- El coeficiente global de transferencia de masa de oxígeno disminuye según el sistema de aireación difuso empleado.

1.4.4. Hipótesis nulas específicas

- La concentración de oxígeno disuelto no disminuye antes de alcanzar el equilibrio según el sistema de aireación difuso empleado.
- La velocidad de transferencia de oxígeno no es menor a cero antes del equilibrio según el sistema de aireación difuso empleado.
- El coeficiente global de transferencia de masa de oxígeno no disminuye según el sistema de aireación difuso empleado.

1.4.5. Operacionalización de variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

VARIABLES		DIMENSIONES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	TIPO DE VARIABLE	ESCALA DE MEDICIÓN
V. INDEPENDIENTE	TIPO DE SISTEMA DE AIREACIÓN DIFUSO	➤ “Tipo de sistema de aireación (A)”	Dispositivos que hacen posible inyectar oxígeno al agua.	Dimensión	L/min	Cualitativa	Nominal
		➤ “Tipo de sistema de aireación (B)”		Volumen			
		➤ “Tipo de sistema de aireación (C)”					
V. DEPENDIENTE	EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO	➤ Porcentaje	Relación de la cantidad de O ₂ transferido y el O ₂ suministrado	Masa de OD transferido	mg/L	Cuantitativa continua	Razón
				Masa de OD suministrado	mg/L	Cuantitativa continua	Razón

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

Según Adel y otros en el año 2019, en su artículo de investigación: “Un estudio comparativo de las configuraciones de los aireadores de impulsor”, desarrollado en la Universidad de Alejandría, realizaron un estudio experimental comparativo de diferentes configuraciones de aireadores superficiales mecánicos utilizados en las PTAR. Como parte experimental, instalaron un tanque a escala de laboratorio equipado con diferentes configuraciones para el proceso de aireación, cuya finalidad fue comparar la eficiencia de aireación estándar y el consumo de energía de los impulsores de palas curvas con 3, 6, 9 y 12. Así mismo, estudiaron diferentes parámetros que consideraron que tienen efectos significativos sobre la eficiencia de aireación estándar (SAE) y el consumo de energía, como la profundidad de inmersión y la velocidad de rotación. Concluyeron que, una configuración óptima que tiene la mayor eficiencia de aireación es a 500 rpm. Además, la relación de profundidad de inmersión de 0.35m fue óptima, y dió la mayor eficiencia de aireación estándar (13).

Hudnell y otros en el año 2011 en su artículo de investigación: “Mejora de la eficiencia de oxigenación y mezcla de aguas residuales con circulación alimentada por energía solar”, plantearon como objetivo explicar el proceso de aireación alimentada por la red eléctrica y que es usada en la mayoría de sistemas que cuentan con tanques de compensación de lodos activados para proporcionar la mezcla y oxigenación. Para ello, los investigadores recopilaron datos de cantidad y calidad de agua, eventos de olor y kilovatios-hora de consumo y gasto 1 año antes y 2 años durante este tratamiento en plantas de tratamiento en estanques en Pittsfield y Exeter, por lodos activados en Rochester. En la parte experimental, conservaron la calidad del agua del efluente final, y la acumulación de lodo fue mínima durante el período de estudio. Concluyeron que, el uso y costos de la electricidad disminuyeron aproximadamente en un 38% en Pittsfield y Exeter, y aproximadamente un 87% en Rochester, lo que resultó en reducciones de emisiones de dióxido de carbono de 273,161, 918,183 y 1,082,509 kg, respectivamente (14).

Liu y Zhang en el año 2011, en su artículo de investigación: “La eficiencia de transferencia de oxígeno y el análisis de costos económicos del sistema de aireación en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales”, plantearon medir el costo del sistema de aireación y su eficiencia en la provincia de Shandong. Tuvieron como resultados, que la tasa de transferencia de oxígeno de los sistemas de aireación obsoletos se redujeron debido

a que los microporos en la membrana sufrieron daños. Concluyeron que, si se reemplaza el aireadores obsoletos pueden recuperarse 0.9 millones de yuanes cada año permitiendo recobrar su costo después 14 meses (1).

Zheng y otros en el año 2018, publicaron un artículo científico titulado: “Mejora de la eficiencia de la transferencia de oxígeno mediante el desarrollo de un nuevo impulsor que ahorra energía”, donde pretendieron caracterizar un conjunto de turbinas en forma de abanico (FT) de nuevo diseño con álabes cóncavos en forma de sector anular que fue comparado con la turbina Rushton y Bakker estableciendo una nueva ecuación de superficie para el diseño de la pala del impulsor FT la cual mostró un menor número de potencia y una mayor demanda de potencia relativa (RPD) en comparación con los otros dos impulsores. Concluyendo que, con respecto a la velocidad de dispersión crítica, la retención de gas y el coeficiente volumétrico de transferencia de oxígeno del impulsor FT estuvieron cerca de los del impulsor BT. Además, la eficiencia de transferencia de oxígeno del impulsor FT fue notablemente superior en un 35% -66% (15).

Eusebi y Battistoni en el año 2011, en su artículo de investigación: “Comportamiento de difusores de aire y eficiencias de transferencia de oxígeno en el tratamiento biológico de matrices a altas concentraciones de alcalinidad: Aplicación experimental y a escala real”, realizaron la evaluación de diferentes tipos de difusores de aire en el tratamiento biológico de lixiviados de vertedero. Es así que, lograron optimizar el rendimiento del tratamiento de manera experimental considerando la evolución de la presión a diferentes flujos de aire de entrada y dos tipos de difusores de polietileno elastomérico. El análisis microscópico les permitió establecer los compuestos químicos que se precipitaron en la superficie de los difusores y al interior de los poros. Encontraron principalmente compuestos con depósitos de calcio y hierro siendo la solución de ácido fórmico la más eficaz para eliminar sales insolubles. Durante la fase experimental, el difusor de polietileno elastomérico resultó ser el más adecuado para el tratamiento biológico de matrices a un nivel de alta alcalinidad (16).

Wang y otros en el año 2020, publicaron un artículo científico titulado: “Oxigenación y control síncrono de la liberación de nitrógeno y fósforo en la interfaz sedimento-agua utilizando material modificado con nanoburbujas de oxígeno”, donde evaluaron la eficiencia de oxigenación en la interfaz de sedimento-agua (SWI) y su efecto en la eliminación de entrada de nutrientes internos bajo condiciones simuladas. Los resultados mostraron que, la tecnología de mineral modificado con nanoburbujas mejoraron los niveles de OD cerca del SWI; la concentración más alta alcanzó los 6.55 mg/L. Mientras tanto, la adición de oxígeno redujo notablemente las concentraciones de P total, N total y amoniacal en el agua. Los resultados de la secuenciación de alto rendimiento del ARNr

16S mostraron que la adición de esta tecnología fortaleció el papel de las nitrobacterias, bacterias desnitrificantes y bacterias de oxidación de amoníaco. Concluyendo que, la tecnología de mineral modificado con nanoburbujas de oxígeno constituye una nueva herramienta para lograr la oxigenación en el SWI y el control inmediato de la contaminación interna en los lagos eutróficos (17).

Yang y otros en el año 2018, publicaron un artículo científico titulado: “Eficiencia de desestratificación y oxigenación de un sistema de aireador de elevación de agua en un depósito profundo: implicaciones para un funcionamiento óptimo”, en el que instalaron ocho aireadores de levantamiento de agua en el embalse Heihe, los cuales superaron la estratificación térmica y aumentaron la oxigenación con flujos de gas entre 20 y 50 m³/h. Para examinar la eficiencia de desestratificación del sistema usaron un módulo hidrodinámico tridimensional basado en MIKE 3 y simularon la estructura térmica del embalse comparando las simulaciones de los datos medidos. Los resultados mostraron que, el funcionamiento del sistema promovió la mezcla de agua y oxigenó eficazmente el hipolimnion. Es así que, la temperatura del agua superficial desciende hasta llegar a la temperatura teórica calculada por el método de evaluación de uso de energía y la reducción del flujo de gas podría ahorrar energía. Evitando que ocurran condiciones anaeróbicas en el agua del fondo y manteniendo una buena calidad del agua en el embalse Heihe (4).

Antecedentes nacionales

Gonza en el año 2017, en su trabajo de tesis: “Análisis de la transferencia de masa de oxígeno para sistema de tratamiento de aguas residuales a 3820 mns, desarrollado en la Universidad Nacional del Altiplano”, planteó el análisis de transferencia de oxígeno en el diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales. Para el desarrollo de sus experimentos, utilizó un difusor cerámico de poro fino en 20 L de agua limpia en presencia de contaminantes haciendo un total de 28 pruebas. Procesó sus datos con el método de regresión no lineal ajustada, en el que estimó los coeficientes de transferencia de masa. Luego, estimó el factor alfa de las aguas analizadas bajo estas condiciones indicando que el primer modelo presenta mejor correlación y el de dos zonas tiene una mejor comprensión física del proceso de transferencia (18).

Castro en el año 2018, en su trabajo de tesis: “Evaluación de la capacidad de oxigenación de un contactor circular rotatorio en la aireación de agua, desarrollado en la Universidad Nacional del Centro del Perú”, planteó evaluar la capacidad de oxigenación de un contactor circular rotatorio dentro del proceso de aireación de agua para lo cual hizo experimentos de aireación con discos rotatorios de diámetros diferentes y velocidad de giro para establecer la influencia del K_{La}. Concluyó que, la velocidad de giro y el diámetro de los

discos tuvo un efecto significativo en el coeficiente global de transferencia de masa durante la aireación de agua incrementándose con la velocidad de giro y el diámetro de los discos (19).

Erazo y otros en el año 2001, en su artículo de investigación: “Determinación experimental del coeficiente de Transferencia de oxígeno K_{La} en un Biorreactor Batch”, determinó experimentalmente K_{La} , al interior de un biorreactor batch a una temperatura de 30°C. Concluyendo que, existe una relación directamente proporcional entre la aireación y agitación, pero que es inversamente proporcional a la viscosidad cumpliendo con lo mencionado en la literatura. Por lo tanto, es necesario contar con datos de concentración de OD como una función del tiempo (20).

2.2. Bases teóricas

Teorías físicas

2.2.1.1. Aguas residuales

Aguas que modificaron su composición física y química por la ocurrencia de actividades antropogénicas. Además, requieren un previo tratamiento antes de ser descargadas a cuerpos naturales de agua ya que contienen compuestos orgánicos e inorgánicos (21).

a. Clasificación de las aguas residuales

Se clasifican de la siguiente manera, tal como se indica en la tabla 2:

Tabla 2. Clasificación de aguas residuales

Aguas residuales domésticas	Provenientes de actividades comerciales y domiciliarias caracterizadas por su elevada carga de materia orgánica
Aguas residuales industriales	Tienen su origen en procesos de producción.
Aguas residuales municipales	Mezcla del agua residual doméstica e industrial descargadas al alcantarillado

Fuente: (21)

b. Características de las aguas residuales domésticas

Se componen de elementos físicos, químicos, y biológicos fundamentalmente de tipo orgánico mencionado en la siguiente tabla:

Tabla 3. Componentes orgánicos de las aguas residuales

Autor	Carbohidratos	Proteínas	Lípidos
Metcalfe & Eddy (1995)	25-40	40-65	11
Scotti (1968)	40	45	11
Tebbutt (1977)	30	60	11

Fuente: (22)

Según sus requerimientos, se deben analizar las aguas residuales en un laboratorio acreditado. En la tabla se presenta la composición tradicional que caracterizan a estas aguas (23).

Tabla 4. Composición característica

Parámetro	Unidad de medida(mg/L)
Sólidos disueltos	500
Sólidos suspendidos	200
Sólidos totales	700
DQO	500
DBO	200
COT	100
Nitrógeno total	40
Fósforo total	10
Grasas	120

Fuente: (23)

2.2.1.2. Teoría de la doble película para la transferencia de oxígeno

Se fundamenta en un modelo físico que explica que el O_2 es dispersado durante la interfaz gas – líquido formando una doble película la cual indica el número de fases y se caracterizan por resistir el paso de gases en este caso el O_2 el cual tiene poca solubilidad y la oposición de la fase líquida incrementa. Presente en sistemas discontinuos y continuos (23).

2.2.1.3. Difusión molecular

Fenómeno físico que se caracteriza por la desorganización molecular generalmente en flujos laminares. Se trata de una reacción irreversible cuyo fin es de nivelar las concentraciones en un flujo que no tiene uniformidad (24). Por ello, la ley de Fick pretende explicar este fenómeno indicando que la velocidad

de transferencia de materia mediante este mecanismos es proporcional al cambio de concentración (25).

En el caso de la difusión por convección es influenciada por el tiempo, forma de la superficie y variación de concentración considerando que la velocidad de flujo se orienta bajo condiciones hidromecánicas (12).

2.2.1.4. Coeficiente global de transferencia de masa

Este coeficiente da idea de la facilidad con el que un compuesto químico pasa a otra fase (26) y se indica a continuación:

$$m_a = h_{DA} A (C_{A1} - C_{A2}) \quad (1)$$

Si deseamos establecer el tipo de relación existente de los coeficientes determinados se sigue la condición de equilibrio. Lo cual permite deducir la resistencia total. (12)

a. Factores que afectan el $K_L a$

Destacan el incremento de la velocidad de la mezcla lo cual provoca que la turbulencia presente sea mayor favoreciendo la adición del aire de forma significativa (27).

b. Factores de corrección para el $k_L a_r$ a condiciones de Huancayo

Los valores de $k_L a_r$, son alteradas por las condiciones ambiental del lugar donde se desarrollará el trabajo y se hace necesario estandarizar estos valores dependiendo del lugar en el que nos encontremos (27). De acuerdo a los señalado por el NIST, las condiciones estándar se presentan a continuación: Presión atmosférica: 760 mmHg. Temperatura: 20 °C

Cuando se trabaja con AR se plantea la ecuación 2:

$$(CO)_{Cond. de trabajo} = \left(\frac{dC}{dt} \right)_{Cond. de trabajo} = (k_L a)_{r.T} (C_{sr} - C_r) \quad (2)$$

Despejando se tiene:

$$\frac{(CO)_{Cond. de trabajo}}{(CO)_{cond. estándar}} = \frac{\left(\frac{dC}{dt} \right)_{Cond. de trabajo}}{\left(\frac{dC}{dt} \right)_{cond. estándar}} = \frac{(k_L a)_{r.T} (C_{sr} - C)}{k_L a_{r 20^\circ C} (C_s)} \quad (3)$$

Asumimos para la C_s el valor de 9,2 mg/l y se reemplaza en la ecuación:

$$\frac{(CO)_{Cond. de trabajo}}{(CO)_{cond. estándar}} = \frac{\left(\frac{dC}{dt} \right)_{Cond. de trabajo}}{\left(\frac{dC}{dt} \right)_{cond. estándar}} = \frac{(k_L a)_{r.T} (C_{sr} - C)}{(k_L a)_{20^\circ C} (9,2)} \quad (4)$$

c. Corrección por temperatura

Esto se da cuando el coeficiente de transferencia se incrementa con la temperatura llegando a plantear la ecuación 5:

$$(k_L a)_{r.T} = (k_L a)_{r.20^\circ C} \theta^{T-20} \quad (5)$$

Si se presentara una pequeña turbulencia se establece que θ es superior ocurriendo lo inverso cuando se tiene un valor de 1.02 para la turbulencia (18).

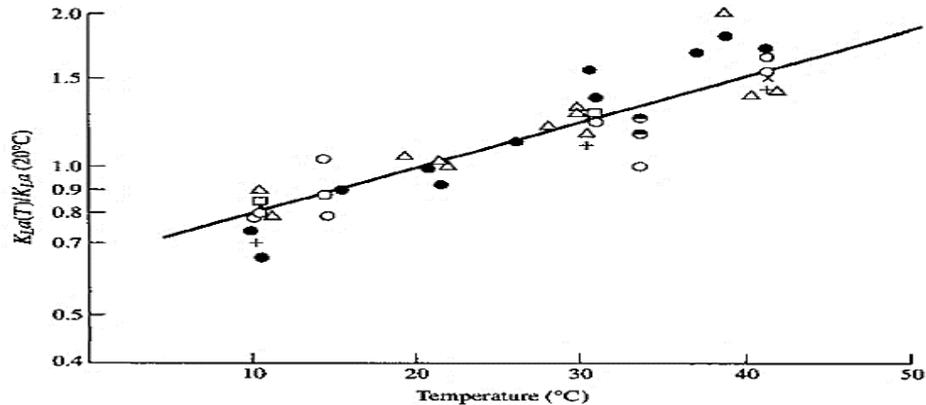


Figura 1. Relación de la temperatura y K_{La}

Fuente: (18)

d. Corrección por presión

“La solubilidad de un gas en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial que ejerce el gas en la solución, a una temperatura constante” (13). Es así que, la concentración en equilibrio del oxígeno se expresa mediante la ecuación 6:

$$p = HC_s \quad (6)$$

El valor de p se estima a partir de la presión barométrica y la presión de vapor de agua lo cual nos da la siguiente ecuación 7:

$$(C_{sr})_P = \beta(C_s)_{760} \frac{P-P^V}{760-P^V} \quad (7)$$

Tabla 5. Presión de vapor de agua

Temperatura (°C)	P^V (mmHg)
5	6.53
10	9.22
15	12.79
20	17.54

Fuente: (25)

e. Corrección por las características del AR

El factor α se estima el valor de $k_L a_r$ y las muestras de agua dándonos la ecuación 8:

$$\alpha = \frac{(k_L a) \text{ de agua residual}}{(k_L a) \text{ de agua corriente}} \quad (8)$$

$$\alpha = \frac{(k_L a)_{r, 20^\circ C}}{(k_L a)_{20^\circ C}} \quad (9)$$

El valor de β indica el efecto que provocan otros elementos siendo posible evaluar el paso del oxígeno al agua ,obteniéndose la ecuación 9:

$$\text{beta } (\beta) = \frac{C_{sr}}{C_s} \quad (10)$$

La temperatura del medio, la composición de los sólidos son variables que pueden tener un efecto negativo en el valor de α y tienen naturaleza polar o no polar por lo que también influyen en el paso del O_2 al agua residual (28):

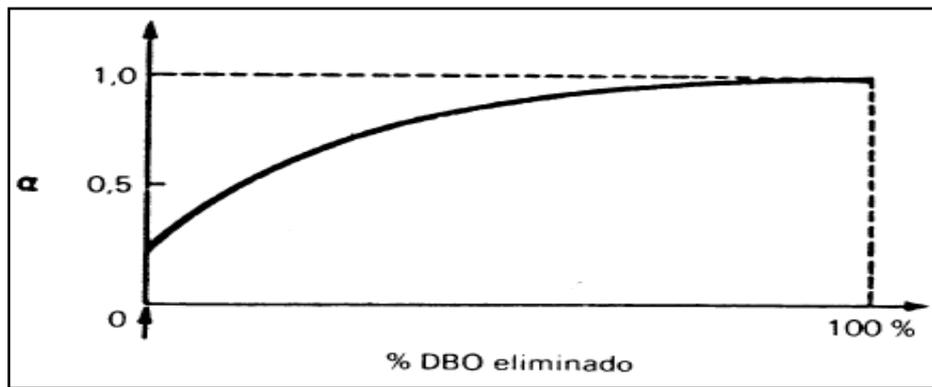


Figura 2. Variación de α según la DBO
Fuente:(28)

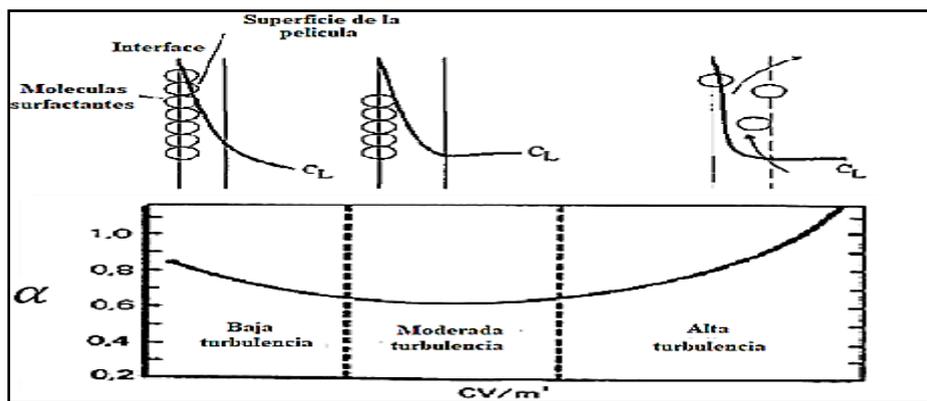


Figura 3. Variación de α en función del grado de turbulencia
Fuente: (27)

La turbulencia que se genera en la superficie de aireación se traduce en la obstrucción de la fase líquida que dificulta la difusión así mismo el tipo de difusor puede perjudicar o incrementar este valor (28).

Teorías químicas

2.2.1.5. Oxigenación de agua por aireación

Se trata de un fenómeno de transferencia de masa y donde interactúan el agua y aire. Es aquí, la teoría de Lewis y Withman explica el valor de este coeficiente de transferencia y se menciona en la ecuación 11:

$$\frac{dC_t}{dt} = K_L a_T * (C_s - C_t) \quad (11)$$

Considerando que el valor de $K_L a_t$ y C_s se mantiene constante, se tiene la siguiente ecuación:

$$\ln(C_s - C_t) = -K_L a_T t + \ln(C_s - C_o) \quad (12)$$

Con respecto a valor de la saturación del oxígeno indica su porcentaje de solubilidad en agua y es importante tener en cuenta la presión del aire a continuación se presenta una ecuación que relaciona estas variables (28):

$$C_s = K_{C_s} \frac{P_s}{T^{5E} \rho} \quad (13)$$

El valor de temperatura estándar será contrastado con los coeficientes y el valor de $K_L a_{20}$ se presenta así:

$$K_L a_{20^\circ C} = K_L a_T * 1.024^{(20-T)} \quad (14)$$

La tasa de transferencia de oxígeno estándar se calcula con la siguiente ecuación:

$$SOTR = K_L a_{20} * C_{s20} * V \quad (15)$$

2.2.1.6. Velocidad de transferencia de oxígeno

Este proceso indica la rapidez con el que el tipo de difusor transporta velocidad el oxígeno al agua (27), indicado en la ecuación 16:

$$SORT = k_L a_{(T)} f^{(20-T)} C_{*(20)} V \quad (16)$$

Para poder estimar el valor de KLa es necesario conocer el valor de la concentración de saturación tal como se indica en la ecuación 17:

$$C_L = C_s - (C_s - C_o) \cdot e^{-K_L a \cdot (t_2 - t_1)} \quad (17)$$

Luego se realiza la integración considerando el tiempo inicial a distintas concentraciones:

$$\int_{c_1}^{c_i} \frac{dc}{c_s - c_L} = \int_0^t k_L a (dt) \quad (18)$$

2.2.1.7. Sistemas de aireación

Utilizados en ramas como la acuícola y en el tratamiento de agua residual presentan los siguientes tipos (3):

- Difusión
- Mecánicos
- Híbridos

En cada uno de estos sistemas de aireación difuso es importante las fases que se presentan donde las burbujas de aire se dispersan en el agua y la capacidad de transferencia (29).

a. Sistema de aire difuso

Se produce la aireación en el interior de un tanque favoreciendo la fractura de las burbujas que se formaron y es ampliamente usado en tratamientos biológicos ya que resulta rentable en plantas pequeñas. Es necesario que el tanque tenga alturas de 2.5 hasta 5 m ya que influye en las dimensiones de las burbujas y se clasifican según su diámetro (30).

Factor	Efecto sobre la transferencia de oxígeno
Equipo	
Tipo de difusor	Los difusores de burbuja fina tienen mayor transferencia de oxígeno que los de burbuja gruesa.
Densidad de difusores	Mayor número de difusores producen mayor transferencia de oxígeno.
Sumergencia de los difusores	A mayor sumergencia, mayor transferencia de oxígeno.
Distribución de los difusores	Distribución en malla produce mayor transferencia que una colocación a lo largo de una pared o en el centro.
Edad del difusor	El envejecimiento de las membranas de un difusor puede disminuir la transferencia de oxígeno.
Régimen de flujo	Flujo en pistón tiene mayor eficiencia de transferencia de oxígeno que tanques con dosificación escalonada.
Geometría del tanque	Tanques cuadrados tienen menor variación de transferencia de oxígeno que tanques rectangulares.
Operación	
Tiempo de retención	A mayor tiempo de retención, mayor transferencia de oxígeno.
Nitrificación	Sistemas nitrificantes tienen mayor transferencia de oxígeno.
Relación A/M	El aumento de A/M disminuye la transferencia de oxígeno.
Flujo de aire por difusor	En los de burbuja fina, a mayor flujo de aire menor transferencia de oxígeno. En otros difusores puede suceder lo contrario.
SSLM	A mayor concentración de OD menor transferencia de oxígeno.
Deterioro del difusor	Los daños del difusor deterioran la transferencia de oxígeno.
Características del agua	
Temperatura	Un incremento en la temperatura aumenta la transferencia de oxígeno.
Detergentes	Los detergentes pueden disminuir la tasa de transferencia de oxígeno

Figura 4. Factores que afectan la transferencia de oxígeno

Fuente: (30)

Con respecto a los efectos de los factores de operación o equipo es necesario considerar la geometría del tanque el caudal de flujo y algunas condiciones propias de estos sistemas de aireación las cuales determinan la efectividad del tratamiento empleado (30).

b. Difusores de poro fino

Estos sistemas de aireación se fabrican por diversas empresas siendo las más comunes las de domo, disco y placa (31).

c. Difusores de placa

Se instalan en soportes de aluminio y se almacenan en promedio de 5 a más y se unen a tuberías fijas en el tanque y requieren de controles profundos. Además, estas tuberías pueden reemplazarse por difusores de placas (31).

d. Difusores de domo

Las bases usadas son de PVC o acero y es aquí donde se colocan estos sistemas de aireación requiriendo de 0,5 l/s por difusor. Dentro de sus dimensiones se consideran 17 cm de diámetro y 3.5 de altura (31).

e. Difusor de tubo

Para su construcción se requieren cilindros consistentes de plástico o cerámica y pueden medir hasta 2 m y tener un diámetro de 7 cm con un flujo de aire entre 1-6 L/s (31).

f. Difusores de disco

Este tipo de sistema de aireación es bastante recomendado por su durabilidad y resistencia distinguiéndose por el agujero que tienen los discos y así mejorar su eficiencia para transferir oxígeno al agua (32).

2.2.1.8. Eficiencia de transferencia de oxígeno

Con respecto a la ecuación que permite estimar el valor de la eficiencia de transferencia de oxígeno es necesario que se consideren los valores del flujo de aire requiriendo el balance de masa como se indica en la figura 5.

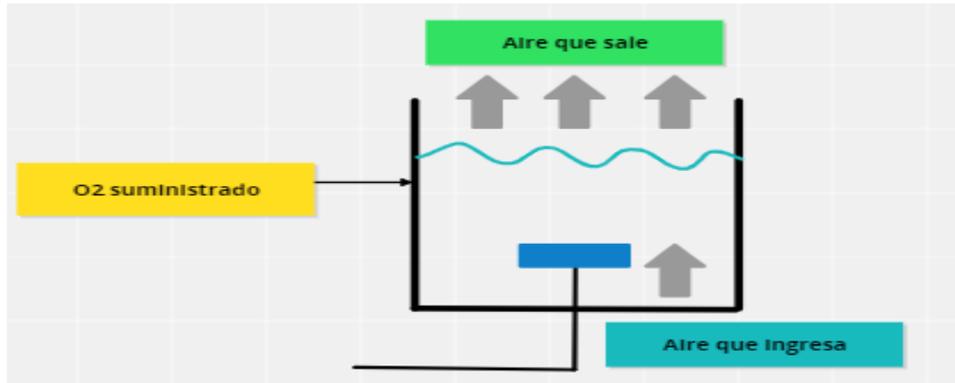


Figura 5: Balance general del sistema de aireación

Fuente: (27)

Obteniéndose la siguiente ecuación:

$$M_i = \dot{M}_A + \dot{M}_S \quad (19)$$

A partir de la ecuación 19 es necesario realizar el balance de masa de flujo, resultando la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{o,i} = \dot{m}_{o,a} + \dot{m}_{o,s} \quad (20)$$

Es así que a partir de la ecuación 20 se obtendrá la eficiencia por cada tipo de difusor:

$$E(\%) = \frac{\dot{m}_{o,t}}{\dot{m}_{o,i}} \quad (21)$$

2.2.2. Teorías biológicas

2.2.2.1. Proceso de tratamiento de las aguas residuales.

La descontaminación de AR implica una serie de procedimientos relacionados entre sí de forma compleja. Según la cantidad de contaminantes se plantea el mejor método de aireación y así disminuir la DQO indicados a continuación (33):

a. Tratamiento de lodos activados

Requiere del lavado de arena y su separación que posteriormente será empleado como un material para la contención en actividades de construcción (33).

b. Acumulación y homogenización de las aguas residuales

Este proceso tiene un diseño apropiado para minimizar las fluctuaciones horarias del caudal de AR e igualar el flujo durante la época de lluvia mejorando la estabilidad de la eliminación de contaminantes (33).

c. Tratamiento primario

Etapa inicial del tratamiento de AR e impacta de forma significativa durante su contaminación. Tiene como función reducir el nivel de contaminantes para que estos no constituyan problemas en el tratamiento siendo contemplados en los esquemas tecnológicos modernos reduciéndose el costo energético en un 30-50% (34).

d. Tratamiento secundario

Su eficiencia satisface la eliminación de metales pesados e incluso otros contaminantes de tipo orgánico. Es así que, los microorganismos los absorben y almacenan al interior de sus células debido a la interacción física y química con el biopolímero polisacárido. Este tratamiento puede ser en presencia o ausencia de oxígeno donde es importante la presencia de este compuesto químico que garantice su disponibilidad y así reducir la contaminación de estas aguas (27).

2.2.3. Metodología

2.2.3.1. Determinación del coeficiente global de transferencia de oxígeno

Los métodos usados frecuentemente en la determinación del $k_L a$ se clasifican en métodos estables y dinámicos en el cual se tiene en cuenta el comportamiento y la concentración de OD (27).

2.2.3.2. Métodos en estado estable

En los flujos no turbulento ocurren reacciones químicas provocando que el oxígeno no se sature y teniendo en cuenta los valores de la velocidad de transferencia en lo cual utilizan métodos de sulfito y glucosa (22).

Tabla 6. Métodos estables

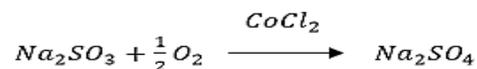
Método	Condiciones
Sulfito $Na_2SO_3 + \frac{1}{2} O_2 \xrightarrow{CoCl_2} Na_2SO_4$	En este método se emplea sulfito de sodio y cloruro de cobalto.
Método estacionario	A partir de los valores de C_L se simula una curva exponencial.
Método catalasa	Se usa peróxido de hidrogeno para extraer las moléculas de oxígeno gaseoso presente en el agua.

Fuente: (35)

En esta investigación se usará el método de sulfito tal como se detalla a continuación:

- **Paso 1: Adición de compuestos**

Pretende disminuir la cantidad de OD cercana a cero utilizando Na_2SO_3 y $CoCl_2$.



- **Paso 2: Proceso de aireación**

A partir del paso 1 los bajos niveles de OD propicia la inyección de oxígeno con el uso de sistemas de aireación difuso programados por intervalos de tiempo.

- **Paso 3: Distribución de resultados**

Con respecto al tiempo y valor de OD así como los valores de saturación determinados se sigue lo siguiente:

Paso 4: Organización de datos

Realizar un gráfico semilogaritmico de $(C_s - C)$ con respecto al tiempo, en el que la pendiente nos da el valor de $(-k_L a)$.

2.2.3.3. Métodos dinámicos

En este método se mide el OD en el agua y si se presentan cambios en la operación se tiene la opción de aplicar otros métodos como el de gaseado en el líquido, gas e interrumpido (22).

Tabla 7. Métodos dinámicos

Método	Condiciones
Gaseado en el líquido	Emplea (N_2) para desoxigenar el sistema registrando el cambio de OD y con un electrodo.
Gaseado en el gas	El OD se mide con la corriente gaseosa y los caudales de las dos fases presentes.
Dinámico	Contempla la concentración de saturación de oxígeno para iniciar con la oxigenación.

Fuente: (35)

2.2.3.4. Medición de oxígeno disuelto

Respecto al OD es importante considerar su disponibilidad en la fase líquida y que no esté relacionada con ninguna otra fase y es necesario controlar sistemas de aireación. Se puede emplear técnicas de membrana o galvánicas (22).

2.3. Definición de términos básicos

- a. Aireación: Método que disminuye el nivel de contaminación de las AR a través del uso de una fuente de oxígeno de manera biológica (36).
- b. Difusión: Ocurre cuando los átomos presentan un movimiento desordenado orientado a la eliminación de concentración buscando obtener una mezcla uniforme (37).
- c. Oxígeno disuelto: Elemento presente en el AR y que se encuentra a disponibilidad de los microorganismos, el O_2 tiene baja solubilidad y es alterado por la temperatura y presión (37).
- d. Concentración de OD: Disponibilidad de oxígeno o porcentaje de saturación indicada en ppm y se altera con la temperatura (18).
- e. Compresión: Fenómeno físico cuyo fin es disminuir el volumen de un objeto y para ello se requiere del uso de fuerzas (26).
- f. Demanda bioquímica de oxígeno: Es indicador de la disponibilidad de oxígeno requerida para desaparecer la materia orgánica de las AR y es realizada por los microorganismos (36).
- g. Oxidación microbiana: En esta técnica las bacterias se usan para reducir la presencia de minerales sulfurados a través de mecanismos de reducción (36) .
- h. Solubilidad: “Composición analítica de una mezcla o solución que está saturada con uno de los componentes de la mezcla o solución, expresada en términos de la proporción del componente designado en la mezcla o solución designada” (38).
- i. Difusor de burbuja fina: Sistema de aireación cuyo diámetro de las burbujas generadas miden entre 2 a 2.5 mm (38).
- j. Eficiencia de transferencia de oxígeno: Indica la cantidad de OD transferido con respecto al suministrado (39).

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Método y alcance de la investigación

3.1.1. Método

En cuanto al método de investigación general será el científico pues tiene como objetivo explicar las relaciones internas y externas existentes en muchos procesos y así permitir expandir los conocimientos ganados y verificar estos mediante experimentos aplicando técnicas necesarias (40).

El método específico para esta investigación será experimental ya que se evaluará y medirá la influencia del tipo de sistema de aireación difuso sobre la eficiencia de transferencia de oxígeno en aguas residuales domésticas del Distrito de Huancayo.

La aplicación del método a seguir es la siguiente:

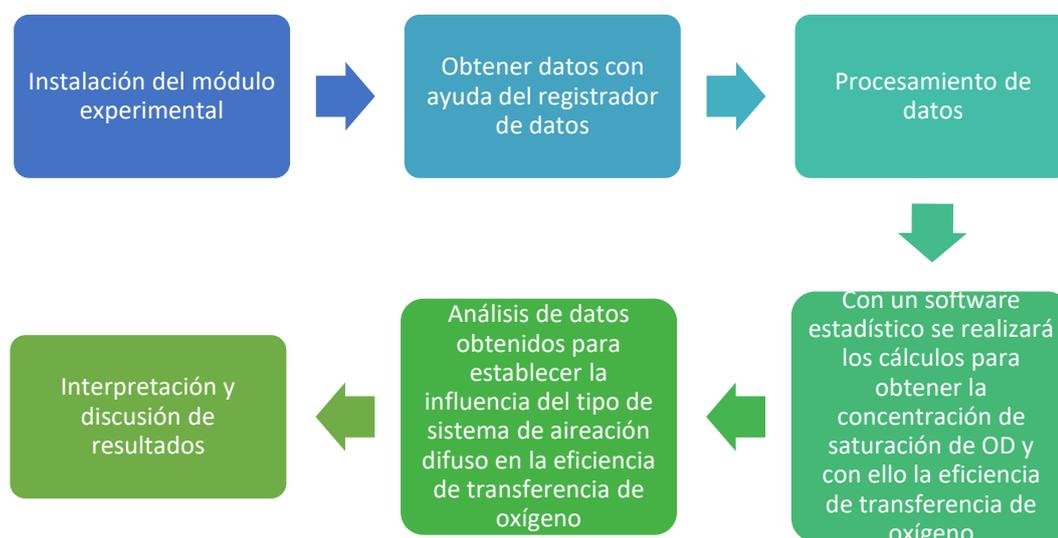


Figura 6. Esquema de los procedimientos a seguir en la investigación

Fuente: Elaboración propia

A continuación se detallan los procedimientos a seguir:

3.1.1.1. Preparación de la muestra de agua residual doméstica

Con respecto a los datos que serán obtenidos de los experimentos de oxigenación, serán utilizados 3 tipos de sistemas de aireación difuso. Para ello, se requerirá la preparación de ARD que contendrá la mezcla de diferentes sustancias con un volumen apropiado de agua potable. A continuación, se indican las cantidades necesarias para obtener esta muestra:

Tabla 8. Preparación de la muestra

Compuesto	Cantidad(g)
Peptona	5
Sacarosa	1.2
Almidón	2.8
Lípidos(Aceite De Soya)	1
Sulfato de Amonio	0.6
Fosfato de Sodio Tribásico	0.12

Fuente: (41)

Estas cantidades serán añadidas en 36 L de agua.

3.1.1.2. Fase laboratorio

Para la recolección de datos se seguirán los siguientes pasos:

- Instalar de forma correcta todo los componentes de forma tal que aseguren el correcto funcionamiento del módulo experimental.
- Luego añadir, 36 L de ARD al recipiente que tiene instalado los sistemas de aireación asegurando que la concentración de OD sea registrada en el medidor mientras se añade sulfito de sodio mientras se homogeniza la muestra.
- Con todos los equipos instalados se abrirán las válvulas para el ingreso de flujo de aire para iniciar el proceso de oxigenación.
- Se registrarán tanto el caudal de aire y OD almacenados en la memoria del registrador de datos cuando ésta alcance el equilibrio.
- Al terminar de extraer los datos de los experimentos, se descargará el líquido utilizado y se repetirán los procedimientos desde el paso número 2.

3.1.1.3. Fase de gabinete

Procedimiento para determinar el $k_L a_r$

- Se organizarán los datos obtenidos considerando el tiempo (minutos) con su respectivo valor de concentración de OD (mg/l).
- Se determinará el máximo valor de concentración de OD para cada sistema de aireación.
- Se realizará una diferencia entre el valor de saturación de OD y el oxígeno disuelto medido.
- Se realizará un gráfico semilogaritmico de $(C_{sr} - C_r)$ con respecto al tiempo, donde la pendiente es el valor del $k_L a_r$.

- Para obtener el $k_L a_r$ del agua potable se seguirá el procedimiento detallado, y únicamente se cambiará C_{Sr} por C_s y C_r por C (36).

Procedimiento para determinar la eficiencia

Se determinará la masa de OD transferido al líquido y la masa de O_2 suministrada.

- Luego se aplicará la ecuación 21 y graficará para diferentes tiempos por cada sistema de aireación difuso empleado.

3.1.2. Nivel

El nivel que le corresponde a esta investigación es el explicativo porque está basado en problemas apropiadamente planteados pretendiendo encontrar el nexo entre la causa-efecto (42). El alcance será de tipo correlacional-causal porque se pretende explicar la influencia del tipo de sistema de aireación difuso sobre la eficiencia de transferencia de oxígeno en aguas residuales domésticas del distrito de Huancayo.

3.1.3. Diseño de la Investigación

3.1.3.1. Diseño experimental

El diseño de la investigación general es experimental en el que se alterarán de manera deliberada la variable independiente del estudio para analizar su influencia en otra (40). Las tablas siguientes muestran la combinación de los niveles de las variables como condiciones experimentales que se llevaron a cabo:

Tabla 9. Niveles de las variables

Variable independiente	Niveles		
	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Tipo de sistema de aireación	Burbuja fina	Burbuja gruesa	Burbuja extra gruesa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Diseño de los experimentos

Variable Independiente	Variable Dependiente			
	Tipo de sistema de aireación difuso	Eficiencia de transferencia de oxígeno (%)		
		I	II	III
Tipo A				
Tipo B				
Tipo C				

Fuente: Elaboración propia

3.1.3.2. Experimental

Estos diseños llegan a incluir una o más variables independientes y una o más dependientes. Asimismo, pueden utilizar prepruebas y pospruebas para analizar la evolución de los grupos antes y después del tratamiento experimental (42).

3.1.4. Población y muestra

Referente a la población esta incluirá las ARD que fueron elaboradas de manera sintética siendo de 108 L y la muestra será de 36 L de ARD sintética que será empleada para cada tipo de sistema de aireación difuso y que permitirá el almacenamiento de datos de OD transferido al líquido y suministrado. En cuanto al tipo de muestreo a aplicarse en esta investigación será probabilístico por grupos o estratos debido a que se dividirá a toda la población en subgrupos y se seleccionará aleatoriamente a los sujetos de manera equitativa (40).

3.2. Técnica e instrumentos de recolección de datos

Para recolectar datos se empleará la técnica de observación directa con respecto al objeto de estudio y como instrumentos medición serán utilizados los siguientes:

- “Sistema para recolección de datos, lectura y almacenamiento de las variables concentración de OD y temperatura, marca NORUS, modelo RS486. con una memoria de 500k registros para configurar y monitorear los datos recolectados” (36).
- “Un medidor de OD, cuyos rangos de OD varían de 0 a 21 ppm con una señal de salida que se encuentra en un intervalo de 3 a 21 mA. El método de medición de este instrumento es el de fluorescencia”. “Los medidores de temperatura (MT), con rango de $[-20\text{ }^{\circ}\text{C}; 600\text{ }^{\circ}\text{C}]$ y sensor del tipo resistivo PT100 (RTD)” (36).

Así mismo, será empleará una ficha de recolección de datos para facilitar el registro de estos y posterior procesamiento.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

Respecto a los datos colectados de los experimentos se presentan los resultados obtenidos de concentración de oxígeno disuelto, coeficiente global de transferencia de masa, velocidad de transferencia de oxígeno y finalmente la eficiencia calculada para cada tipo de sistema de aireación. Para demostrar y validar la hipótesis se aplicó el análisis de varianza.

4.1.1. Concentración de oxígeno disuelto

Seguidamente, se observa en las gráficas la evolución de la concentración de oxígeno disuelto en cada prueba de aireación. Las figuras obtenidas son el resultado de graficar los datos registrados de oxígeno disuelto cada 0.5 s.

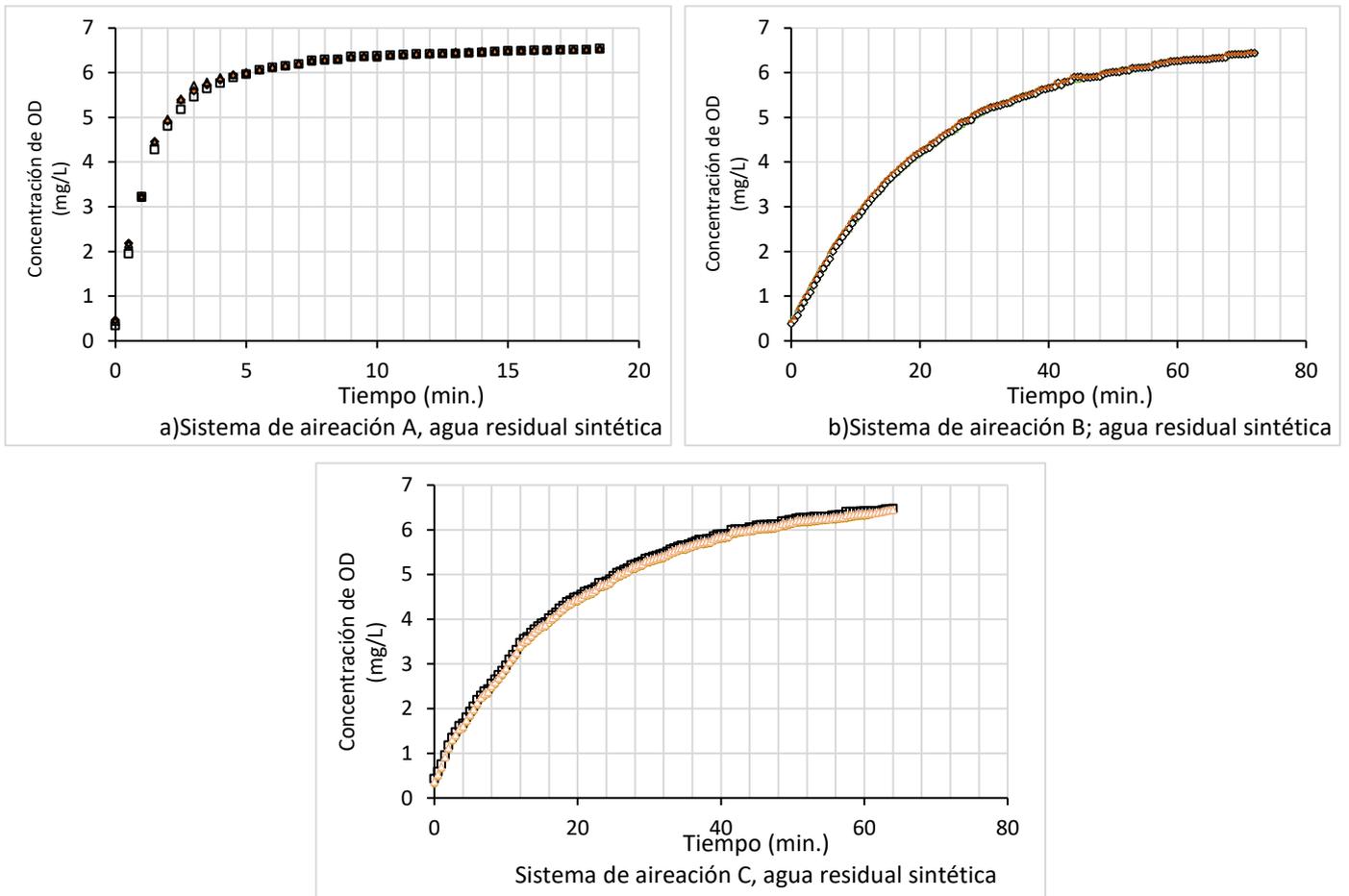


Figura 7. Concentración de oxígeno disuelto a) Sistema de aireación A b) Sistema de aireación B c) Sistema de aireación C

Fuente: Elaboración propia

Según la figura 7, la concentración de oxígeno disuelto aumentó en las pruebas experimentales en todos los casos. Para el sistema de aireación A, alcanzó la concentración a los 5 minutos, con el B, a los 57 minutos y con el C a los 51 minutos con una temperatura promedio de 16.5 °C. Permitiendo comprobar que el sistema de aireación(A) registró su concentración de saturación en menor tiempo, debido a que el área de transferencia de masa fue mayor. Así mismo, aunque no se tenía como un objetivo de la investigación la medición del tamaño de las burbujas que se generaron con los tres sistemas de aireación se pudo estimar que éstas se encontraban entre 1-3 mm de diámetro y conforme ascendían por el líquido incrementaba.

4.1.2. Coeficiente global de transferencia de masa

A continuación, se muestran los resultados obtenidos del K_{La} ajustados a la ecuación (12) a partir de la concentración de oxígeno disuelto registrado:

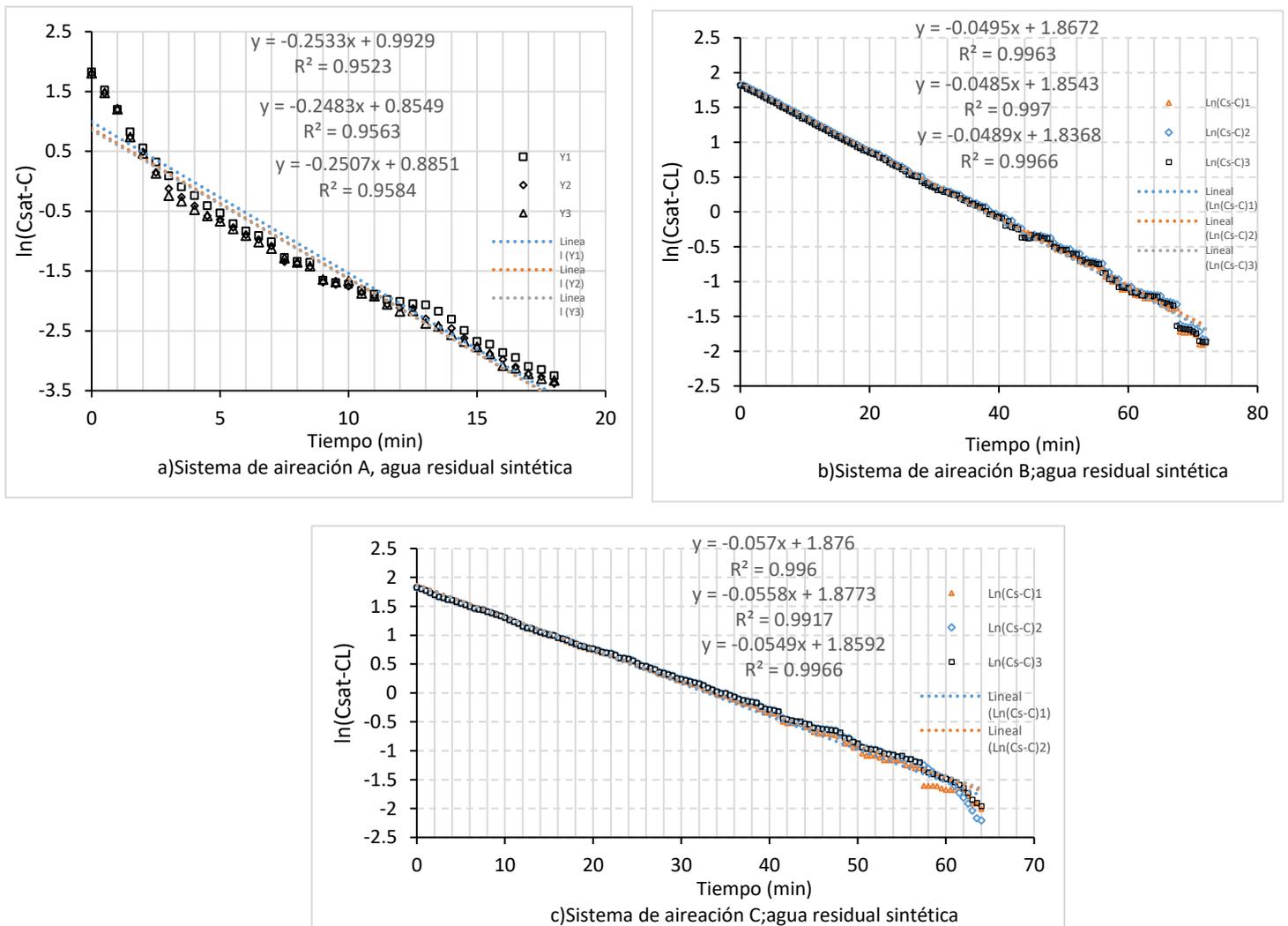


Figura 8. Coeficiente global de transferencia de masa a) Sistema de aireación A b) Sistema de aireación B c) Sistema de aireación C

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11 se presentan los datos obtenidos del K_{La} a partir de la regresión lineal:

Tabla 11. K_{La} promedio obtenidos

Tipo de sistema de aireación	K_{La1}	K_{La2}	K_{La3}	$K_{La}(\text{prom})$
Tipo A	0.2533	0.2483	0.2507	0.2508
Tipo B	0.0495	0.0485	0.0489	0.04896
Tipo C	0.057	0.0558	0.0549	0.0559

Fuente: Elaboración propia

El K_{La} tiene relación con la velocidad de transferencia de oxígeno brindado por el tipo de sistema de aireación difuso siendo así que en las pruebas experimentales se obtuvo un mayor valor con el sistema de aireación A ya que si el tamaño de la burbuja disminuye, la retención del oxígeno disuelto se incrementa.

4.1.3. Velocidad de transferencia de oxígeno

Seguidamente, se muestra en la figura 9 como evolucionó la velocidad de transferencia de oxígeno por cada sistema de aireación empleado, el cual fue determinado utilizando la ecuación N° (16).

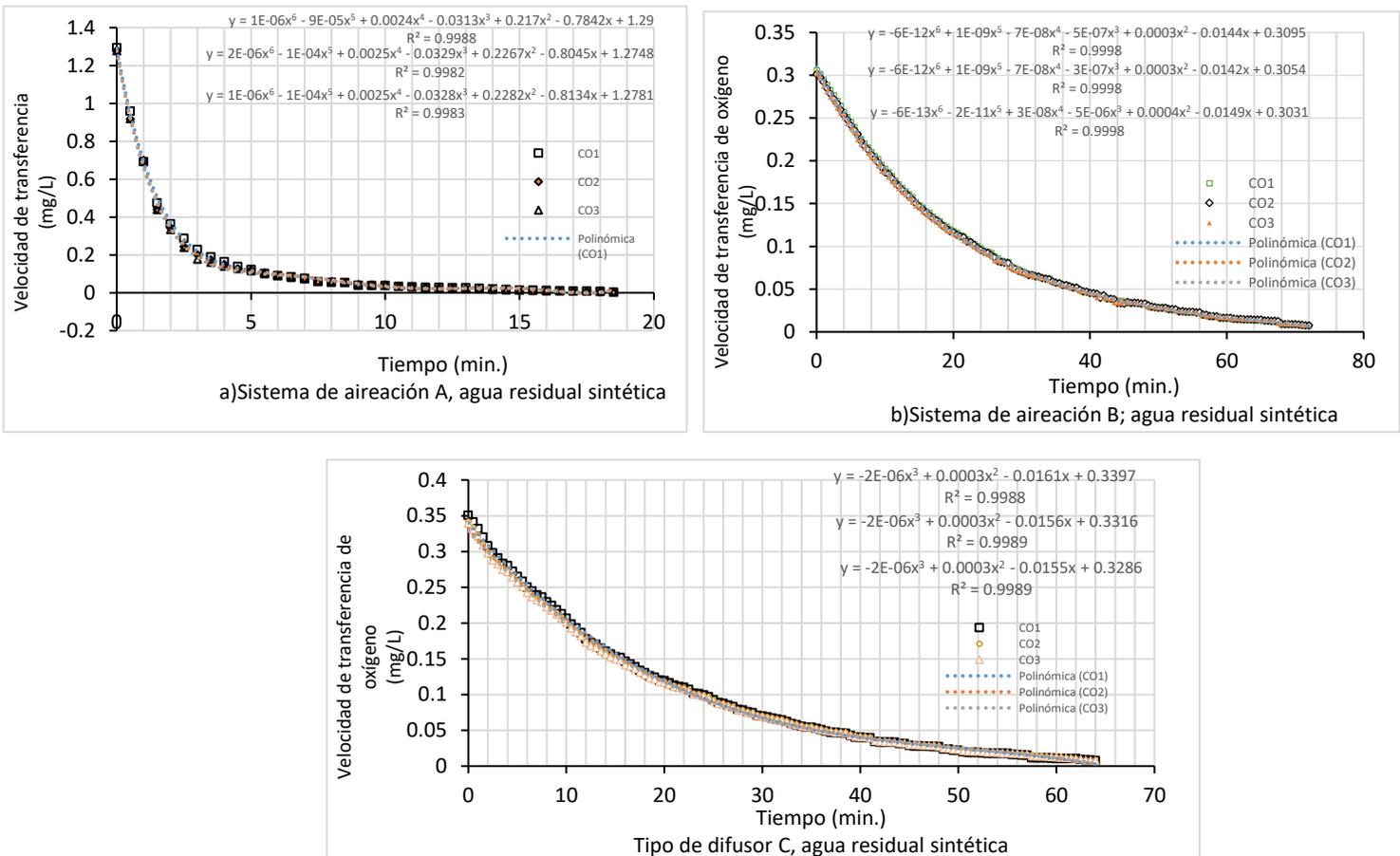


Figura 9. Velocidad de transferencia de oxígeno a) Sistema de aireación A b) Sistema de aireación B c) Sistema de aireación C

Fuente: Elaboración propia

Al inicio de las pruebas experimentales, la velocidad de transferencia de oxígeno del sistema de aireación A fue de 1.28 mg/L.min representando el mayor valor registrado de los tres sistemas. Pasados 2.5 minutos los tres tipos de sistemas tuvieron un valor de 0.29 mg/L.min. A los 5 minutos, el tipo de difusor C alcanzó un 0.26 mg/L.min y para terminar a los 7.5 minutos se logró un valor de 0.06 mg/L. min para el tipo de difusor A. Así mismo, el sistema de aireación A y B se adecúan a una curva polinómica de 6° orden y el tipo C a una de 3° orden valores que fueron influenciados por el diámetro de las burbujas generadas con cada tipo de sistemas de aireación.

4.1.4. Eficiencia

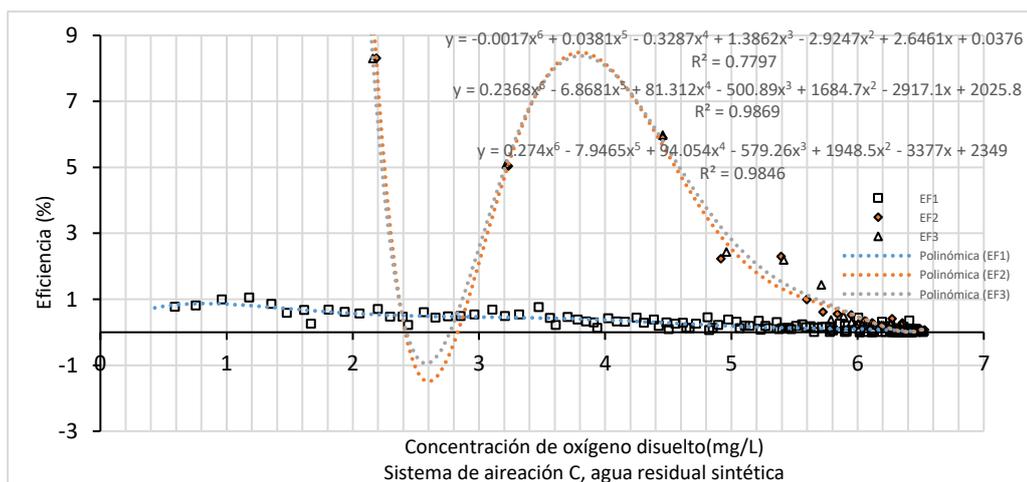
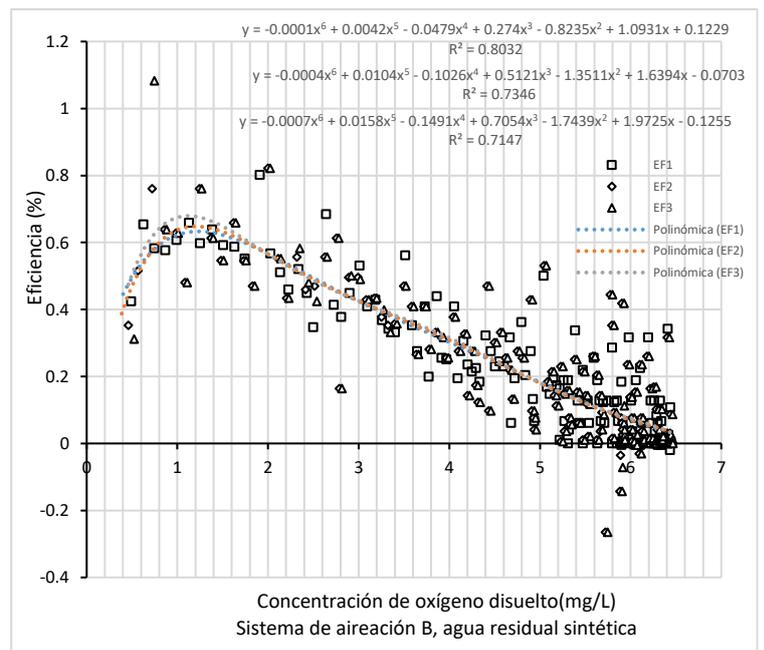
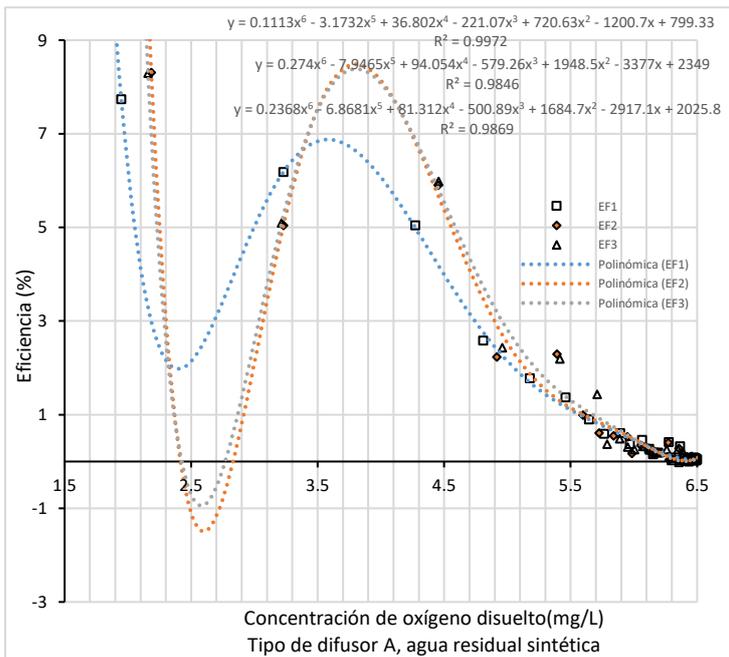


Figura 10. Eficiencia de transferencia de oxígeno a) Sistema de aireación A b) Sistema de aireación B c) Sistema de aireación C

Fuente: Elaboración propia

La eficiencia de transferencia de oxígeno disminuyó en los 3 tipos de sistemas de aireación difuso según incrementaba la cantidad de OD y esto se da porque al existir

déficit de oxígeno, disminuye la fuerza impulsora que permite la transferencia de oxígeno hasta que se alcanza la concentración de saturación y es donde la eficiencia es cero. En la siguiente tabla se tienen las eficiencias promedio para cada sistema de aireación difuso:

Tabla 12. Eficiencia promedio obtenida

Tipo de sistema de aireación	Eficiencia (%)			
	I	II	III	Promedio
Tipo A	0.80831056	0.79105276	0.7937186	0.797693973
Tipo B	0.20213782	0.20288228	0.20125156	0.202090553
Tipo C	0.22780387	0.23031641	0.22908008	0.22906679

Fuente: Elaboración propia

El mayor valor obtenido fue del sistema de aireación difuso Tipo A con 0.79769% en promedio de las 3 repeticiones y en todos los casos las curvas obtenidas son de 6° orden.

4.2. Prueba de Hipótesis

4.2.1. Hipótesis nula general de la investigación

Seguidamente, se presenta el análisis de varianza de un factor para validar la hipótesis nula de la investigación que plantea que el tipo de sistema de aireación difuso influye de manera significativa en la eficiencia de transferencia de oxígeno, se obtuvo lo siguiente:

Tabla 13. Descriptivos

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mín	Máx
					Límite inferior	Límite superior		
Tipo A	37	,797694	1,8026792	,2963586	,196651	1,398737	,0087	8,1124
Tipo B	145	,202091	,1927674	,0160640	,170337	,233844	,0170	,7504
Tipo C	129	,229067	,2333902	,0206290	,188246	,269888	,0034	1,0669
Total	311	,284583	,6750059	,0383997	,209024	,360142	,0170	8,1124

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Análisis de varianza de un factor

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	11,116	2	5,558	13,162	,000
Dentro de grupos	129,219	306	,422		
Total	140,335	308			

Fuente: Elaboración propia

Según estos resultados, específicamente los F_o observados debe cumplirse la siguiente desigualdad:

$$F_o > F_{\alpha, a-1, N-a}$$

A partir de la comparación de los F_o observados para un nivel de confianza del 95% (43), F_o es mayor a lo consignado en tablas por lo que las medias de la eficiencia de transferencia de oxígeno tienen variaciones significativas entre grupos con respecto al tipo de sistema de aireación difuso. Por lo tanto se rechaza la H_o que indica que la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la eficiencia de transferencia de oxígeno de aguas residuales domésticas del distrito de Huancayo es no significativa. Así mismo el valor de $p < 0.05$ lo que indicaría que tanto la eficiencia de transferencia de oxígeno y el tipo de sistema de aireación difuso están relacionadas presentando diferencias significativas entre grupos.

4.2.2. Hipótesis nulas específicas de la investigación

4.2.2.1. Concentración de oxígeno disuelto

Hipótesis nula específica 1: La concentración de oxígeno disuelto no disminuye antes de alcanzar el equilibrio según el sistema de aireación difuso empleado se obtuvo lo siguiente:

Tabla 15. Descriptivos concentración de Oxígeno Disuelto (mg/L)

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Tipo A	37	5,985178	,9419895	,1548621	5,671103	6,299253	2,0976	6,5347
Tipo B	145	4,849446	1,6282237	,1352166	4,582180	5,116712	,4158	6,4497
Tipo C	129	4,826430	1,6110783	,1418475	4,545761	5,107100	,3699	6,4487
Total	311	4,975019	1,5951824	,0904545	4,797036	5,153001	,3699	6,5347

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Análisis de varianza de concentración de oxígeno disuelto (mg/L)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	42,890	2	21,445	8,855	,000
Dentro de grupos	745,938	308	2,422		
Total	788,828	310			

Fuente: Elaboración propia

Según el Análisis de varianza, debido a que $p < 0.05$ se rechaza la H_o por lo tanto la concentración de oxígeno disuelto disminuye antes de alcanzar el equilibrio según el sistema de aireación difuso empleado.

4.2.2.1. Velocidad de transferencia de oxígeno

Hipótesis nula específica 2: La velocidad de transferencia de oxígeno no es menor a cero antes del equilibrio según el sistema de aireación difuso empleado.

Tabla 17. Descriptivos de la velocidad de transferencia de oxígeno

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Tipo A	37	,11937	,1969085	,0323716	,053717	,185022	,0045	,9320
Tipo B	145	,08589	,0797007	,0066188	,072812	,098977	,0076	,3029
Tipo C	129	,09699	,0892781	,0078605	,081444	,112551	,0071	,3440
Total	311	,09448	,1041897	,0059081	,082857	,106107	,0045	,9320

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Análisis de varianza de la velocidad de transferencia de oxígeno

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,034	2	,017	1,592	,205
Dentro de grupos	3,331	308	,011		
Total	3,365	310			

Fuente: Elaboración propia

Según el Análisis de varianza, debido a que $p > 0.05$ se acepta la H_0 por lo tanto la velocidad de transferencia de oxígeno es menor a cero antes del equilibrio según el sistema de aireación difuso empleado.

4.2.2.1. Coeficiente global de transferencia de masa

Hipótesis nula específica 3: El coeficiente global de transferencia de masa de oxígeno no disminuye según el sistema de aireación difuso empleado.

Tabla 19. Descriptivos del coeficiente global de transferencia de masa

Tipo de sistema de aireación	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Tipo A	37	1,49578	1,3362999	,2196864	-1,941328	-1,050239	-3,958	1,4946
Tipo B	145	,090614	1,0295909	,0855029	-,078389	,259617	-1,868	1,8227
Tipo C	129	,081423	1,0475782	,0922341	-,101078	,263924	-2,058	1,8257
Total	311	,101934	1,1900124	,0674794	-,234709	,030842	-3,958	1,8257

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Análisis de varianza del coeficiente global de transferencia de masa

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	81,597	2	40,799	35,159	,000
Dentro de grupos	357,403	308	1,160		
Total	439,000	310			

Fuente: Elaboración propia

Según el Análisis de varianza, debido a que $p < 0.05$ se rechaza la H_0 , por lo tanto, el coeficiente global de transferencia de masa de oxígeno disminuye según el sistema de aireación difuso empleado.

4.3. Discusión de resultados

Con respecto a las curvas obtenidas de oxígeno disuelto para los 3 tipos de sistemas de aireación difuso son similares a las que obtuvo (44), en cuyos experimentos buscó una concentración de saturación del 98%, en estado estacionario teniendo en consideración la metodología brindada por la ASCE permitiéndole simplificar el procedimiento de transferir el oxígeno al agua cuyas concentraciones de equilibrio fueron iguales en todo el tanque de aireación en un tiempo de 10.25 minutos. Para el coeficiente de transferencia de masa ($K_L a$) se tuvieron resultados similares a los de (45) en los que concluyeron que las áreas interfaciales mayores se logran con burbujas pequeñas ya que a su vez incrementan el valor del $K_L a$. De igual manera, (31), lograron concluir que el $K_L a$ es usado de manera regular para caracterizar diferentes tipos de sistemas de aireación e involucran los procesos de transferencia de masa de gas a líquido.

Así mismo, (36) llegó a establecer con respecto a la velocidad de transferencia de oxígeno si se mantiene constante la tasa de flujo de aire esta será directamente proporcional a la profundidad y que si aumenta puede deberse al proceso de transferencia de oxígeno ya que las burbujas se forman, liberan y ascienden a través del líquido.

En cuanto a la eficiencia de transferencia de oxígeno (46), obtuvieron curvas similares a las obtenidas en esta investigación permitiéndoles concluir que se pueden lograr una alta absorción específica de oxígeno empleando tanque con bajas profundidades, altas densidades de difusor, caudales de aire específicos bajos, altas tasas de transferencia de oxígeno volumétrico y la selección adecuada de aireadores utilizados en las plantas de tratamiento de aguas residuales. Por otro lado, (47) refieren que la eficiencia de aireación estándar tasas de transferencia de oxígeno depende de la relación de profundidad de inmersión, favoreciendo valores más altos de la transferencia de masa de oxígeno coeficiente ($K_L a$). De igual modo, (16) pudo determinar según el tipo de

difusor de aire empleado en un tratamiento de tipo biológico puede incrementarse la transferencia de oxígeno estándar permitiendo un mejor rendimiento del amoníaco y ahorro energético.

CONCLUSIONES

1. El sistema de aireación difuso tiene un efecto significativo en la eficiencia de transferencia de oxígeno. Respecto a ello, esta eficiencia disminuye a medida que la concentración de oxígeno disuelto incrementa, según el tipo de sistema de aireación empleado. En todas las pruebas experimentales, el tipo A obtuvo un mayor valor con respecto a los otros dos tipos de sistemas de aireación.
2. Se determinó que, a medida que transcurre el tiempo el déficit de oxígeno de los tipos de sistemas de aireación disminuye. Por lo tanto, la concentración de oxígeno disuelto saturado fue en promedio de 6.2 mg/L obtenida de todas las pruebas experimentales.
3. También, se determinó que, el coeficiente global de transferencia de masa obtiene un valor mayor cuando el tipo de sistema de aireación difuso genera burbujas de menor tamaño, y permanece constante en el tiempo. Siendo el tipo A el que registró un mayor valor con 0.209 min^{-1} .
4. Finalmente, se logró determinar que, la velocidad de transferencia de oxígeno se encuentra influenciada por el tamaño y cantidad de burbujas que origina el tipo de sistema de aireación ya que reduce la poca disponibilidad de oxígeno disuelto en el líquido siendo el valor más representativo el obtenido por el tipo de difusor A con 0.06 mg/L.min.

RECOMENDACIONES

- Tener en consideración la implementación de un sistema de agitación para evitar que las burbujas que se generan al interior del tanque puedan interferir en la lectura de los resultados de oxígeno disuelto.
- Realizar otros trabajos de investigación que involucren otros factores como la profundidad del sistema de aireación y el flujo de aire inyectado al tanque de aireación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LIU, C., LI, S. and ZHANG, F. The oxygen transfer efficiency and economic cost analysis of aeration system in municipal wastewater treatment plant. . 2011. Vol. 5, p. 2437–2443. DOI 10.1016/j.egypro.2011.03.419.
2. ROJAS, G., and DURÁN, E.; Modelación de la transferencia de oxígeno en sistemas de aeración mediante un modelo de dos zonas simplificado. *Ciencia y Tecnología*. 2006. Vol. 24, no. 2, p. 109–127.
3. CASEY, J. Unit treatment processes in water and wastewater engineering. *Choice Reviews Online*. 2013. Vol. 35, no. 04, p. 35-2133-35–2133. DOI 10.5860/choice.35-2133.
4. LI, Y.*et al.* Destratification and oxygenation efficiency of a water-lifting aerator system in a deep reservoir: Implications for optimal operation. *Journal of Environmental Sciences (China)* [online]. 2018. Vol. 73, p. 9–19. DOI 10.1016/j.jes.2017.12.021. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.12.021>
5. PEÑA, A. *Control de oxígeno disuelto en un tanque de aireación de una planta piloto de lodos activados* [online]. Pontificia Universidad Javeriana, 2012. Available from: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/2104/PenaGuzmanCarlosAndres2012.pdf?sequence=1>
6. BUITRAGO, G., OTÁLVARO, Á., and DUARTE, P. Evaluation of oxygen transfer in a conventional bioreactor with external aerator. [online]. 2013. Vol. XV, no. 2, p. 106–114. Available from: <http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v15n2/v15n2a13.pdf>
7. SUNASS. Diagnóstico de las plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de Servicios de Saneamiento [online]. 2015. Available from: https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/libro_ptar_gtz_sunass.pdf
8. CARMEN, L. Tratamiento biológico de aguas residuales. . 2000. P. 7.
9. RODRÍGUEZ, F.*et al.* Influence of mixed liquid suspended solids and hydraulic retention time on oxygen transfer efficiency and viscosity in a submerged membrane bioreactor using pure oxygen to supply aerobic conditions. *Biochemical Engineering Journal* [online]. 2012. Vol. 60, p. 135–141. DOI 10.1016/j.bej.2011.10.016. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bej.2011.10.016>
10. QUIRÓS, P. Determinación de modelos para la predicción de los coeficientes volumétricos de transferencia de masa (k L a) oxígeno-medio de cultivo en biorreactores tipo tanque agitado. *Tesis* [online]. 2014. Available from: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/2426/1/37234.pdf>
11. CONDORI, A. Diagnóstico para la implementación de Saneamiento de las aguas residuales para su reutilización en áreas verdes en Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, 2014.
12. TREYBAL, R. *Operaciones de Transferencia de Masa*. 2. Nueva York, 2013. ISBN 9686046348.
13. CASEY, J. Diffused air aeration systems for the activated sludge process design performance testing. *Aquavarra Research Publications Water Engineering Papers*. 2009. Vol. 2, no. 5, p. 255.

14. HUDNELL, H. *et al.* Improving wastewater mixing and oxygenation efficiency with solar-powered circulation. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2011. Vol. 13, no. 5, p. 731–742. DOI 10.1007/s10098-010-0345-x.
15. ZHENG, Z. *et al.* Improving oxygen transfer efficiency by developing a novel energy-saving impeller. *Chemical Engineering Research and Design* [online]. 2018. Vol. 130, p. 199–207. DOI 10.1016/j.cherd.2017.12.021. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2017.12.021>
16. EUSEBI, A., and BATTISTONI, P. Behaviour of air diffusers and oxygen transfer efficiencies in the biological treatment of matrices at high alkalinity concentrations: Experimental and full scale application. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2014. Vol. 255, p. 274–281. DOI 10.1016/j.cej.2014.06.083. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.083>
17. WANG, J. *et al.* Oxygenation and synchronous control of nitrogen and phosphorus release at the sediment-water interface using oxygen nano-bubble modified material. *Science of the Total Environment* [online]. 2020. Vol. 725, p. 138258. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.138258. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138258>
18. GONZA, F. *Análisis de la transferencia de masa de oxígeno para sistema de tratamiento de aguas residuales a 3820 mnsn* [online]. Universidad Nacional del Altiplano, 2017. Available from: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5302/Condori_Mamani_Meyner_Uriel_Ruelas_Yanque_Julio.pdf?sequence=1
http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/2816/Luna_Mamani_Elizabeth.pdf?sequence=1
19. GRANDE, J. Evaluación de la capacidad de oxigenación de un contactor circular rotatorio en la aireación de agua. . 2018.
20. ERAZO, R., and CÁRDENAS, J. Determinación experimental del coeficiente de transferencia de oxígeno en un biorreactor Batch. . 2001. Vol. 4, p. 22–27.
21. MOSES CHÁVEZ, Úrsula R. La fiscalización ambiental vinculada a las aguas residuales. .
22. RODRIGUEZ, A. *et al.* Tratamientos Avanzados De Aguas Residuales Industriales. *Citme*. 2006. P. 6,8. 13, 30, 34. DOI M-30985-2006.
23. JAIRO, R. *Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y principios de diseño*. Tercera Ed. Colombia, 2010. ISBN 958-8060-13-3.
24. CENGEL, Y., and BOLES, M. *Termodinámica*. Séptima Ed. 2009. ISBN 978-607-15-0743-3.
25. DURÁN, E. Propuesta de un modelo de dos zonas simplificado para el estudio de la transferencia de oxígeno en sistemas de aeración con difusores de poro fino. Universidad de Costa Rica, 2005.
26. HOLMAN, J. *Transferencia de calor*. 2002. ISBN 9682606497.
27. MONTOYA, C. Modelo matemático que permita evaluar el cambio de la DBO5 soluble debido a agentes inhibitorios en un proceso de lodos activados [online]. Universidad Nacional de Colombia, 2012. Available from: <http://www.bdigital.unal.edu.co/6168/>
28. TRAPOTE, J. *Investigación sobre Metodologías para el control de depuradoras* [online]. Universidad Politécnica de Madrid, 2002. Available from: http://oa.upm.es/9869/1/Arturo_Trapote_Jaume_Memoria.pdf
29. LOZANO, W. and RODRÍGUEZ, I. Preparación, composición y uso de agua residual sintética para alimentación de reactores prototipo y de laboratorio. *Revista de Didáctica Ambiental*. 2012. Vol. 11, p. 57.

30. RODRÍGUEZ, I. Caracterización de difusores de aire en locales mediante mapas de Isovelocidad obtenidos a partir de técnicas CFD. [online]. 2014. P. 107. Available from:
[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/53842/Caracterización de Difusores de Aire Mediante Mapas de Isovelocidad obtenidos a partir de técnicas CFDEFINITIVO_1436255229186821946797096301023.pdf?sequence=3](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/53842/Caracterización%20de%20Difusores%20de%20Aire%20Mediante%20Mapas%20de%20Isovelocidad%20obtenidos%20a%20partir%20de%20técnicas%20CFDEFINITIVO_1436255229186821946797096301023.pdf?sequence=3)
31. HERRMANN, R., REINECKE, S., and HAMPEL, U. Dynamic aeration for improved oxygen mass transfer in the wastewater treatment process. *Chemical Engineering Journal* [online]. 2019. No. xxxx, p. 122068. DOI 10.1016/j.cej.2019.122068. Available from:
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122068>
32. RAMALHO, R. *Tratamiento de Aguas Residuales*. Mexico : Ed.Reverte, 2003.
33. METCALF & EDDY. Ingeniería de aguas residuales. Volumen 1: Tratamiento, vertido y reutilización. 1995. ISBN 0070416907. McGraw-Hill
34. GARCÍA, H. Evaluación de transferencia de oxígeno en el sistema de tratamiento con lodos activados de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria en la Ciudad de México. [online]. 2010. P. 133. Available from:
<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/3715/garciamercado.pdf?sequence=1>
35. LINARES, J. Operación de un biorreactor aerobio discontinuo bajo una estrategia de control óptima. Universidad Nacional Autónoma de México, 2014.
36. AL-AHMADY, K. Analysis of oxygen transfer performance on sub-surface aeration systems. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2006. Vol. 3, no. 3, p. 301–308. DOI 10.3390/ijerph2006030037.
37. ASKELAND, D. and WRIGHT, W. *Ciencia e ingeniería de los materiales, 6ta Edición - Donald R. Askeland*. 2012. ISBN 978-607-481-620-4.
38. GAMSJÄGER, H. *et al. Glossary of terms related to solubility: (IUPAC Recommendations 2008)*. 2008. ISBN 2008800202.
39. MEJIA, A., CABRERA, M., and CARRILLO, Y. Remoción de Contaminantes Orgánicos presentes en agua Residual Doméstica mediante Prototipo a Escala de Laboratorio. . 2017. Vol. 26, no. 2, p. 72–83.
40. HERNÁNDEZ, R. *Metodología de la Investigación*. Sexta edic. México, 2001. ISBN 9781456223960.
41. SALGADO, I. *et al.* Bacterias rizosféricas con potencialidades fisiológicas para eliminar materia orgánica de aguas residuales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 2011. Vol. 28, no. 1, p. 17–26.
42. CABEZAS, E. *et al. Introducción a la metodología de la Investigación científica* [online]. 2018. ISBN 9789942765444. Available from:
file:///C:/Users/youhe/Downloads/kdoc_o_00042_01.pdf
43. MONTGOMERY, D. *Diseño y análisis de experimentos*. 2004. ISBN 968-18-6156-6.
44. YANHUN, J. An Alternative Mathematical Model for Oxygen Transfer Evaluation in Clean Water. *Water Research* [online]. 2012. No. 1, p. 1–10. Available from: [https://files.wwdmag.com/s3fs-public/A New Model for Oxygen Transfer Model in Clean Water-JH-Water online %281%29.pdf](https://files.wwdmag.com/s3fs-public/A%20New%20Model%20for%20Oxygen%20Transfer%20Model%20in%20Clean%20Water-JH-Water%20online%20%281%29.pdf)
45. SKOUTERIS, G. *et al.* The use of pure oxygen for aeration in aerobic wastewater treatment: A review of its potential and limitations. *Bioresource Technology* [online]. 2020. Vol. 312, no. April, p. 123595. DOI 10.1016/j.biortech.2020.123595. Available from:

- <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123595>
46. WAGNER, M. ,and POPEL, H. Oxygen transfer and aeration efficiency - Influence of diffuser submergence, diffuser density, and blower type. *Water Science and Technology*. 1998. Vol. 38, no. 3 pt 3, p. 1–6. DOI 10.1016/S0273-1223(98)00445-4.
 47. ADEL, M.*et al.* A comparative study of impeller aerators configurations. *Alexandria Engineering Journal* [online]. 2019. Vol. 58, no. 4, p. 1431–1438. DOI 10.1016/j.aej.2019.11.014. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.aej.2019.11.014>

ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de consistencia

TEMA	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVO DEL ESTUDIO	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	VARIABLES DEL ESTUDIO	INDICADORES
INFLUENCIA DEL TIPO DE SISTEMA DE AIREACIÓN DIFUSO EN LA EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS S HUANCAYO - 2020	1. Problema general: <ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo es la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la eficiencia de transferencia de oxígeno en aguas residuales domésticas del Distrito de Huancayo en el 2020? 	1. Objetivo general: <p>Explicar la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la eficiencia de transferencia de oxígeno en aguas residuales domésticas del Distrito de Huancayo en el 2020.</p>	Hipótesis de investigación <p>La influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la eficiencia de transferencia de oxígeno de aguas residuales domésticas del distrito de Huancayo es significativa.</p> <p>Hipótesis específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> La concentración de oxígeno disuelto disminuye antes de alcanzar el equilibrio según el sistema de aireación difuso empleado. La velocidad de transferencia de oxígeno es menor a cero antes del equilibrio según el tipo de sistema de aireación difuso empleado. El coeficiente global de transferencia de masa de oxígeno disminuye según el tipo de sistema de aireación difuso empleado. 	<p>V.</p> <p>INDEPENDIENTE</p> <p>TIPO DE SISTEMA DE AIREACIÓN DIFUSO</p>	<p>Dimensión</p> <p>Volumen</p>
	2. Problemas específicos: <ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo es la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la concentración de oxígeno disuelto en aguas residuales domésticas? ¿Cómo es la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la velocidad de transferencia de oxígeno en aguas residuales domésticas? ¿Cómo es la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en el coeficiente global de transferencia de masa en aguas residuales domésticas? 	2. Objetivos específicos: <ul style="list-style-type: none"> Determinar la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la concentración de oxígeno disuelto en aguas residuales domésticas. Determinar la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en la velocidad de transferencia de oxígeno en aguas residuales domésticas. Determinar la influencia del tipo de sistema de aireación difuso en el coeficiente global de transferencia de masa en aguas residuales domésticas. 		<p>V.</p> <p>DEPENDIENTE</p> <p>EFICIENCIA DE TRANSFERENCIA DE OXÍGENO</p>	<p>Masa de OD transferido.</p> <p>Masa de OD suministrado</p>

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 2. Módulo experimental



ANEXO 3. Equipo para el registro de datos



ANEXO 4. Preparación de reactivos



ANEXO 5. Descarga del tanque de aireación

