



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA POR OXIDACIÓN AEROBIA EN AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS, 2022**

Línea de investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el título profesional de Ingeniera Ambiental

Autor:

Tupacyupanqui Guzmán, Renzo Javier

Asesor:

Vásquez Aranda, Ahuber Omar
(ORCID: 0000-0003-0603-9777)

Jurado:

Esenarro Vargas, Doris
Reyna Mandujano, Samuel Carlos
Rivera Murillo, Jhoana Juliana

Lima - Perú

2023

REPORTE DE ANÁLISIS DE SIMILITUD

Archivo:	1A-TUPACYUPANQUI GUZMAN RENZO-TITULO PROFESIONAL-2022
Fecha del análisis:	10/10/2022
Operador del programa informático:	Gamarra Jiménez, David Milton
Correo del operador del Programa informático:	dgamarra@unfv.edu.pe
Porcentaje:	4%
Título	REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA POR OXIDACIÓN AEROBIA EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, 2022
Asesor:	Vásquez Aranda, Ahuber Omar
Enlace:	https://secure.arkund.com/old/view/139287623-277454-495335#DcY7CsJAGIXRvUz9IXPvP89sRVJIUElhmpTi3k1zON/0OdNyzwhdXB oFKqiihjoaaGKcsfCVwAVX3HDHA0+CylQIE0Gh0ugM5ko69/exv/btcWzPtOR bjiKNOKsfqqou8fsD


Ing. CARLOS FERNANDO BALLARDO REYES
Oficina de Grados y Gestión del Egresado

Jefe de la Oficina de Grados y Gestión del Egresado



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA GEOGRAFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA POR OXIDACIÓN AEROBIA EN AGUAS
RESIDUALES DOMESTICAS, 2022**

Línea de Investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Tupacyupanqui Guzmán, Renzo Javier

Asesor:

Vásquez Aranda, Ahuber Omar

(ORCID: 0000-0003-0603-9777)

Jurado:

Esenarro Vargas, Doris

Reyna Mandujano, Samuel Carlos

Rivera Murillo, Jhoana Juliana

Lima – Perú

2023

DEDICATORIA

El presente proyecto de tesis está dedicado a mis padres Néstor, Marilú quienes con sus sabios consejos supo guiarme esta hermosa carrera.

A mi hermana María Esther por su apoyo incondicional durante esta etapa tan bonita.

Dedico a mi Familia son el motor de mi vida para seguir adelante los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiarme en la etapa de formación de profesional, por permitir que nuestras decisiones sean las adecuadas y por acompañarnos todos los días de mi vida.

A mis Padres, familiares por su apoyo incondicional, por sus sabios consejos; quienes a su vez son nuestro principal motivo para superarnos y así ser ejemplo de nuestros hermanos, sobrinos y sobre todo de nuestros hijos.

A los Docentes de la facultad de ingeniería en especial a la carrera profesional de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo por sus enseñanzas y por compartir con nosotros sus experiencias y conocimientos como profesionales.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	9
ABSTRACT.....	10
I.INTRODUCCIÓN.....	11
1.1.Descripción y formulación del problema.....	13
1.2.Antecedentes.....	15
1.2.1 Antecedentes Nacionales.....	15
1.2.2 Antecedentes Internacionales.....	17
1.3.Objetivos.....	21
1.4.Justificación.....	21
1.5.Hipótesis.....	22
II.MARCO TEÓRICO.....	24
2.1.Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	24
2.1.1 Aguas Residuales Domésticas.....	24
2.1.2 Materia Orgánica Disuelta.....	25
2.1.3 Oxidación Aeróbica.....	26
2.2.Marco conceptual.....	29
2.2.1 Materia Orgánica Disuelta.....	29
2.2.2 Potencial de Hidrógeno.....	30
2.2.3 Turbiedad.....	30
2.2.4 Sólidos Suspendedos Totales.....	30

2.3. Marco Legal Ambiental.....	31
III. MÉTODO	33
3.1. Tipo de investigación	33
3.2. Ámbito temporal y espacial.....	33
3.3. Variables	34
3.4. Población y muestra.....	36
3.5. Técnicas e Instrumentos para la recolección de datos.....	36
3.6. Procedimientos	36
3.7. Análisis de datos.....	38
3.8. Consideraciones éticas	38
IV. RESULTADOS	39
4.1. Resultados de la caracterización del agua residual	39
4.2. Eficiencias Alcanzadas por cada sistema de tratamiento.....	39
4.3. Resultados finales del tratamiento	45
4.4. Análisis estadístico	46
4.5. Contrastación de Hipótesis de la investigación	73
V. DISCUSIONES DE RESULTADOS	75
VI. CONCLUSIONES	78
VII. RECOMENDACIONES.....	79
VIII. REFERENCIAS	80
IX. ANEXOS	87

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 Operacionalización de Variables	35
Tabla 2 Resultados de la Caracterización	39
Tabla 3 Porcentaje de Remoción para la Turbiedad	40
Tabla 4 Porcentaje de Remoción para SST.....	41
Tabla 5 Porcentaje de Remoción para AyG.....	41
Tabla 6 Porcentaje de Remoción para DQO.....	42
Tabla 7 Porcentaje de Remoción para DBO	43
Tabla 8 Porcentaje de Remoción para Nitrógeno Total.....	44
Tabla 9 Porcentaje de Remoción para Fósforo Total.....	45
Tabla 10 Resultados finales del tratamiento a los 15 días	46
Tabla 11 Data para Aplicación Estadística para parámetro Turbiedad.....	47
Tabla 12 Agrupar inforación por método Tukey y confianza al 95% para turbiedad ...	49
Tabla 13 Data para Aplicación Estadística para parámetro SST	50
Tabla 14 Agrupar inforación por método Tukey y confianza al 95% para SST.....	53
Tabla 15 Data para Aplicación Estadística para parámetro AyG	54
Tabla 16 Agrupar inforación por método Tukey y confianza al 95% para AyG.....	57
Tabla 17 Data para Aplicación Estadística para parámetro DQO	58
Tabla 18 Agrupar inforación por método Tukey y confianza al 95% para DQO.....	61
Tabla 19 Data para Aplicación Estadística para parámetro DBO.....	62
Tabla 20 Agrupar inforación por método Tukey y confianza al 95% para DBO	64
Tabla 21 Data para Aplicación Estadística para parámetro N Totl.....	66
Tabla 22 Agrupar inforación por método Tukey y confianza al 95% para N total.....	68
Tabla 23 Data para Aplicación Estadística para parámetro P total.....	70
Tabla 24 Agrupar inforación por método Tukey y confianza al 95% para P total	72

Tabla 25 Contrastación de Hipótesis de Investigación **74**

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1 Migración y Evolución de DOM en Ríos.....	26
Figura 2 Representación esquemática de un aireador escala laboratorio para la OB	27
Figura 3 Prueba de Normalidad de Residuos AD para la disminución de Turbiedad ...	47
Figura 4 Eficiencia de tratamientos de disminución de turbiedad por OA en AR	50
Figura 5 Prueba de Normalidad de Residuos AD para la disminución de SST	51
Figura 6 Eficiencia de tratamientos de disminución de SST por OA en AR.....	53
Figura 7 Prueba de Normalidad de Residuos AD para la disminución de AyG.....	55
Figura 8 Eficiencia de tratamientos de disminución de AyG por OA en AR.....	57
Figura 9 Prueba de Normalidad de Residuos AD para la disminución de DQO.....	59
Figura 10 Eficiencia de tratamientos de disminución de DQO por OA en AR.....	61
Figura 11 Prueba de Normalidad de Residuos AD para la disminución de DBO	63
Figura 12 Eficiencia de tratamientos de disminución de DBO por OA en AR	65
Figura 13 Prueba de Normalidad de Residuos AD para la disminución de N total	66
Figura 14 Eficiencia de tratamientos de disminución de N totl por OA en AR	69
Figura 15 Prueba de Normalidad de Residuos AD para la disminución de P total	71
Figura 16 Eficiencia de tratamientos de disminución de P total por OA en AR	73

RESUMEN

La presente investigación, remoción de materia orgánica por oxidación aerobia en aguas residuales domésticas 2022, tuvo como objetivo principal remover la materia Orgánica por procesos de Oxidación Aerobia en muestras de aguas residuales domésticas. La metodología, fue de tipo no experimental-longitudinal, en la que se utilizó muestras de aguas residuales domésticas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas “Alejandro Vínces Araoz” de Surco; las cuales fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles del DS 003-2010-MINAM, asimismo los estudios experimentales se iniciaron el 21 de enero del año 2022, con el monitoreo y la caracterización del agua residual en el Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE, donde se obtuvieron como resultados que los sólidos suspendidos, en los tres tiempos (5, 10 y 15 días), el sistema de tratamiento M2, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 90.2% de remoción, sobre el otro sistema de tratamiento M1 quien alcanzó 88.6% de remoción. Concluyendo que los parámetros fisicoquímicos caracterizados antes del proceso de Oxidación aerobia presentaron remoción de materia orgánica fueron el pH, T°, C.E, TDS, Turbiedad, SST, Aceites y grasas, DQO, DBO, NT y PT; con valores de 7.85, 23.3, 1553, 847, 85.8, 152, 67.5, 612, 315, 31.5, 8.2 respectivamente.

Palabras clave: materia orgánica, oxidación aerobia, aguas residuales domésticas.

ABSTRACT

The present investigation, removal of organic matter by aerobic oxidation in domestic wastewater 2022, had as main objective to remove Organic matter by Aerobic Oxidation processes in samples of domestic wastewater. The methodology was of a non-experimental-longitudinal type, in which domestic wastewater samples from the “Alejandro Vinces Araoz” Domestic Wastewater Treatment Plant in Surco were used; which were compared with the Maximum Permissible Limits of DS 003-2010-MINAM, likewise the experimental studies began on January 21, 2022, with the monitoring and characterization of residual water in the Laboratory of Geography and Environment of the FIGAE, where the results of the suspended solids were obtained, in the three times (5, 10 and 15 days), the M2 treatment system, presents a greater efficiency at the end of the treatment with 90.2% removal, over the other system of treatment M1 who reached 88.6% removal. Concluding that the physicochemical parameters characterized before the aerobic oxidation process presented removal of organic matter were pH, T°, C.E, TDS, Turbidity, SST, Oils and fats, COD, BOD, NT and PT; with values of 7.85, 23.3, 1553, 847, 85.8, 152, 67.5, 612, 315, 31.5, 8.2 respectively.

Keywords: organic matter, aerobic oxidation, domestic wastewater.

I. INTRODUCCIÓN

Esta tesis desarrolla un estudio de investigación sobre “Remoción de materia orgánica por oxidación aerobia en aguas residuales domésticas, 2022” ya que, existe una preocupación por el vertido directo de aguas residuales domésticas, siendo este responsable de un alto riesgo de transmisión de enfermedades infecciosas, así como, la materia orgánica disuelta (DOM) que presente en las aguas residuales domésticas es una mezcla extremadamente heterogénea que desempeña un papel importante en los sistemas de ingeniería, ya que puede afectar al tratamiento posterior de las aguas residuales y al destino y la toxicidad de los contaminantes orgánicos e inorgánicos en el agua receptora.

Ante ello, el interés que se genera por remover materia orgánica de las aguas residuales domésticas es porque, la DOM puede incluir la infección por patógenos para dar lugar a problemas de salud (Wang et al., 2021). Así también eliminar la máxima concentración de carga orgánica de las aguas residuales ayuda al abastecimiento humano, ya que, el uso de aguas residuales tratadas constituye un recurso hídrico abundante en las zonas con alta densidad de población y en las que se presentan problemas de déficit de este recurso (Ramón et al., 2009).

La materia orgánica disuelta (DOM) es un componente central de la estructura y la función de los ecosistemas acuáticos que proporciona energía y bloques de construcción críticos para el crecimiento y la función de los organismos (Findlay y Parr, 2017). Además, las diversidades de compuestos orgánicos llevados a las fuentes de agua como consecuencia de las actividades humanas pueden ser persistentes en el ambiente y ser transportados largas distancias, afectando las regiones en las que nunca fueron producidos.

Por tal motivo, la producción continua y la liberación de contaminantes en el medio ambiente acuático tienen un potencial genotóxico de los medios acuáticos, que son una tarea importante del monitoreo del control de la contaminación ambiental (Hará y Marín, 2017).

Es así como, la eliminación de los contaminantes orgánicos tóxicos de las aguas residuales es de gran importancia para la prevención de la contaminación biológica y ambiental antes de ser descargada en el medio ambiente (Lu et al., 2015).

Esta tesis está organizada de la siguiente manera:

- Partes iniciales: Carátula, Dedicatoria, Agradecimiento, Índice e Introducción. El contenido temático está dividido en los siguientes capítulos:
- Capítulo I: Introducción, en la cual se describe el problema, formulación del problema general y problemas específicos, la búsqueda de los antecedentes nacionales e internacionales, presentación del objetivo general y objetivos específicos, así como la justificación e importancia del presente estudio.
- Capítulo II: Marco teórico. En la cual se detallan las bases teóricas sobre el tema de investigación.
- Capítulo III: Método. Que enfocan toda la metodología de la investigación: tipo de Investigación, ámbito temporal y espacial, variables, población y muestra, técnicas e instrumentos para la recolección de datos, procedimientos, análisis de datos y consideraciones éticas.
- Capítulo IV: Aspectos administrativos. Que incluye el cronograma de actividades, presupuesto y fuentes de financiamiento.
- Capítulo V: Referencias. Se presenta las Referencias bibliográficas utilizadas en la presente investigación.
- Capítulo VI. Anexos. Se anexa información que integra a la investigación.

1.1. Descripción y formulación del problema

El acceso al agua potable y al saneamiento es uno de los objetivos de desarrollo sostenible comprometidos por las Naciones Unidas para 2030; sin embargo, más de 3.000 millones de la población mundial (aproximadamente el 42%) carecen de acceso a un saneamiento básico (conexión, tratamiento). Ante ello, Malik et al. (2015), manifiesta que esto se ha relacionado con la pobreza, donde los países en desarrollo (\$ 1,035 - 12,615 de ingreso nacional bruto per cápita) sólo alcanzan el 30 y 50% de tratamiento y conexión, respectivamente, mientras tanto, los países desarrollados (> 12.615 \$ per cápita) superan el 75% de cobertura en ambos.

El crecimiento poblacional e industrial ha contribuido a una preocupación global y al mayor problema de la contaminación ambiental acuática debido a la descarga de efluentes industriales, agrícolas y/o domésticos., que contienen varios tipos de compuestos químicos.

Ante ello, las aguas residuales domésticas son la fracción más importante (> 80 % v/v) de las aguas residuales municipales, y dada la gran cantidad generada y el continuo aumento de la demanda de agua, las aguas residuales domésticas también pueden considerarse un recurso hídrico no convencional que podría gestionarse adecuadamente (Tejedor J. et al., 2020).

Sin embargo, su cantidad (hasta 400 L hab - 1 - día -1) y calidad dependen de los hábitos de consumo y de los ingresos de la población (Villamar C. et al., 2018). Donde, la calidad se refiere a la presencia de sólidos (100 - 350 mg SST L⁻¹), materia orgánica (250 - 1600 mg DQO L⁻¹, 110 - 800 mg DBO 5 L⁻¹), nutrientes (20 - 120 mg TN L⁻¹, 2 - 23 mg TP L⁻¹), patógenos (hasta 10⁸ NPM/100 mL) y micro contaminantes (por ejemplo, productos farmacéuticos y de cuidado personal < 1 mg L⁻¹).

Ante ello, la problemática de las aguas residuales domésticas es que se vierten directamente en el medio acuático sin ningún tipo de tratamiento, a pesar de que se ha informado que, las aguas residuales rurales han afectado gravemente la calidad de las aguas superficiales y subterráneas, y son la principal fuente de contaminación de ríos y lagos (Wang et al., 2011).

Y es que, las aguas residuales domésticas causan contaminación del agua, que recientemente ha recibido mucha atención, ya que una amplia gama de sustancias capaces de inducir daño genético es producida por varias actividades humanas y se descargan diariamente en el medio ambiente, afectando a los organismos y poblaciones humanas que interactúan con este ecosistema (Khallef et al., 2015).

Cuando estas aguas domésticas se encuentran en el medio acuático, estos compuestos favorecen la formación de mezclas complejas que pueden ocasionar problemas de salud, bienestar humano y de los organismos que lo habitan o utilizan. También, los organismos que habitan en áreas influenciadas por las descargas de efluentes pueden sufrir daños en el ADN, y los seres humanos que usan agua contaminada corren el riesgo de sufrir efectos genotóxicos similares y de desarrollar cáncer.

Por tal motivo la reutilización y el reciclaje de los efluentes de las aguas residuales tratadas han desempeñado un papel cada vez más importante para garantizar la calidad, ecología y seguridad durante las últimas décadas.

1.1.1. Problema general

¿Cuál es la remoción de la materia Orgánica por procesos de Oxidación Aerobia en muestras de aguas residuales domésticas?

1.1.1. Problemas específicos

- a. ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos caracterizados antes del proceso de Oxidación aerobia que presentan remoción de materia orgánica?
- b. ¿Cuál es el porcentaje de remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas por procesos de Oxidación Aerobia?
- c. ¿Cuáles son los resultados finales obtenidos por Oxidación Aerobia comparados con los Límites Máximos Permisibles del DS 003-2010-MINAM?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes Nacionales

Lopes et al. (2022), en su trabajo de investigación “Eliminación de nitrógeno de las aguas residuales de los mataderos avícolas en un reactor combinado anaeróbicoanóxico-aeróbico: efecto integrado de la tasa de recirculación y el tiempo de retención hidráulica” presentó como objetivo evaluar la remoción de nitrógeno de aguas residuales de mataderos en un reactor combinado anaeróbico-anóxico-aeróbico, evaluando el efecto integrado de la tasa de recirculación y el tiempo de retención hidráulica. Para lo cual la metodología experimental aplicó la recirculación de la fase líquida desde la zona aeróbica a la zona anóxica para promover la desnitrificación mediante el uso de donantes de electrones endógenos. Se aplicaron tres velocidades de recirculación (R: 0,5, 1 y 2) y tres tiempos de retención hidráulica (14, 11 y 8 h). La operación del reactor se dividió en 3 pasos (I, II y III) de acuerdo a los factores evaluados (tasa de recirculación y TRH), para lograr condiciones de operación que permitieran un desempeño satisfactorio en los diferentes compartimentos del reactor. Como resultados el mayor rendimiento se verificó en el Paso III (R = 2) y TRH de 11 h con NH_4^+ y remociones de TN de 84% y 65%, respectivamente. La eficiencia de remoción de TN (65%) se consideró

satisfactoria, ya que la eficiencia de desnitrificación teórica esperada para esta condición ($R = 2$) es de 67%, sin adición de una fuente externa de carbono. Los valores más bajos de eficiencia de nitrificación se obtuvieron en TRH de 8 h en el Paso I y II ($R = 0,5$ y 1, respectivamente), lo que indica que el tiempo de nitrificación (3 h - fase aeróbica) puede ser el factor limitante en este TRH. La eficiencia de eliminación de DQO fue alta en todos los ensayos (>95%).

Nieto et al. (2021), en su investigación sobre “Medicamentos y evaluación de riesgos ambientales en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales y ríos de Perú”, planteó como objetivo remover las sustancias orgánicas y farmacéuticas en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTAR) de Perú y el impacto de estos compuestos en las aguas superficiales que reciben aguas residuales tratadas. Como metodología experimental de estudio, para ello se analizaron muestras de las EDAR de Lima (Costa Peruana), EDAR de Cusco, Puno y Juliaca (Altiplano Peruano), así como de aguas superficiales (confluencia de los ríos Torococha y Coata en Juliaca). Los resultados mostraron que alrededor del 60 % y el 75 % de los productos farmacéuticos objetivo podrían cuantificarse en aguas superficiales y EDAR, respectivamente. El acetaminofén fue el fármaco encontrado en mayor concentración, y estuvo presente en todas las muestras de aguas residuales tratadas alcanzando valores promedio superiores a 100 $\mu\text{g/L}$ en el departamento de Puno. La antiepiléptica gabapentina (hasta 11,85 $\mu\text{g/L}$ en PTAR Lima) y los antibióticos claritromicina, trimetoprima, ciprofloxacina, sulfametoxazol y azitromicina (1,86 a 4,47 $\mu\text{g/L}$ en PTAR Lima) también se encontraron en concentraciones moderadas en las aguas residuales tratadas. Concluyendo que se deben implementar procesos de tratamiento complementarios en las EDAR para una eliminación más eficiente de estos compuestos.

1.2.2. Antecedentes Internacionales

Cheng et al., (2022); en su estudio “alta eficiencia de nitrificación, desnitrificación y eliminación de compuestos orgánicos simultáneas en el tratamiento a escala real de aguas residuales de procesamiento de alimentos con una relación c/n alta utilizando reactores microaeróbicos”, tiene como objetivo tratar las aguas residuales del procesamiento de alimentos con una relación C/N alta utilizando reactores microaeróbicos (MAR) de dos pasos. Obteniendo que las eficiencias de remoción promedio del nitrógeno total y la demanda química de oxígeno durante el proceso MAR fueron 84,21% y 95,43%, respectivamente. La eficiencia de nitrificación y desnitrificación simultánea fue de 88,87% y 17,26% en MAR-1 y MAR-2, respectivamente; simultáneamente, la materia orgánica se degradó eficientemente. Los materiales similares a proteínas se biodegradaron preferentemente, y el grado de cambio en las sustancias similares a las fúlvicas fue mayor durante los procesos MAR. Pudiendo concluir que se atribuyó a la distribución espacial de la concentración de oxígeno disuelto en un solo MAR, lo que puede influir en la composición de la comunidad microbiana (p. ej., la de Nitrospira) y la regulación de las funciones de los genes.

Chen et al. (2022), en su estudio “Una estrategia de control novedosa para fortalecer la eliminación de nitrógeno de las aguas residuales domésticas mediante la eliminación de bacterias oxidantes de nitrito en un proceso de flujo pistón”, presenta como objetivo de estudio investigar la estrategia de aireación intermitente en un reactor de flujo pistón en aguas residuales municipales reales. Presentando como resultados que durante 200 días de operación, se logró una eficiencia de eliminación de nitrógeno inorgánico total (TIN) de $72,43 \pm 7,56$ % con un tiempo de retención hidráulica aeróbica total en el rango de 2,4 a 3,0 h con una relación C/N baja de 3,19. Las pruebas por lotes mostraron que la actividad de las bacterias oxidantes de nitrito (NOB) se inhibió de manera efectiva, y se observó nitrificación y desnitrificación

simultánea a través de nitrito en el modo de aireación intermitente doble. La secuenciación Ilumina MiSeq reveló que la abundancia relativa de *Nitrospirac* como el único NOB detectado, disminuyó del 2,22 % (día 0) al 0,91 % (día 207) a nivel de género. Pudiendo concluir mediante los resultados que, este estudio proporciona una nueva estrategia para la supresión de NOB para fortalecer la eliminación de nitrógeno de las aguas residuales domésticas de bajo C/N a través del proceso continuo.

We et al. (2021); en su trabajo de investigación “Influencia del mezclador estático en el desarrollo de gránulos aerobios para el tratamiento de aguas residuales domésticas de baja-media resistencia”, tiene como objetivo principal investigar la viabilidad de la granulación aeróbica para el tratamiento de aguas residuales domésticas de fuerza baja a media para operaciones a largo plazo y los efectos de un mezclador estático sobre las propiedades y el rendimiento de eliminación de los gránulos aeróbicos formados. Donde la metodología experimental del estudio instaló el mezclador estático en un reactor por lotes secuencial para proporcionar una mayor fuerza de corte hidrodinámica para mejorar la formación de los gránulos aerobios. Donde los resultados mostraron que los gránulos aeróbicos se formaron con éxito en las aguas residuales domésticas y el sistema de tratamiento de granulación se mantuvo durante un período de 356 días sin que se desintegraran los gránulos. Sin embargo, no se observó una mejora significativa en el rendimiento de eliminación de TCOD, $\text{NH}_4 + -\text{N}$ y TSS. Buen rendimiento de eliminación de TCOD y TSS superior al 85 % y 90 %, respectivamente, y moderado $\text{NH}_4 +$. Se observó un rendimiento de eliminación de N de alrededor del 60% durante todo el estudio. Se observó una mayor eficiencia de nitrificación y desnitrificación simultánea (SND) del 56 % después de la instalación del mezclador estático, en comparación con el 21 % anterior. Pudiendo concluir que la instalación del mezclador estático mejoró significativamente las propiedades de formación de gránulos aeróbicos y la eficiencia de SND, pero no el rendimiento de eliminación de TCOD, $\text{NH}_4 + -\text{N}$ y TSS.

Sguanci et al. (2019), desarrollaron el estudio de investigación “Estabilidad a largo plazo de lodos aerobios granulares para el tratamiento de aguas residuales domésticas reales de muy baja concentración”, tiene como objetivo evaluar la viabilidad del cultivo de lodos granulares aeróbicos para el tratamiento de lodos reales de muy baja resistencia (DQO <120 mg L) aguas residuales municipales mediante la aplicación de una estricta presión selectiva metabólica. La metodología experimental del estudio evaluó la viabilidad en términos de estabilidad física a largo plazo de la biomasa granular, así como la eficiencia de eliminación de DQO y fosfato y un reactor por lotes de secuenciación a escala de laboratorio se inoculó con lodo activado convencional y se operó durante 175 días. Donde los resultados mostraron que en el día 51, se detuvo la dosificación de acetato y luego se operó el reactor durante otros cuatro meses con solo aguas residuales reales como fuente de carbono, lo que resultó en una concentración de DQO afluente tan baja como 115 ± 23 mg L; además, se mostró que la presión selectiva metabólica aplicada basada en la captación completa de DQO biodegradable en condiciones anaeróbicas (85 ± 7 % de eficiencia de eliminación de DQO biodegradable obtenida) puede estimular la formación de gránulos grandes y estables, lo que indica que la otra presión selectiva comúnmente aplicada basada en velocidad de sedimentación (comúnmente > 8 m aplicado en este estudio), ya que no es estrictamente necesario.

Egbuikwem et al. (2020), realizaron un proyecto de investigación titulado “Evaluación de proceso biológico aeróbico con post-ozonización para el tratamiento de aguas residuales mixtas industriales y domésticas para su potencial reutilización en la agricultura”, el cual tuvo como objetivo investigar el proceso biológico de crecimiento suspendido (SGBP) con post-ozonización (O_3) para el tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas mixtas complejas simuladas en condiciones específicas. La metodología experimental consistió en operar el SGBP con aireación completa, ciclos de aireación de encendido/apagado de 30/30 min y 60/30 min y el efluente se expuso a ozono a una dosis fija de $250 \text{ mg } O_3 / \text{h}$ y un tiempo

de contacto de 1 a 60 min. Como resultados el rendimiento de SGBP fue máximo en condiciones de aireación de 60/30 min logrando una reducción del 92,1, 90,6, 83,3 y 83,8% en DQO, DBO 5, TN y PO 4-P respectivamente. La nitrificación (64,1 %) no se inhibió incluso en la transición a los ciclos de aireación por pulsos. Las concentraciones de aceite diésel y colorante azul de metileno se redujeron en un 83,6 y 93,5% respectivamente. Después de la ozonización se oxidaron residuos orgánicos hasta en un 19,9 %, según la medición de DQO, y aumentó la DBO 5 del efluente hasta en un 49,5 %. Pudiendo concluir mediante los resultados que el proceso SGBP-O 3 tiene un gran potencial para mejorar considerablemente la calidad de las aguas residuales industriales y domésticas mixtas para diversas aplicaciones de reutilización del agua.

Pishgar et al. (2021), desarrollaron un proyecto de investigación titulado “Caracterización de las aguas residuales domésticas liberadas de los hogares 'verdes' y estudio de campo del rendimiento de los tanques sépticos in situ reconvertidos en biorreactores aeróbicos en climas fríos”, donde su objetivo principal fue investigar la eficacia de los sistemas sépticos privados adaptados a biorreactores aeróbicos con tecnología 'SludgeHammer'. Como metodología de estudio se estudiaron diez sistemas sépticos in situ reacondicionados en el área de Edmonton, Alberta (AB) Canadá durante el invierno. Los resultados mostraron que los sistemas podían eliminar la DBO 5 y los SST en un 92 ± 5 y un 92 ± 6 %, respectivamente. El agua residual sin tratar contenía concentraciones de contaminantes significativamente altas (1160 ± 350 mg DBO5 /L, 1653 ± 1174 mg SST/L, 99 ± 19 mg NH₄ + -N/L, 100 ± 56 mg TN/L y 39 ± 28 mg PO₄ 3- -P/L), caracterizándolo como aguas residuales domésticas de alta concentración. La mezcla proporcionada por el aireador solo podía suspender 1/34 th(3 % m/m) de los sólidos en el biorreactor y, en consecuencia, liberó concentraciones de sólidos significativamente bajas (195 ± 206 mg TSS/L) en el componente de tratamiento final y en

algunos casos, PO 4 3-- la eficiencia de eliminación de P fue tan alta como la del proceso mejorado de eliminación biológica de fosfato (EBPR, por sus siglas en inglés) (81–97 %).

1.3. Objetivos

1.3.0. Objetivo General

Remover la materia Orgánica por procesos de Oxidación Aerobia en muestras de aguas residuales domésticas.

1.3.1. Objetivos específicos

- a. Caracterizar los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas antes del proceso por Oxidación aerobia
- b. Determinar el porcentaje de remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas por procesos de Oxidación Aerobia
- c. Comparar los resultados finales obtenidos por Oxidación Aerobia con los Límites Máximos Permisibles del DS 003-2010-MINAM.

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación Teórica

Con este estudio se busca remover la mayor cantidad de Materia orgánica por oxidación aerobia en aguas residuales domésticas, así como caracterizar la materia orgánica disuelta en el agua de las aguas residuales domésticas para el abastecimiento humano, ya que, es esencial para establecer sus condiciones físicas y los índices de contaminación del agua, por último se

pretende comparar los resultados finales obtenidos por la Oxidación Aerobia con los Límites Máximos Permisibles del DS 0032010-MINAM.

1.4.2. Justificación Metodológica

Este estudio de investigación busca conseguir el rigor científico obteniendo la validez en base a las variables propuestas y los resultados generados con el procesamiento y recolección de la información.

1.4.3. Justificación Social

Este estudio se justifica debido a la necesidad de reducir la contaminación por cromo hexavalente generado por la industria del galvanizado, ya que, debido a su alta toxicidad y al amplio uso industrial del cromo, se tiene la necesidad de buscar una propuesta amigable con el medio ambiente y eficaz es su recuperación, para lo cual se propone la oxidación química.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General:

La remoción de la materia orgánica se da por procesos de Oxidación Aerobia en muestras de aguas residuales domésticas

1.5.2. Hipótesis específicas:

- a. Los parámetros fisicoquímicos caracterizados antes del proceso de Oxidación aerobia presentan remoción de materia orgánica.

- b. Se presenta porcentaje de remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas por procesos de Oxidación Aerobia.
- c. Los resultados finales obtenidos por Oxidación Aerobia son comparados con los Límites Máximos Permisibles del DS 003-2010-MINAM.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Base teórica sobre el tema el tema de investigación

2.1.1. Aguas residuales domesticas

Las aguas residuales domésticas descargan un alto volumen de aguas residuales y que contienen diferentes contaminantes que afectan la calidad del agua; además se producen en grandes volúmenes y abundantes en carbono, nitrógeno y fósforo, que son una fuente prometedora de nutrientes para la producción de microalgas (Do et al., 2022).

Las aguas residuales domésticas son aguas residuales que se eliminan de la vida diaria de los hogares, hoteles, restaurantes, escuelas y centros comerciales. Tiene una amplia gama de fuentes y una cantidad enorme. Con el rápido desarrollo de la economía y el aumento del nivel de vida de los residentes, cada vez hay más descargas de aguas residuales que deben tratarse (Jiao, 2021).

Estas aguas residuales domésticas consisten en grandes volúmenes de aguas residuales generadas por actividades humanas, especialmente aguas residuales domésticas como; baños, duchas, lavamanos, lavadora, lavavajillas y cocinas, y que dañan el medio ambiente natural y la salud de los seres humanos (Gorgich et al., 2020).

Pero, la descarga de aguas residuales domésticas genera más problemas en la calidad del agua debido a su gran volumen y su gran cantidad de carga orgánica y otros compuestos químicos, como aceite, metales, pesticidas, productos farmacéuticos, productos para el cuidado personal, surfactantes, plastificantes y aditivos industriales que no son incluido en el seguimiento actual.

2.1.2. Materia Orgánica Disuelta (MOD)

La materia orgánica disuelta (DOM) es una mezcla heterogénea de compuesto orgánico aromático, amino y alifático que contiene grupos funcionales oxígeno, nitrógeno y azufre (Yu et al., 2013).

La materia orgánica disuelta (DOM) en las aguas residuales es una mezcla compleja de estructuras de hidrocarburos aromáticos y alifáticos que tienen adheridos amidas, carboxilos, hidroxilos, cetonas y varios grupos funcionales menores. (Bertanza et al., 2022). Además, la materia orgánica en el agua está compuesta por miles de componentes, como: partículas macroscópicas, coloides o macromoléculas disueltas (Fuentes Rivas et al., 2015).

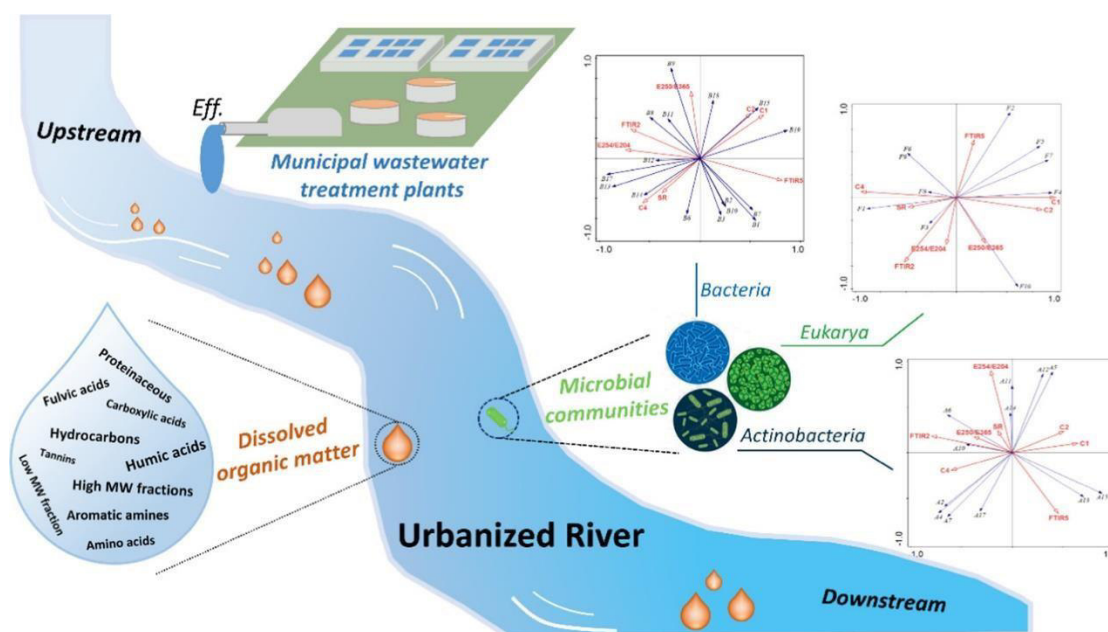
La materia orgánica disuelta (DOM) de las aguas residuales comprende una diversidad de compuestos, a saber, azúcares simples, ácidos orgánicos pequeños como el ácido acético, aminoácidos, proteínas, polisacáridos, ácidos grasos, sustancias húmicas, etc.

De acuerdo con Findlay y Parr (2017), la materia orgánica disuelta (DOM) es un componente central de la estructura y la función de los ecosistemas acuáticos que proporciona energía y bloques de construcción críticos para el crecimiento y la función de los organismos y está formada por los elementos C, H, O, N, P y S configurados en millones de moléculas orgánicas diferentes y se encuentra en todos los compartimentos del ciclo hidrológico, desde los océanos y la lluvia hasta las aguas superficiales y subterráneas. Pero también la cantidad y composición de lo que está disponible puede afectar la velocidad a la que progresan los procesos del ecosistema (Khan, 2019).

Además, la materia orgánica disuelta (DOM) de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) plantea serias amenazas para los ecosistemas acuáticos receptores y sus comunidades microbianas. Ver figura 1.

Figura 1

Migración y evolución de DOM en ríos



Nota: Yu et al., (2020)

2.1.3. Oxidación aeróbica

La investigación exhaustiva y el desarrollo de nuevos avances tecnológicos para la gestión de las aguas residuales domésticas se ha convertido en algo crucial en el presente y resultará extremadamente importante en el futuro (Yin y Zhang, 2020).

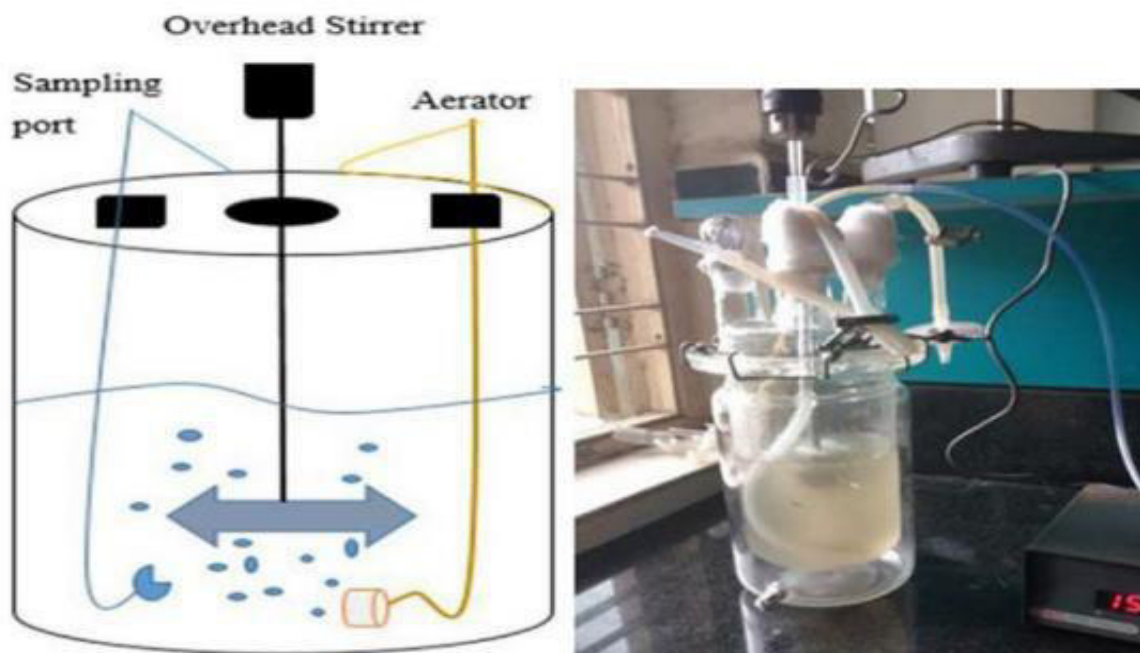
Debido a ello, es imperativo eliminar los contaminantes generados en las aguas residuales domésticas como excrementos humanos, nutrientes y materia orgánica en su origen o en la planta de tratamiento común (Ranade y Bhandar., 2015).

Actualmente las aguas residuales se tratan en plantas de tratamiento de aguas residuales (EDAR) y los enfoques convencionales aplicados en estas plantas se basan en diferentes tratamientos primarios y secundarios y, en algunos casos, también en tratamientos terciarios (Guo et al., 2020).

La oxidación biológica es un tratamiento secundario comúnmente utilizado que implica la oxidación aeróbica de la materia orgánica mediante microorganismos (Bramucci y Nagarajan , 2006). Ver figura 2.

Figura 2

Representación esquemática y fotográfica de un aireador a escala de laboratorio para la oxidación biológica



Nota: Gogate et al., (2020)

Se pueden utilizar diferentes tipos de lodos para comprobar la eficacia de la oxidación aeróbica; como se muestra en la figura 2, en el estudio de Gogate et al., (2020), se realizó en un reactor de vidrio de 1 L equipado con un agitador de cabeza mantenido a una velocidad de 150 rpm y un conjunto de aireador-descargador introducido en el fondo para el suministro continuo de aire y las muestras recogidas. Las muestras recogidas se analizaron para la DQO y la DBO.

Así mismo, el proceso de lodos activados, que depende de la presencia de oxígeno para la oxidación de la materia orgánica por parte de los microorganismos, es un enfoque comúnmente utilizado para el tratamiento de aguas residuales (Sikosana et al., 2019).

Las aguas residuales moderadamente tratadas del tratamiento primario se someten luego a un tratamiento secundario para reducir aún más los niveles de DBO 5, TSS, sólidos disueltos y residuos orgánicos. En este tratamiento, comúnmente se aplican procesos biológicos microbianos, como un reactor biológico aeróbico para eliminar los coloides y los compuestos orgánicos disueltos (Hodaifa et al., 2019).

Los microorganismos aeróbicos descomponen sustancias orgánicas complejas en productos inorgánicos simples como dióxido de carbono, agua y amoníaco. El proceso aeróbico puede disminuir la concentración de compuestos orgánicos descomponibles aproximadamente al 90% en la corriente de aguas residuales (Savant et al., 2006).

Las aguas residuales tratadas del reactor aeróbico se conducen al tanque de sedimentación para separar los lodos (mayoritariamente bacterias) (Johnson et al., 2019).

Mientras que la oxidación biológica es la técnica más utilizada para eliminar la DBO y consiste en la oxidación completa de compuestos orgánicos a CO y agua (Jia et al., 2021).

Así también, de acuerdo con Lin et al., (2021), en la reacción de oxidación, las reacciones son generalmente exotérmicas ya veces muy exotérmicas, por lo tanto, frecuentemente existe un problema de eliminación de calor y de control de temperatura.

Las reacciones de oxidación tienden a no estar limitadas por el equilibrio termodinámico; también puede haber problemas, sin embargo, de la reacción de combustión completa y de reacciones secundarias a subproductos no deseados, donde, frecuentemente, es

necesario emplear catalizadores y utilizar temperaturas moderadas para evitar estas reacciones no deseadas (Guo et al., 2020).

2.2. Marco conceptual

Se lleva a cabo la remoción de la materia Orgánica por procesos de Oxidación Aerobia en muestras de aguas residuales domésticas; tomando en cuenta los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales domésticas, los cuales son detallados a continuación en los siguientes puntos:

2.2.1. Materia Orgánica Disuelta (MOD)

La materia orgánica disuelta (DOM) es la forma dominante de materia orgánica en la columna de agua de las aguas continentales, y es químicamente muy heterogénea y compleja (Huang et al., 2010). El ciclo de la materia orgánica (MO) en los ecosistemas acuáticos es complejo y depende de multitud de factores que regulan su concentración y composición química.

Por lo tanto, los cambios en el pH tienen una influencia variable y típicamente secundaria en las propiedades de la MO acuática disuelta (DOM), en relación con otros cambios ambientales como el uso de la tierra, la hidrología y otros factores (Spencer et al., 2016).

2.2.2. Potencial de Hidrógeno (ph)

El pH se definió como $\text{pH} = -\log a_{\text{H}^+}$ donde a_{H^+} es la actividad del ion H^+ ; donde el pH es considerado como el parámetro que se mide con mayor frecuencia en química (Satyam, 2021).

Ello se debe a que el pH influye en la posición de equilibrio químico de la mayoría de las reacciones químicas en soluciones acuosas, y esto también puede extenderse a otros medios.

En varios casos, el pH también influye en la cinética de la reacción, cambiando la velocidad y actuando como catalizador (Feher, 2012).

2.2.3. Turbiedad

La turbidez es la medida de la intensidad de la luz transmitida a través de una muestra líquida y la turbidez de los lodos está directamente relacionada con la cantidad de partículas en suspensión y con su tamaño medio (Newcombe y Dixon, 2006).

Es una técnica simple y de bajo costo que puede detectar la presencia de partículas en suspensión y se usa a menudo para medir la cinética de nucleación y el ancho de la zona metaestable (Simón et al., 2018).

El nivel de turbidez también puede dar una indicación del tamaño medio y la concentración de sólidos de las partículas suspendidas en el agua, aunque no con tanta precisión como otras técnicas. Así mismo de acuerdo con Mountain y Keating (2021), la turbidez en el agua resulta de la presencia de partículas coloidales que dispersan la luz, como resultado, los objetos en el agua se vuelven borrosos.

2.2.4. Sólidos Suspendidos totales (SST)

Los sólidos suspendidos totales (TSS) se definen como sólidos en el agua que pueden ser atrapados por un filtro (Ahmad et al., 2019).

Las mediciones de sólidos suspendidos totales (TSS) y sólidos suspendidos volátiles (VSS) han sido reconocidas como los datos más valiosos, ya que, proporcionando información sobre la eficiencia de eliminación de nutrientes y el posible ensuciamiento (formación de capas de torta y filtrabilidad) (Guangyin & Youcai, 2017).

Además, los sólidos suspendidos totales (TSS) se definen como sólidos en el agua que pueden ser atrapados por un filtro y para medir TSS, la muestra de agua se filtra a través de un filtro previamente pesado; el residuo retenido en el filtro se seca en un horno a 103–105°C hasta que el peso del filtro ya no cambia y el aumento de peso del filtro representa el TSS (Zhang, 2014).

2.3. Marco Legal Ambiental

- Ley N°30588. Ley de Reforma Constitucional que reconoce el derecho al agua como derecho constitucional que incorpora el artículo 7°-A en la Constitución Política del Perú. y es la ley donde el estado reconoce el derecho de toda persona a acceder de forma progresiva y universal al agua potable. El Estado garantiza este derecho priorizando el consumo humano sobre otros usos.
- DECRETO SUPREMO - N° 015-2017-VIVIENDA. Decreto que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Decreto Supremo N° 007-2010-AG.- Decreto que genera la protección de la calidad de los recursos hídricos y declaran de interés nacional la protección de la calidad del agua en las fuentes naturales y sus bienes asociados, con el objeto de prevenir el peligro de daño grave o irreversible que amenace a dichas fuentes y la salud de las actuales y futuras generaciones.
- Resolución Jefatural N° 0201-2009-ANA. Establecen disposiciones para la implementación de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N° 29338, en cuanto se refiere al establecimiento del valor y cobranza de las retribuciones económicas por el uso de agua para el 2009. Que según el artículo 91° de la Ley de Recursos Hídricos, Ley N°29338, señala que la retribución económica por el uso del agua es el pago que en forma obligatoria

deben abonar al estado todos los usuarios de agua como contraprestación por el uso del recurso, y es establecida por la Autoridad Nacional del Agua en función de criterios sociales, ambientales y económicos. Además, se menciona que la retribución económica que pagaran las organizaciones comunales responsables de la prestación de los servicios será de S/ 50.00 nuevos soles y para la cobranza del agua con fines mineros.

- Ley N° 27314.- Ley General de Residuos Sólidos que se aplica a las actividades, procesos y operaciones de la gestión y manejo de residuos sólidos, desde la generación hasta su disposición final.
- Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Agua y establecen disposiciones complementarias. Es el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) como la medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, en su condición de cuerpo receptor, que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.
- La Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes, asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de Investigación

Este estudio presenta un tipo de investigación aplicada, debido a que se va aplicar la oxidación aerobia en aguas residuales domésticas que permitirá la remoción de la materia orgánica presente.

Además, se presenta un diseño metodológico no experimental-longitudinal. No experimental, debido a que no se va a manipular ninguna de las variables; se buscará analizar cuál es el porcentaje de remoción de materia orgánica en un determinado momento, es decir, en un tiempo determinado.

Así también, es longitudinal por que los datos que se van a recoger serán en 3 tiempos diferentes; la concentración inicial del día cero y la concentración final para los días 5, 10 y 15. De tal modo, Hernández et al., (2014), indica que tomando datos de tiempos distintos para sacar inferencias de los cambios suscitados y las consecuencias.

3.2. Ámbito temporal y espacial

3.2.1 Temporal: El ámbito temporal, muestra que los estudios experimentales se iniciaron el 21 de enero del año 2022, con el monitoreo y la caracterización del agua residual en el Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE.

3.2.1 Espacial: En el ámbito espacial la investigación fue aplicada y procesa de las aguas residuales domésticas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas “Alejandro Vínces Araoz” de Surco; las cuales fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles del DS 003-2010-MINAM.

3.3. Variables

Las variables generadas son:

3.3.1 variable dependiente: Remoción de materia orgánica y

3.3.2 variable independiente: Oxidación aerobia

Las variables se detallan en la tabla N°1, con sus respectivas dimensiones e indicadores y escalas.

Tabla 1.*Operacionalización de variables*

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala
Variable dependiente Remoción de materia orgánica	Es una alternativa de eliminación una extensa gama de residuos, reduciendo el impacto que estos pueden generar hacia el ambiente. Así mismo, por lo general, se da mediante el tratamiento biológico; el cual elimina SST, NT, PT, en general eliminar la máxima concentración de carga orgánica de las aguas residuales (Borges et al., 2012).	Se realizó la oxidación aerobia enero con el monitoreo y la caracterización del agua residual en el Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE, seguido de ello se realiza la oxidación aerobia, empleando diferentes tiempos de tratamiento y los porcentajes de remoción de los parámetros estudiados se determinaron considerando la concentración inicial del primer monitoreo en el día cero, y la concentración final para los días 5, 10 y 15.	Características fisicoquímicas	T°	°C
				Ácidos y grasas	mg/L
				CE	uS
				SST	mg/L
			Eficiencia	7 parámetros indicadores	mg/L
Variable independiente Oxidación aerobia	La oxidación aerobia es el tratamiento en el que los microorganismos convierten los compuestos orgánicos en dióxido de carbono y nueva biomasa en presencia de oxígeno (Van et al., 2021).	Se realiza el tratamiento por oxidación aerobia empleando los tiempos de tratamiento para 5, 10 y 15 días en dos volúmenes de 5 litros cada uno (M1 y M2; donde se determinaron los porcentajes de remoción correspondientes a cada sistema de tratamiento M1 (no incluye adición de nutrientes) y M2 (incluye adición de nutrientes).	M1 (no incluye adición de nutrientes)	Dosis	mg/L
			M2 (incluye adición de nutrientes)	Materia orgánica	mg/L

3.4. Población y muestra

3.4.1 Población: La población de este estudio son las muestras de agua residual tomada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas “Alejandro Vines Araoz” de Surco.

3.4.2 Muestra: La muestra a tratar presenta un volumen de 5 L. para cada uno de las muestras (M1 y M2).

La muestra de 5 litros presenta 7 parámetros indicadores, asociados a la presencia de materia orgánica, siendo pH, Temperatura, C.E, TDS, TURBIEDAD, SST, ACEITES Y GRASA, DQO, DBO, NT y PT.

3.5. Técnica e Instrumentos para la recolección de datos

La técnica usada en el presente trabajo consistió en el uso de la matriz apriorística, de donde, posteriormente se analizó la remoción de materia orgánica por oxidación aerobia en aguas residuales domésticas, para detallar los objetivos propuestos.

Además, se utilizó el instrumento de cadena de custodia, para detallar los datos relevantes como valores, características, entre otros de las reacciones presentados en la experimentación.

3.6. Procedimientos

El estudio experimental realizado se llevó a cabo en 2 etapas; las cuales ordenan el procedimiento realizado como se observa a continuación:

ETAPA 1: Búsqueda de información de estudios y elaboración de metodología

- Análisis de los lineamientos de la guía

- Búsqueda de artículo guía
- Elaboración del diseño experimental

ETAPA 2: Etapa experimental

- Recolección de la muestra: agua residual tomada de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas “Alejandro Vinces Araoz” de Surco.
- Posterior a ello, se muestrean las aguas residuales tomadas (5L) para la caracterización fisicoquímica del agua en el Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE.
- Los parámetros fisicoquímicos caracterizados fueron: pH, Temperatura, C.E, TDS, TURBIEDAD, SST, ACEITES Y GRASA, DQO, DBO, NT y PT.
- Después, se realizó el estudio de eficiencia por cada sistema de tratamiento en el cual finalizados los tiempos de tratamiento para 5, 10 y 15 días en dos volúmenes de 5 litros cada uno (M1 y M2), se determinaron los porcentajes de remoción correspondientes a cada sistema de tratamiento M1 (no incluye adición de nutrientes) y M2 (incluye adición de nutrientes). En ambos sistemas de tratamiento se trabajaron con 7 parámetros indicadores, asociados a la presencia de materia orgánica.
- Finalmente, se realizó la lectura de los resultados finales del tratamiento; donde el tiempo total de tratamiento para 15 días, se procedió a comparar los resultados obtenidos con la norma correspondiente a los Límites Máximos Permisibles para vertimiento de aguas residuales domésticas, el DS 003-2010-MINAM, el cual considera los parámetros fisicoquímicos de Potencial de Hidrógenos (pH), Temperatura, Solidos Suspendidos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Aceites y Grasa.

3.7. Análisis de datos

Los datos obtenidos de los tratamientos finales en el laboratorio serán leídos y comparados por los resultados obtenidos con la norma correspondiente a los Límites Máximos Permisibles para vertimiento de aguas residuales domésticas y determinar si se cumple o no con los LMP.

3.8. Consideraciones éticas

El presente estudio de investigación presenta como consideraciones éticas al cumplimiento del respeto a la autoría, siendo demostrado mediante las citas realizadas (Estilo APA Versión 7), de los autores de quienes fueron usados sus estudios para complementar y demostrar los resultados presentados; así mismo se brinda la información completa de los resultados del estudio para brindar su total transparencia y veracidad a lo obtenido.

IV. RESULTADOS

Los resultados se obtuvieron de acuerdo con los ensayos trabajados en el laboratorio en enero del 2022. Los trabajos experimentales se iniciaron el 21 de enero con el monitoreo y la caracterización del agua residual en el Laboratorio de Geografía y Medio Ambiente de la FIGAE, y los resultados obtenidos fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles del DS 003-2010-MINAM.

4.1 Resultados de la caracterización del agua residual

A continuación, los resultados de la caracterización del agua residual tomada de la planta de tratamiento de aguas residuales domesticas “Alejandro Vínces Araoz “de Surco.

Tabla 2

Resultados de la caracterización

Muestra	PARAMETROS FISICOQUIMICOS										
	pH	Temperatura (°C)	C.E (uS)	TDS (mg/l)	TURBIEDAD (NTU)	SST (mg/l)	ACEITES Y GRASA (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	NT (mg/l)	PT (mg/l)
M-C	7,85	23.3	1553	847	85,8	152	67,5	612	315	31,5	8,2

4.2. Eficiencias alcanzadas por cada sistema de tratamiento

Finalizados los tiempos de tratamiento, para 5, 10 y 15 días en dos volúmenes de 5 litros cada uno (M1 y M2), se determinaron los porcentajes de remoción correspondientes a cada sistema de tratamiento M1 (no incluye adición de nutrientes) y M2 (incluye adición de

nutrientes). En ambos sistemas de tratamiento se trabajaron con 7 parámetros indicadores, asociados a la presencia de materia orgánica, según se detallan a continuación:

4.2.1. Turbiedad

El cálculo de los porcentajes de remoción de la Turbiedad se determinó considerando la concentración inicial del primer monitoreo en el día cero, y la concentración final para los días 5, 10 y 15.

Tabla 3

Porcentajes de Remoción para Turbiedad

TURBIEDAD							
Tiempo							
Tiempo	Eficiencia			Eficiencia		Eficiencia	
	0	5 días	%	10 días	%	15 días	% (NTU)
Tratamiento	[] Inicial (NTU)	[] Final (NTU)		[] Final (NTU)		[] Final	
M1	85.8	53.3	37.9	39.8	53.6	22.6	73.7
M2	85.8	39.3	54.2	29.3	65.9	19.2	77.1

De acuerdo con los resultados obtenidos en los tres tiempos (5, 10 y 15 días), se aprecia que el sistema de tratamiento M2, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 77.1% de remoción, sobre el otro sistema de tratamiento M1 quien alcanzó 73.7% de remoción.

4.2.2. Sólidos Suspendidos Totales

El cálculo de los porcentajes de remoción de sólidos suspendidos totales se determinó considerando la concentración inicial del día cero y la concentración final para los días 5, 10 y 15.

Tabla 4

Porcentajes de Remoción para Suspendidos Totales

SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES							
Tiempo	Tiempo		Eficiencia	Eficiencia		Eficiencia	
	Tiempo	Sistemas de		10 días	15 días		
Tratamiento	0	5 días	%	10 días	%	15 días	%
	[] Inicial (mg/l)	[] Final (mg/l)		[] Final (mg/l)		[] Final (mg/l)	
M1	152	81.5	46.4	47.3	68.9	17.4	88.6
M2	152	62.1	59.1	32.4	78.7	14.9	90.2

De acuerdo con los resultados obtenidos en los tres tiempos (5,10 y 15 días) , se aprecia que el sistema de tratamiento M2 , presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 90.2 % de remoción ; sobre el otro sistema de tratamiento M1;quien alcanzo un 88.6 % de remoción.

4.2.3. Aceites y Grasa

El cálculo de los porcentajes de remoción de aceites y grasas se consideró la concentración inicial del día 0 y la concentración final para los días 5, 10 y 15.

Tabla 5

Porcentajes de Remoción para Aceites y Grasas

ACEITES Y GRASAS

Tiempo	Tiempo		Eficiencia	Eficiencia	Eficiencia		
	0	5 días					
Tratamiento	Initial (mg/l)	Final (mg/l)	%	10 días [] Final (mg/l)	%	15 días [] Final (mg/l)	%
M1	67.5	47.3	29.9	25.6	62.1	10.4	84.6
M2	67.5	33.5	50.4	15.2	77.5	8.8	86.9

De acuerdo con los resultados obtenidos en los tres tiempos (5, 10 y 15 días), se aprecia que el sistema de tratamiento M2, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 86.9% de remoción, sobre el otro sistema de tratamientos M1 quien alcanzó 84.6% de remoción.

4.2.4. Demanda Química de Oxígeno

El cálculo de los porcentajes de remoción para la Demanda Química de Oxígeno se determinó considerando la concentración inicial del día cero y la concentración final para los días 5, 10 y 15.

Tabla 6

Porcentajes de Remoción para la Demanda Química de oxígeno

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

Tiempo	Tiempo		Eficiencia	Eficiencia	Eficiencia		
	0	5 días					
Tratamiento	Initial (mg/l)	Final (mg/l)	%	10 días [] Final (mg/l)	%	15 días [] Final (mg/l)	%
M1	612	253	58.7	112.3	81.7	52.4	91.4
M2	612	203	66.8	81.5	86.7	38.3	93.7

De acuerdo, con los resultados obtenidos en los tres tiempos (5,10 y 15), se aprecia que el sistema de tratamiento M2 presentando una mayor eficiencia al final del tratamiento con 93.7 % de remoción sobre el otro sistema de tratamiento M1 que alcanzo un 91.4% de remoción.

4.2.5. Demanda Bioquímica de Oxígeno

El cálculo de los porcentajes de remoción para la demanda bioquímica de oxígeno se determinó considerando la concentración inicial del día cero y la concentración final de los días 5, 10 y 15.

Tabla 7

Porcentajes de Remoción para la Demanda Bioquímica de Oxígeno

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO							
Sistemas de Tratamiento	Tiempo		Eficiencia	Tiempo		Tiempo	
	0	5 días		10 días	15 días	15 días	15 días
	[] Inicial (mg/l)	[] Final (mg/l)	%	[] Final (mg/l)	%	[] Final (mg/l)	%
M1	315	128.4	59.2	56.3	82.1	25.9	91.7
M2	315	105.2	66.6	43.8	86.1	19.5	93.8

De acuerdo con los resultados obtenidos en los tres tiempos (5, 10 y 15 días), se aprecia que el sistema de tratamiento M2, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 93.8% de remoción, sobre el otro sistema de tratamiento M2 quien alcanzó 91.7% de remoción.

4.2.6. Nitrógeno Total

El cálculo de los porcentajes para remoción para nitrógeno total se determinó considerando la concentración inicial y final para los días 5, 10 y 15.

Tabla 8

Porcentaje de Remoción para Nitrógeno Total

NITROGENO TOTAL							
Tiempo	Tiempo		Eficiencia	Eficiencia		Eficiencia	
	Tiempo	Sistemas de		10 días	10 días	10 días	10 días
Tratamiento	[] Inicial	[] Final	%	[] Final	%	[] Final	%
	(mg/l)	(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)	
M1	31.5	23.5	25.4	15.1	52.1	10.3	67.3
M2	31.5	19.4	38.4	12.3	60.9	7.1	77.5

Los resultados obtenidos en los tres tiempos se observan que el sistema de tratamiento M2, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 77.5% de remoción, sobre el otro sistema de tratamiento M2 quien alcanzó 67.3% de remoción.

4.2.7. Fósforo Total

El cálculo de la eficiencia de fosforo total se determinó considerando la concentración inicial del primer monitoreo y concentración final determinado el día 21.

Tabla 9*Porcentaje de Remoción para fósforo total*

FOSFORO TOTAL							
Tiempo	Tiempo		Eficiencia	Eficiencia		Eficiencia	
	Tiempo	Sistemas de					
Tratamiento	0	5 días		10 días		15 días	
	[]	[]	%	[] Final	%	[] Final	%
	Inicial	Final		(mg/l)		(mg/l)	
	(mg/l)	(mg/l)		(mg/l)		(mg/l)	
M1	8.2	7.1	13.4	5.7	30.5	3.1	62.2
M2	8.2	6.5	20.7	4.3	47.6	2.2	73.2

De acuerdo con los resultados obtenidos en los tres tiempos (5, 10 y 15 días), se aprecia que el sistema de tratamiento M2, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 93.7% de remoción, sobre el otro sistema de tratamiento M2 quien alcanzó 91.4% de remoción.

4.3. Resultados Finales del Tratamiento

Finalizado el tiempo total de tratamiento para 15 días, se procedió a comparar los resultados obtenidos con la norma correspondiente a los Límites Máximos Permisibles para vertimiento de aguas residuales domésticas, el DS 003-2010-MINAM, el cual considera los parámetros fisicoquímicos de Potencial de Hidrógenos (pH), Temperatura, Sólidos Suspendidos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Aceites y Grasa. Es preciso indicar que nuestro principal objetivo se basó en la remoción de la materia orgánica, por lo cual no se ha considerado parámetros microbiológicos.

Tabla 10*Resultados Finales del Tratamiento a los 15 días*

Muestra	PARAMETROS FISICOQUIMICOS										
	pH	Temperatura (°C)	C.E (uS)	TDS (mg/l)	TURBIEDAD (NTU)	SST (mg/l)	ACEITES Y GRASA (mg/l)	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	NT (mg/l)	PT (mg/l)
M1	7,15	23.9	1746	912	22.6	17.4	10.4	52.4	25.9	10.3	3.1
M2	7,23	23.5	1989	985	19.2	14.9	8.8	38.3	19.5	7.1	2.2
LMP *	6.5- 8.5	< 35	-	-	-	150	20	200	100	-	-

➤ **DS 003-2010-MINAM**

De acuerdo con los resultados finales a los 15 días, se puede observar que los parámetros de temperatura, pH, SST, aceites y grasa, DQO Y DBO se encuentran dentro de los límites máximos permisibles (LMP), tanto para el sistema de tratamiento M1 como el M2. Los parámetros de turbiedad, nitrógeno y fósforo total no cuentan con LMP, sin embargo, fueron considerados para evaluar el grado de remoción que estos podían alcanzar con el tratamiento oxidación aeróbica aplicado.

4.4. Análisis Estadístico

Para poder analizar los parámetros involucrados se tomó en cuenta los parámetros fisicoquímicos analizados para lo cual se analizaron con el método DCA, el cual se basa en una prueba ANOVA de un factor el cual se aplicó a cada parámetro fisicoquímico involucrado.

➤ **Análisis Estadístico en Turbiedad**

Para ello se agrupo de la siguiente manera los resultados obtenidos para procesar la información estadística.

Tabla 11

Data para la Aplicación Estadística para parámetro de Turbiedad

CAPACIDAD	TRATAMIENTO	REPETICION	RESULTADOS	EFICIENCIA DE REMOCIÓN
5L SIN NUTRIENTES	M1	R1	53.3	37.879
	M1	R2	39.8	53.613
	M1	R3	22.6	73.660
5L CON NUTRIENTES	M2	R1	39.3	54.196
	M2	R2	29.3	65.851
	M2	R3	19.2	77.622

Para determinar el DCA en la tabla 11 que corresponde a la aplicación del tratamiento y su afectación en la disminución de turbiedad se tiene:

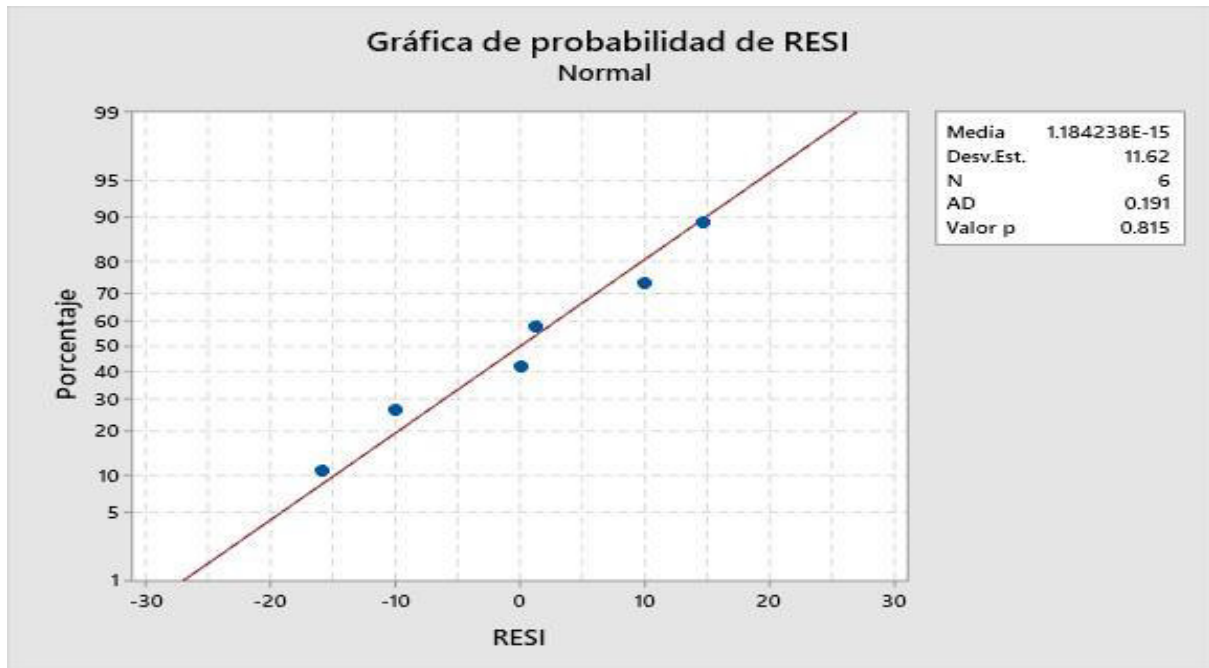
Prueba de normalidad de los errores AD. Se aplican los siguientes argumentos:

H0: Los residuos se distribuyen normalmente

Ha: Los residuos no se distribuyen normalmente

Figura 3

Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de turbiedad de tratamiento



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo calculado que valor $p > 0.05$ ($p = 0.815$) como también el indicador ($AD = 0.191$) por consiguiente se acepta la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores presentan una distribución Normal.

✓ Homogeneidad de Varianzas

Se plantea

H_0 : Las varianzas son iguales

H_a : Al menos una varianza es diferente

Calculando el índice de Fisher = 2.34 y p valor = 0.598 > 0.05 , no se rechaza la hipótesis nula por consiguiente existe homogeneidad de Varianzas.

✓ Prueba hipótesis DCA: Al menos un tratamiento es más efectivo que los demás al reducir la turbidez por oxidación aerobia en aguas residuales

H_0 : Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre si

Ha: Los tratamientos presentan diferencias significativas entre si

Teniendo en cuenta el coeficiente $F= 0.77$ y un $p\text{-valor} = 0.430$ y sabiendo que $p\text{-valor} > 0.05$ se decide rechazar la hipótesis alterna y acepta la hipótesis anula es decir Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, pero si se puede establecer variaciones que permitan el análisis diferencial entre las mismas

✓ Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey)

Prueba Tukey:

$H_0: \mu_i = \mu_j$

$H_a: \mu_i \neq \mu_j$

Por lo que se tiene:

Tabla 12

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para

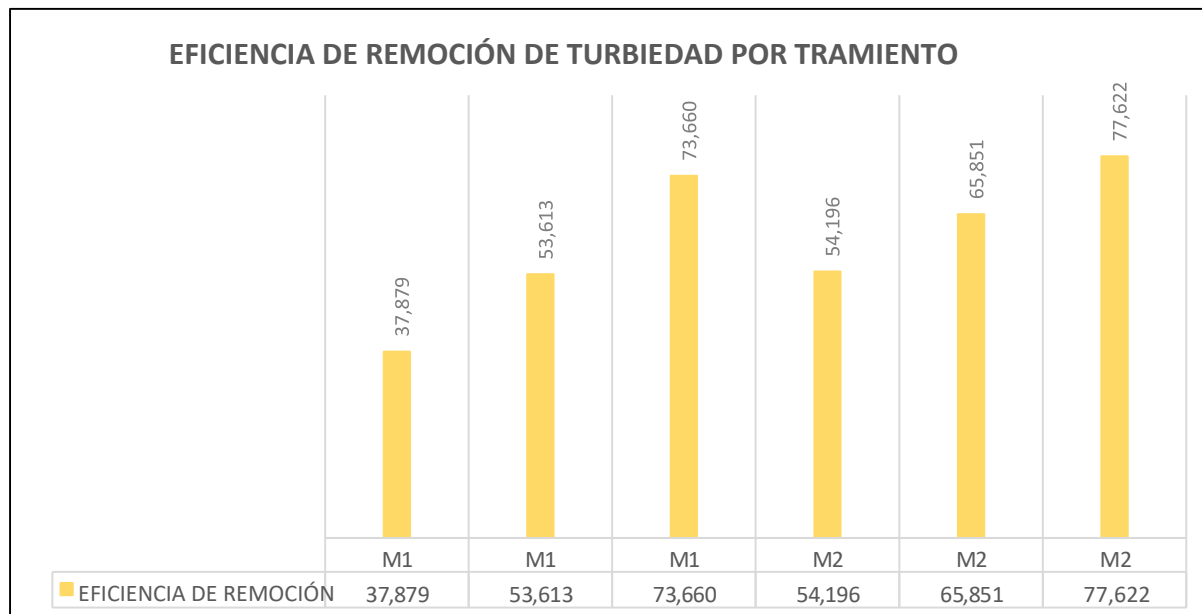
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
M1	3	38.5667	A
M2	3	29.2667	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De lo que se desprende que el tratamiento M2 al poseer una media menor esto quiero decir que en proceso de disminución de turbiedad por oxidación aerobia en aguas residuales es más efectivo.

Figura 4

Eficiencia de tratamientos de disminución de turbiedad por oxidación aerobia en aguas residuales



Se observa que el tratamiento M2 demuestra una eficiencia de 77.622% de disminución de turbiedad aplicando la oxidación aerobia en aguas residuales con 5 litros de nutrientes.

➤ Análisis Estadístico en Solidos Suspendidos Totales

Para ello se agrupo de la siguiente manera los resultados obtenidos para procesar la información de manera estadística

Tabla 13

Data para Aplicación Estadística para parámetro Solidos Suspendidos Totales

CAPACIDAD	TRATAMIE NTO	REPETIC ION	RESULTA DOS	EFICIENCIA DE REMOCIÓN
5L SIN NUTRIENTES	M1	R1	81.5	46.382
	M1	R2	47.3	68.882

5L CON NUTRIENTES	M1	R3	17.4	88.553
	M2	R1	62.1	59.145
	M2	R2	32.4	78.684
	M2	R3	14.9	90.197

Para determinar el DCA en la tabla 13 que corresponde a la aplicación del tratamiento y su afectación en la disminución de Sólidos Suspendidos Totales se tiene:

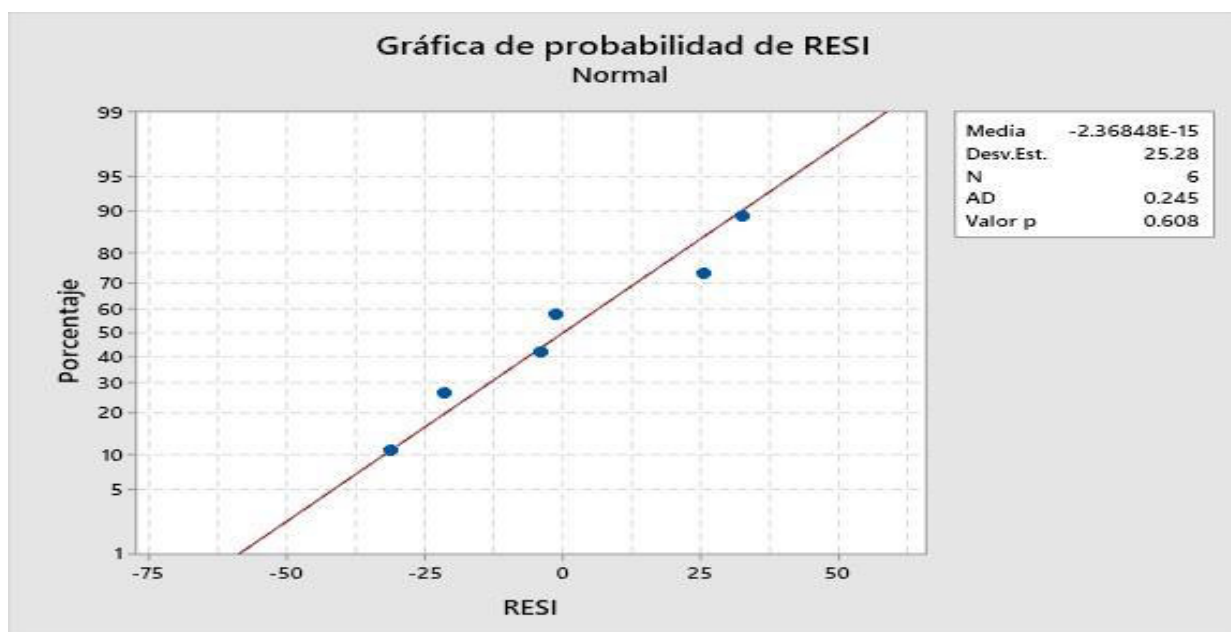
Prueba de Normalidad para los errores (AD). Se aplican los siguientes argumentos:

H0: Los residuos se distribuyen normalmente

Ha: Los residuos no se distribuyen normalmente

Figura 5

Prueba de Normalidad de residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de Sólidos Suspendidos Totales de Tratamiento



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo calculado que valor $p > 0.05$ ($p = 0.608$) como también el indicador ($AD = 0.245$) por consiguiente se acepta la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores presentan una distribución Normal.

✓ Homogeneidad de Varianzas

Se plantea

H_0 : Las varianzas son iguales

H_a : Al menos una varianza es diferente

Calculando el índice de Fisher = 1.81 y p valor = 0.713 > 0.05 , no se rechaza la hipótesis nula por consiguiente existe homogeneidad de Varianzas.

✓ Prueba hipótesis DCA: Al menos un tratamiento es más efectivo que los demás al reducir los sólidos suspendidos totales por oxidación aerobia en aguas residuales

H_0 : Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre si

H_a : Los tratamientos presentan diferencias significativas entre si

Teniendo en cuenta el coeficiente $F = 0.28$ y un p -valor = 0.623 y sabiendo que p -valor > 0.05 se decide rechazar la hipótesis alterna y acepta la hipótesis anula es decir Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, pero si se puede establecer variaciones que permitan el análisis diferencial entre las mismas

✓ Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey)

Prueba Tukey:

H_0 : $\mu_i = \mu_j$

Ha: $\mu_i \neq \mu_j$

Por lo que se tiene:

Tabla 14

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para Sólidos Suspendidos Totales

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
M1	3	48.7333	A
M2	3	36.4667	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De lo que se desprende que el tratamiento M2 al poseer una media menor esto quiero decir que en proceso de disminución de Sólidos Suspendidos Totales por oxidación aerobia en aguas residuales es más efectivo.

Figura 6

Eficiencia de Tratamientos de disminución de Sólidos Suspendidos Totales por Oxidación aeróbica en Aguas Residuales



Se observa que el tratamiento M2 demuestra una eficiencia de 90.197% de disminución de Sólidos Suspendedos Totales aplicando la oxidación aerobia en aguas residuales con 5 litros de nutrientes.

➤ **Análisis Estadístico en Aceites y Grasas**

Para ello se agrupó de la siguiente manera los resultados obtenidos para procesar la información de manera estadística

Tabla 15

Data para la Aplicación Estadística para Parámetros de Aceites y grasas

CAPACIDAD	TRATAMIE NTO	REPETIC ION	RESULTA DOS	EFICIENCIA DE REMOCIÓN
5L SIN NUTRIENTES	M1	R1	47.3	29.926
	M1	R2	25.6	62.074
	M1	R3	10.4	84.593

5L CON NUTRIENTES	M2	R1	33.5	50.370
	M2	R2	15.2	77.481
	M2	R3	8.8	86.963

Para determinar el DCA en la tabla 15 que corresponde a la aplicación del tratamiento y su afectación en la disminución de Aceites y Grasas se tiene:

Prueba de Normalidad para los errores (AD)

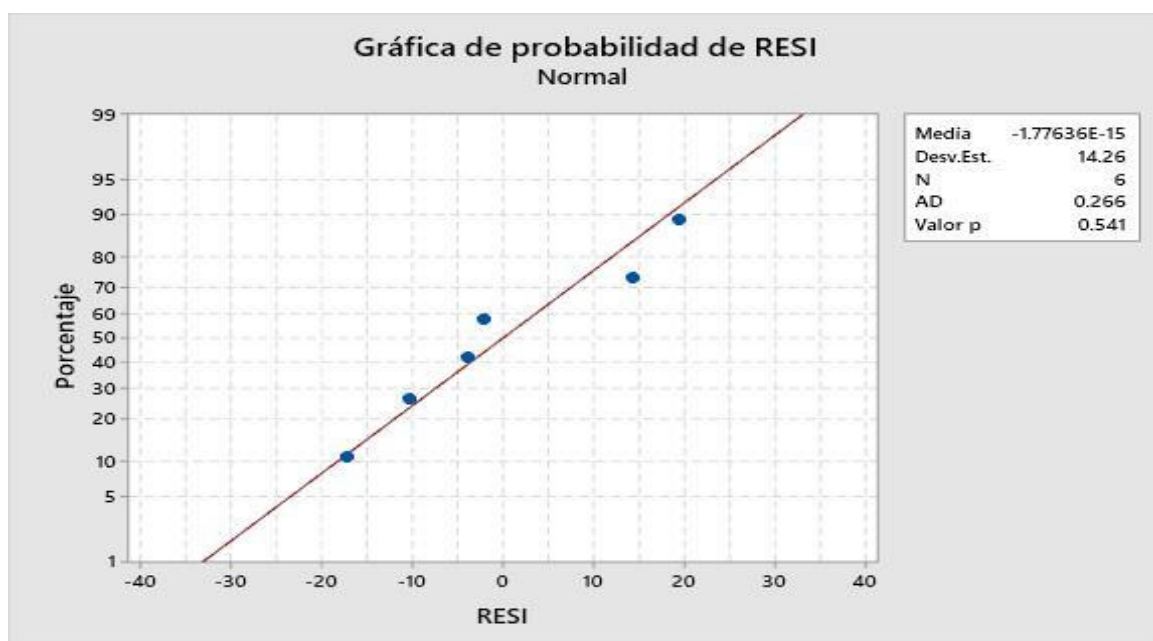
Se aplican los siguientes argumentos:

H0: Los residuos se distribuyen normalmente

Ha: Los residuos no se distribuyen normalmente

Figura 7

Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de Aceites y Grasas de Tratamiento



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo calculado que valor $p > 0.05$ ($p = 0.541$) como también el indicador ($AD = 0.266$) por consiguiente se acepta la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores presentan una distribución Normal.

✓ Homogeneidad de Varianzas

Se plantea

H_0 : Las varianzas son iguales

H_a : Al menos una varianza es diferente

Calculando el índice de Fisher = 2.09 y p valor = 0.647 > 0.05, no se rechaza la hipótesis nula por consiguiente existe homogeneidad de Varianzas.

✓ Prueba hipótesis DCA: Al menos un tratamiento es más efectivo que los demás al reducir los sólidos suspendidos totales por oxidación aerobia en aguas residuales

H_0 : Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre si

H_a : Los tratamientos presentan diferencias significativas entre si

Teniendo en cuenta el coeficiente $F = 0.44$ y un p-valor = 0.545 y sabiendo que p-valor > 0.05 se decide rechazar la hipótesis alterna y acepta la hipótesis anula es decir Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, pero si se puede establecer variaciones que permitan el análisis diferencial entre las mismas

✓ Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey) Prueba Tukey:

H_0 : $\mu_i = \mu_j$

H_a : $\mu_i \neq \mu_j$

Por lo que se tiene:

Tabla 16

Agrupar información utilizando el Método Tukey y una confianza de 95 % para aceites y grasas

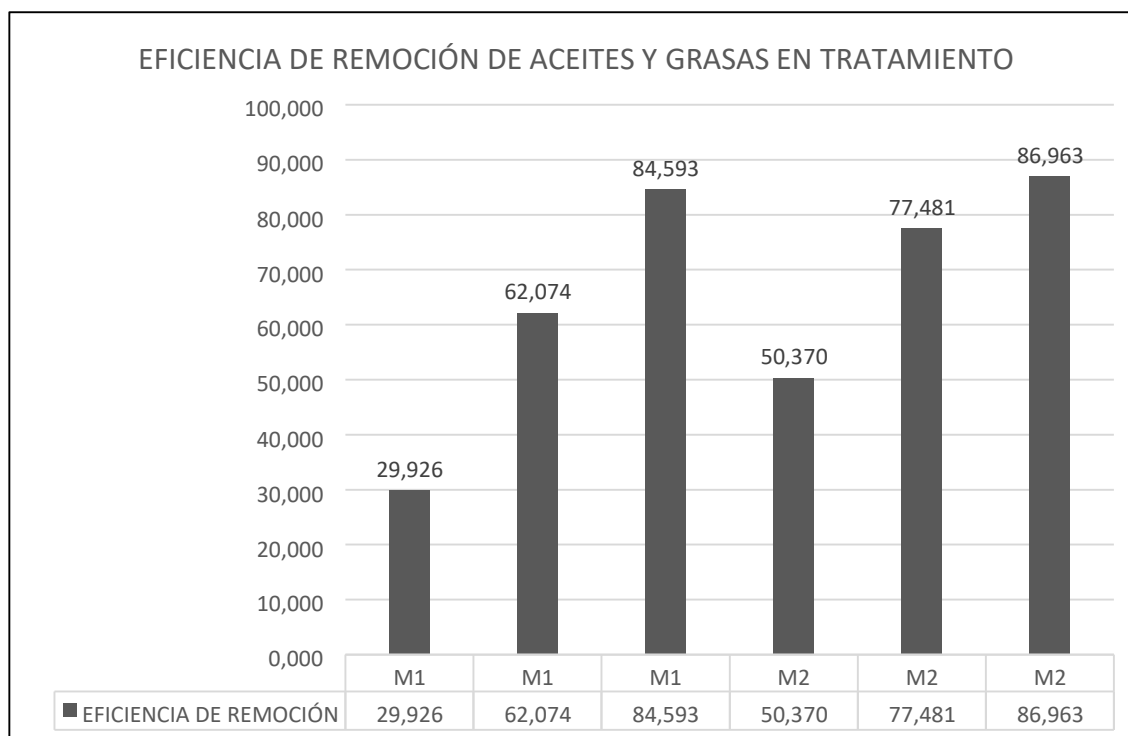
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
M1	3	27.7667	A
M2	3	19.1667	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De lo que se desprende que el tratamiento M2 al poseer una media menor esto quiero decir que en proceso de disminución de Aceites y Grasas por oxidación aerobia en aguas residuales es más efectivo.

Figura 8

Eficiencia de tratamientos de disminución de Aceites y Grasas por oxidación aerobia en aguas residuales



Se observa que el tratamiento M2 demuestra una eficiencia de 77.622% de disminución de Aceites y Grasa aplicando la oxidación aerobia en aguas residuales con 5 litros de nutrientes.

➤ Análisis Estadístico en Demanda Química de Oxígeno

Para ello se agrupo de la siguiente manera los resultados obtenidos para procesar la información de manera estadística

Tabla 17.

Data para Aplicación Estadística para parámetro Demanda Química de Oxígeno

CAPACIDAD	TRATAMIE NTO	REPETIC ION	RESULTA DOS	EFICIENCIA DE REMOCIÓN
5L SIN NUTRIENTES	M1	R1	253	58.660
	M1	R2	112.3	81.650
	M1	R3	52.4	91.438
5L CON NUTRIENTES	M2	R1	203	66.830
	M2	R2	81.5	86.683
	M2	R3	38.3	93.742

Para determinar el DCA en la tabla 17 que corresponde a la aplicación del tratamiento y su afectación en la disminución de la Demanda Química de Oxígeno se tiene:

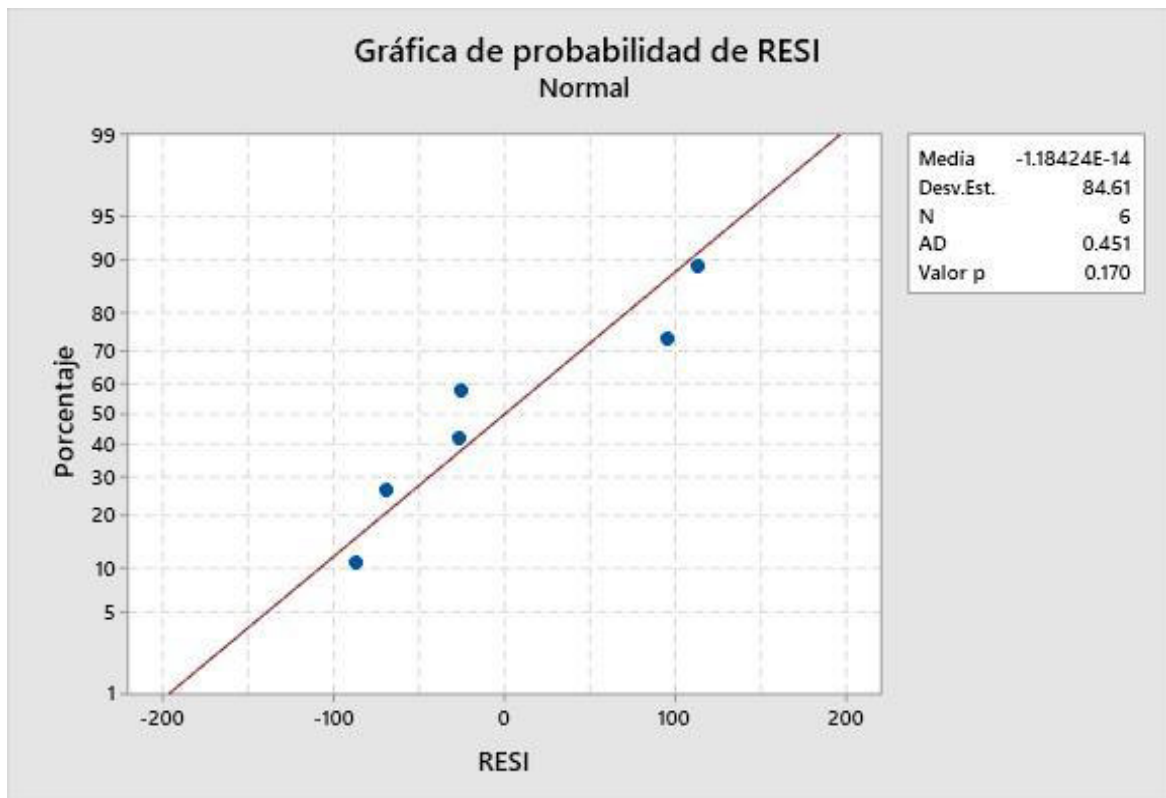
Prueba de Normalidad para los errores (AD) Se aplican los siguientes argumentos:

H0: Los residuos se distribuyen normalmente

Ha: Los residuos no se distribuyen normalmente

Figura 9

Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de la Demanda Química de Oxígeno de tratamiento



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo calculado que valor $p > 0.05$ ($p = 0.170$) como también el indicador ($AD = 0.451$) por consiguiente se acepta la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores presentan una distribución Normal.

✓ Homogeneidad de Varianzas

Se plantea

H0: Las varianzas son iguales

Ha: Al menos una varianza es diferente

Calculando el índice de Fisher = 1.45 y p valor = 0.815 > 0.05, no se rechaza la hipótesis nula por consiguiente existe homogeneidad de Varianzas.

✓ Prueba hipótesis DCA: Al menos un tratamiento es más efectivo que los demás al reducir la Demanda Química de Oxígeno por oxidación aerobia en aguas residuales

H0: Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre si

Ha: Los tratamientos presentan diferencias significativas entre si

Teniendo en cuenta el coeficiente $F = 0.17$ y un p-valor = 0.703 y sabiendo que p-valor > 0.05 se decide rechazar la hipótesis alterna y acepta la hipótesis anula es decir Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, pero si se puede establecer variaciones que permitan el análisis diferencial entre las mismas

✓ Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey)

Prueba Tukey:

H0: $\mu_i = \mu_j$

Ha: $\mu_i \neq \mu_j$

Por lo que se tiene:

Tabla 18

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para la Demanda Química de Oxígeno

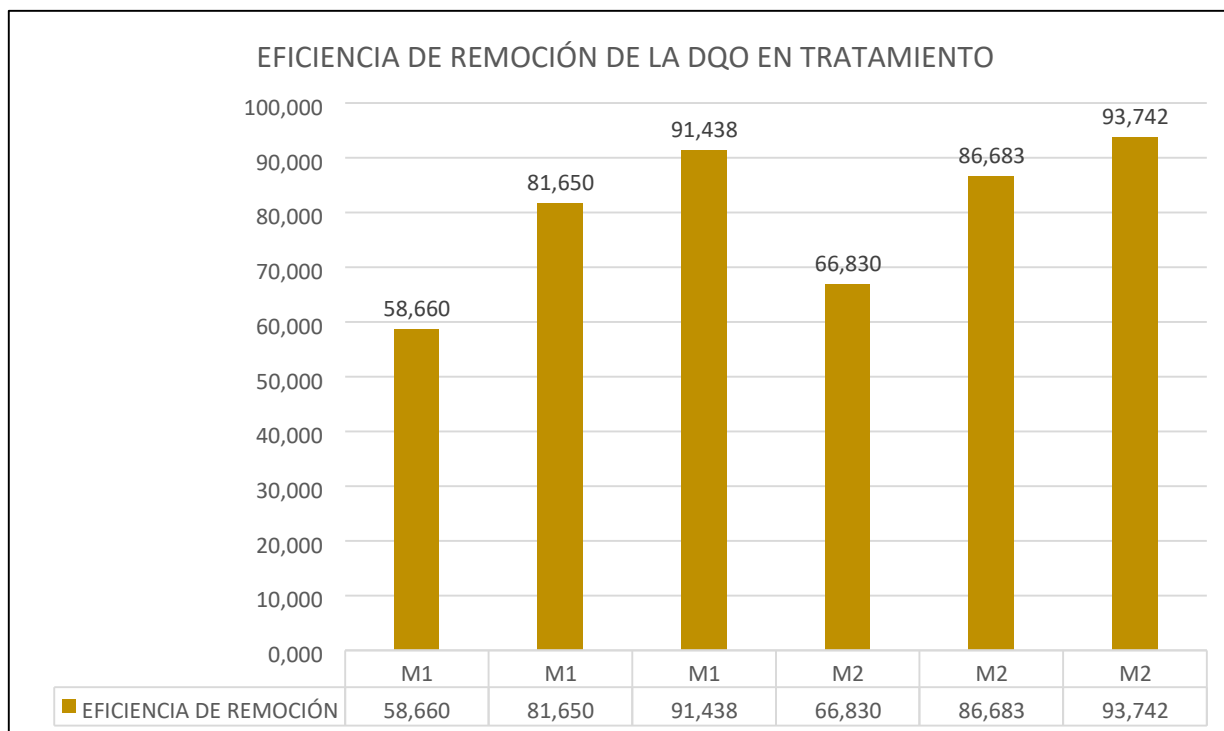
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
M1	3	139.233	A
M2	3	107.600	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De lo que se desprende que el tratamiento M2 al poseer una media menor esto quiero decir que en proceso de disminución de la DQO por oxidación aerobia en aguas residuales es más efectivo.

Figura 10

Eficiencia de tratamientos de disminución de la Demanda Química de Oxígeno por oxidación aerobia en aguas residuales



Se observa que el tratamiento M2 demuestra una eficiencia de 93.742% de disminución de la DQO aplicando la oxidación aerobia en aguas residuales con 5 litros de nutrientes.

➤ Análisis Estadístico en Demanda Bioquímica de Oxígeno

Para ello se agrupo de la siguiente manera los resultados obtenidos para procesar la información de manera estadística.

Tabla 19

Data para Aplicación Estadística para parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno

CAPACIDAD	TRATAMIE	REPETIC	RESULTA	EFICIENCIA DE
	NTO	ION	DOS	REMOCIÓN
5L SIN NUTRIENTES	M1	R1	128.4	59.238
	M1	R2	56.3	82.127
	M1	R3	25.9	91.778
5L CON NUTRIENTES	M2	R1	105.2	66.603
	M2	R2	43.8	86.095
	M2	R3	19.5	93.810

Para determinar el DCA en la tabla 19 que corresponde a la aplicación del tratamiento y su afectación en la disminución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno se tiene:

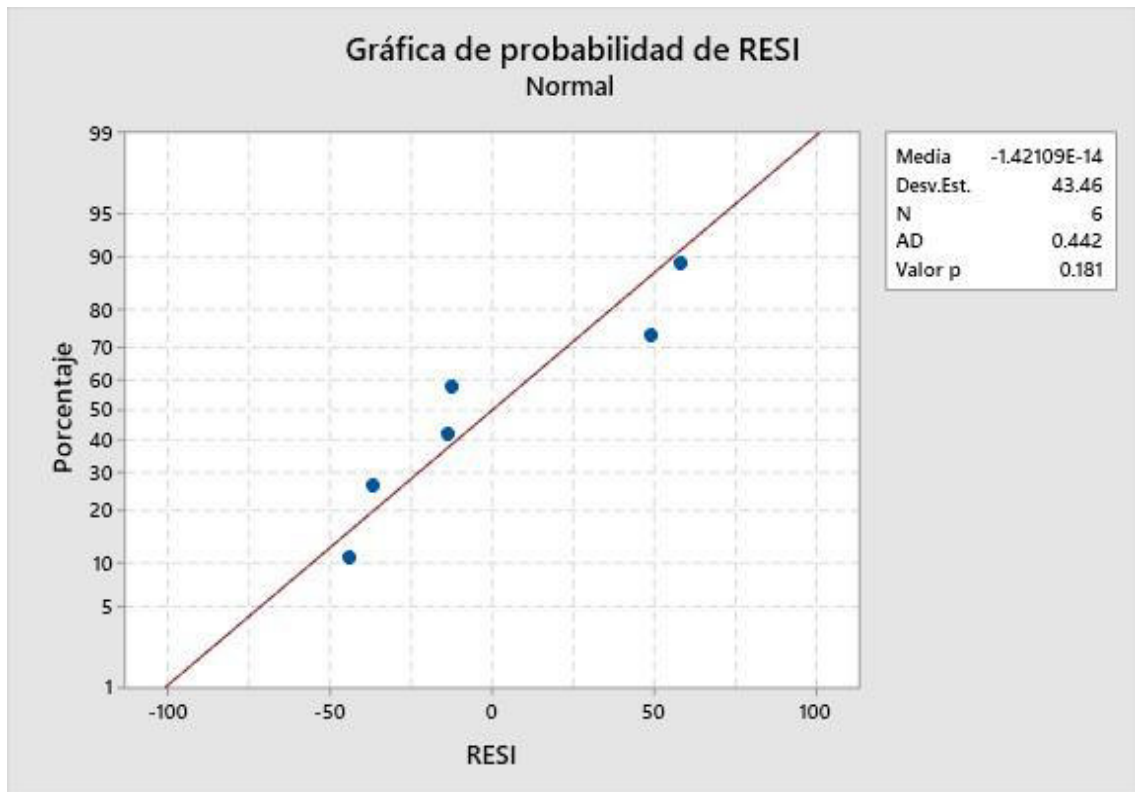
Prueba de Normalidad para los errores (AD). Se aplican los siguientes argumentos:

H0: Los residuos se distribuyen normalmente

Ha: Los residuos no se distribuyen normalmente

Figura 11

Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución de la Demanda Química de Bioquímica de tratamiento



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo calculado que valor $p > 0.05$ ($p = 0.181$) como también el indicador ($AD = 0.442$) por consiguiente se acepta la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores presentan una distribución Normal.

✓ Homogeneidad de Varianzas

Se plantea

H_0 : Las varianzas son iguales

H_a : Al menos una varianza es diferente

Calculando el índice de Fisher = 1.42 y p valor = 0.826 > 0.05, no se rechaza la hipótesis nula por consiguiente existe homogeneidad de Varianzas.

✓ Prueba hipótesis DCA: Al menos un tratamiento es más efectivo que los demás al reducir la Demanda Bioquímica de Oxígeno por oxidación aerobia en aguas residuales

H0: Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre si

Ha: Los tratamientos presentan diferencias significativas entre si

Teniendo en cuenta el coeficiente F= 0.13 y un p-valor = 0.741 y sabiendo que p-valor > 0.05 se decide rechazar la hipótesis alterna y acepta la hipótesis anula es decir Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, pero si se puede establecer variaciones que permitan el análisis diferencial entre las mismas

✓ Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey)

Prueba Tukey:

H0: $\mu_i = \mu_j$

Ha: $\mu_i \neq \mu_j$

Por lo que se tiene:

Tabla 20

Agrupar información utilizando el método Tukey y una confianza de 95 % para la Demanda Bioquímica de Oxígeno

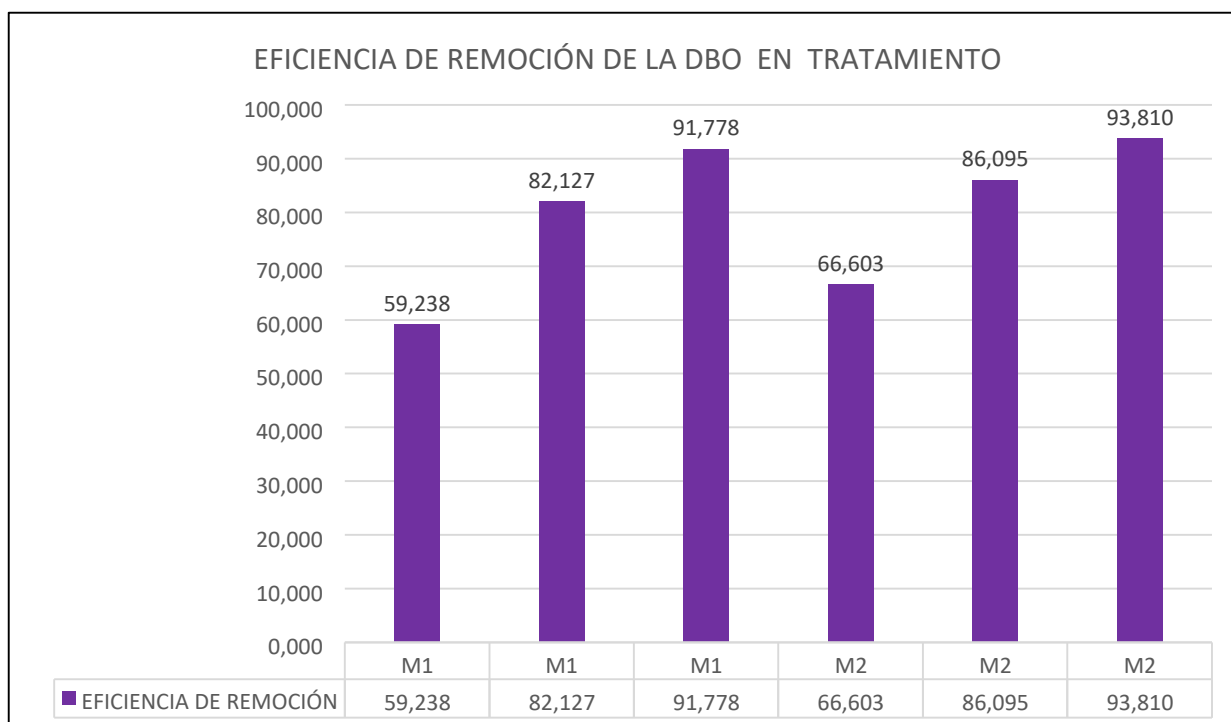
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
M1	3	70.2000	A
M2	3	56.1667	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De lo que se desprende que el tratamiento M2 al poseer una media menor esto quiero decir que en proceso de disminución de la DBO por oxidación aerobia en aguas residuales es más efectivo.

Figura 12

Eficiencia de tratamientos de disminución de la Demanda Bioquímica de Oxígeno por oxidación aerobia en aguas residuales



Se observa que el tratamiento M2 demuestra una eficiencia de 93.810% de disminución de la DBO aplicando la oxidación aerobia en aguas residuales con 5 litros de nutrientes.

➤ Análisis Estadístico en Nitrógeno Total

Para ello se agrupo de la siguiente manera los resultados obtenidos para procesar la información de manera estadística

Tabla 21.

Data para Aplicación Estadística para parámetro Nitrógeno Total

CAPACIDAD	TRATAMIE NTO	REPETIC ION	RESULTA DOS	EFICIENCIA DE REMOCIÓN
5L SIN NUTRIENTES	M1	R1	23.5	25.397
	M1	R2	15.1	52.063
	M1	R3	10.3	67.302
5L CON NUTRIENTES	M2	R1	19.4	38.413
	M2	R2	12.3	60.952
	M2	R3	7.1	77.460

Para determinar el DCA en la tabla 21 que corresponde a la aplicación del tratamiento y su afectación en la disminución del Nitrógeno Total se tiene:

Prueba de Normalidad para los errores (AD) Se aplican los siguientes argumentos:

H0: Los residuos se distribuyen normalmente

Ha: Los residuos no se distribuyen normalmente

Figura 13.

Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución del Nitrógeno Total de tratamiento



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo calculado que valor $p > 0.05$ ($p = 0.901$) como también el indicador ($AD = 0.159$) por consiguiente se acepta la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores presentan una distribución Normal.

✓ Homogeneidad de Varianzas

Se plantea

H_0 : Las varianzas son iguales

H_a : Al menos una varianza es diferente

Calculando el índice de Fisher = 1.17 y p valor = $0.921 > 0.05$, no se rechaza la hipótesis nula por consiguiente existe homogeneidad de Varianzas.

✓ Prueba hipótesis DCA: Al menos un tratamiento es más efectivo que los demás al reducir el Nitrógeno Total por oxidación aerobia en aguas residuales

H0: Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre si

Ha: Los tratamientos presentan diferencias significativas entre si

Teniendo en cuenta el coeficiente $F= 0.41$ y un $p\text{-valor} = 0.556$ y sabiendo que $p\text{-valor} > 0.05$ se decide rechazar la hipótesis alterna y acepta la hipótesis anula es decir Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, pero si se puede establecer variaciones que permitan el análisis diferencial entre las mismas

✓ Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey)

Prueba Tukey:

H0: $\mu_i = \mu_j$

Ha: $\mu_i \neq \mu_j$

Por lo que se tiene:

Tabla 22.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para el Nitrógeno Total

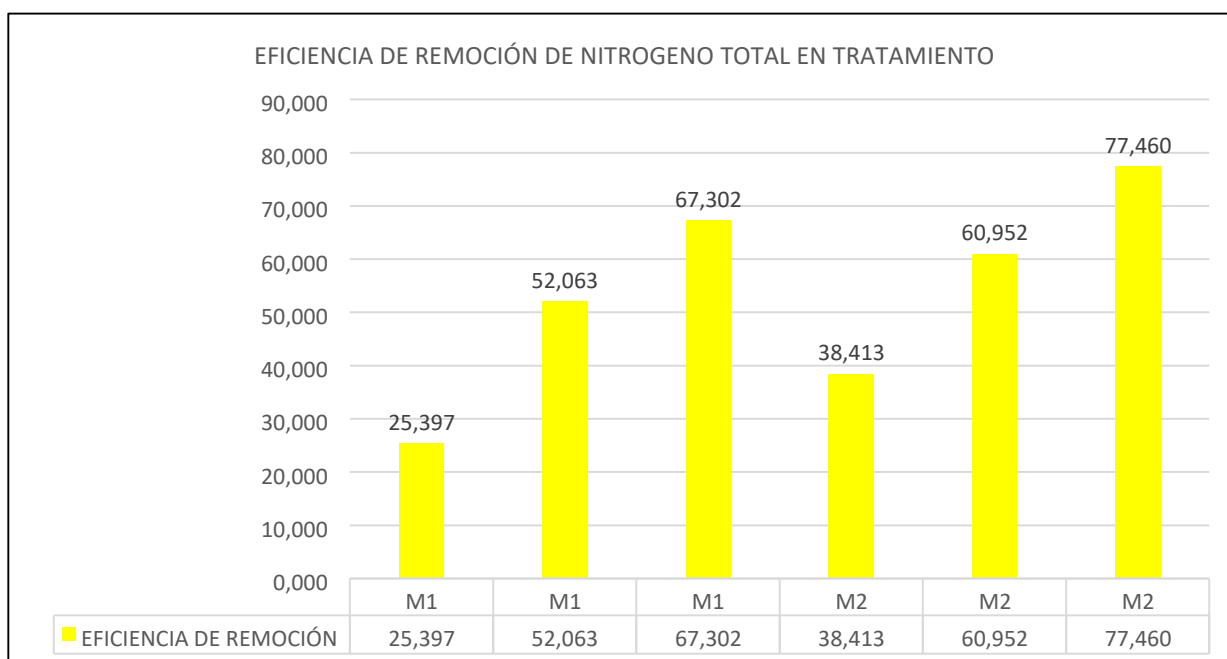
TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
M1	3	16.3000	A
M2	3	12.9333	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De lo que se desprende que el tratamiento M2 al poseer una media menor esto quiero decir que en proceso de disminución del Nitrógeno Total por oxidación aerobia en aguas residuales es más efectivo.

Figura 14.

Eficiencia de tratamientos de disminución del Nitrógeno Total por oxidación aerobia en aguas residuales



Se observa que el tratamiento M2 demuestra una eficiencia de 77.460% de disminución del Nitrógeno Total aplicando la oxidación aerobia en aguas residuales con 5 litros de nutrientes.

➤ **Análisis Estadístico del Fosforo Total**

Para ello se agrupó de la siguiente manera los resultados obtenidos para procesar la información de manera estadística

Tabla 23.*Data para Aplicación Estadística para parámetro Nitrógeno Total*

CAPACIDAD	TRATAMIE NTO	REPETIC ION	RESULTA DOS	EFICIENCIA DE REMOCIÓN
5L SIN NUTRIENTES	M1	R1	5.7	30.488
	M1	R2	7.1	13.415
	M1	R3	3.1	62.195
5L CON NUTRIENTES	M2	R1	6.5	20.732
	M2	R2	4.3	47.561
	M2	R3	2.2	73.171

Para determinar el DCA en la tabla 23 que corresponde a la aplicación del tratamiento y su afectación en la disminución del Fosforo Total se tiene:

Prueba de Normalidad para los errores (AD). Se aplican los siguientes argumentos:

H0: Los residuos se distribuyen normalmente

Ha: Los residuos no se distribuyen normalmente

Figura 15.

Prueba de Normalidad de Residuos Anderson Darling (AD) para la disminución del Fosforo Total de tratamiento



Nota: Elaborado en MINITAB versión 2019

De lo calculado que valor $p > 0.05$ ($p = 0.750$) como también el indicador ($AD = 0.209$) por consiguiente se acepta la hipótesis nula, argumentando que con una significancia del 5% se acepta el supuesto que los residuos o errores presentan una distribución Normal.

✓ Homogeneidad de Varianzas Se plantea

H_0 : Las varianzas son iguales

H_a : Al menos una varianza es diferente

Calculando el índice de Fisher = 0.89 y p valor = 0.942 > 0.05, no se rechaza la hipótesis nula por consiguiente existe homogeneidad de Varianzas.

✓ Prueba hipótesis DCA: Al menos un tratamiento es más efectivo que los demás al reducir el Fosforo Total por oxidación aerobia en aguas residuales

H0: Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre si

Ha: Los tratamientos presentan diferencias significativas entre si

Teniendo en cuenta el coeficiente $F= 0.32$ y un $p\text{-valor} = 0.601$ y sabiendo que $p\text{-valor} > 0.05$ se decide rechazar la hipótesis alterna y acepta la hipótesis anula es decir Los tratamientos no presentan diferencias significativas entre sí, pero si se puede establecer variaciones que permitan el análisis diferencial entre las mismas

✓ Prueba de comparación o efectividad de métodos (Test de Tukey)

Prueba Tukey:

H0: $\mu_i = \mu_j$

Ha: $\mu_i \neq \mu_j$

Por lo que se tiene:

Tabla 24.

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95% para el Fosforo

Total

TRATAMIENTO	N	Media	Agrupación
M1	3	5.3000	A
M2	3	4.3333	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

De lo que se desprende que el tratamiento M2 al poseer una media menor esto quiero decir que en proceso de disminución del Fosforo Total por oxidación aerobia en aguas residuales es más efectivo.

Figura 16.

Eficiencia de tratamientos de disminución del Fosforo Total por oxidación aerobia en aguas residuales



Se observa que el tratamiento M2 demuestra una eficiencia de 73.171% de disminución del Fosforo Total aplicando la oxidación aerobia en aguas residuales con 5 litros de nutrientes.

4.5. Contrastación de Hipótesis

Para ello se tiene la siguiente tabla:

Tabla 25.*Contrastación de Hipótesis de Investigación*

HIPOTESIS GENERAL	ARGUMENTACION	CONTRASTACION
La remoción de la materia orgánica se da por procesos de Oxidación Aerobia en muestras de aguas residuales domésticas	Se puede afirmar por el análisis realizado que al tener eficiencia de remoción de DQO y DBO mayores a 90% que el proceso de Oxidación Anaeróbica permite la remoción optima de materia orgánica en aguas residuales domesticas	Verdadera
HIPOTESIS ESPECIFICAS		
Los parámetros fisicoquímicos caracterizados después del proceso de Oxidación aerobia presentan disminución significativa	Según el resultado se advierte que los parámetros fisicoquímicos presentan disminución ligera, pero para establecer la disminución de materia orgánica se presenta eficiencia de remoción mayor al 90% esto quiere decir que la disminución en estos parámetros fisicoquímicos es significativos	Verdadera
Se presenta porcentaje de remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas por procesos de Oxidación Aerobia	Según los resultados obtenidos existen porcentajes mayores a 90% de eficiencia de remoción en parámetros fisicoquímicos que determinan remoción de materia orgánica (DBO y DQO) por lo que se afirma lo postulado	Verdadera

Nota. Elaboración propia

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Yang et al. (2022); en su investigación señala que al igual que varios estudios han demostrado que la biodegradación del resorcinol como principal contaminante en las aguas residuales domésticas de gas de carbón puede variar mucho con respecto a sus propiedades fisicoquímicas y la estructura de la flora bacteriana inducida durante la aclimatación. Siendo así que en su estudio afirma que, la demanda química de oxígeno, los SST y TDS son uno de los parámetros fisicoquímicos con gran importancia a la hora de caracterizar antes de llevar a cabo el proceso de Oxidación aerobia. Siendo esto similar al resultado mostrado donde los parámetros fisicoquímicos caracterizados antes del proceso de Oxidación aerobia que presentan remoción de materia orgánica fueron 11, el pH, T°, C.E, TDS, Turbiedad, SST, Aceites y grasas, DQO, DBO, NT y PT.

Además, se tiene que la remoción de la materia orgánica consideró los parámetros fisicoquímicos de Potencial de Hidrógenos (pH), Temperatura, Solidos Suspendidos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Aceites y Grasa; donde se obtuvo que, de acuerdo a los resultados obtenidos en los tres tiempos (5, 10 y 15 días) para determinar el porcentaje de remoción de la turbiedad, el sistema de tratamiento M2, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 77.1% de remoción, sobre el otro sistema de tratamiento M1 quien alcanzó 73.7% de remoción.

En el caso de los sólidos suspendidos, en los tres tiempos (5, 10 y 15 días), se aprecia que el sistema de tratamiento M2, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 90.2% de remoción, sobre el otro sistema de tratamiento M1 quien alcanzó 88.6% de remoción. Siendo el resultado similar a lo obtenido por el estudio de Piaggio et al. (2022); quien completó un total de 60 experimentos donde se evaluaron siete variables de control independientes para la operación DAF, que son Sólidos suspendidos totales (TSS), pH, temperatura, tiempo de residencia de partículas DAF, presión de agua blanca, concentración de coagulantes y

floculantes, y tiempo de coagulación y floculación y los resultados mostraron que la eliminación máxima de TSS varió entre 92 y 96%.

Mientras que, los porcentajes de remoción de Aceites y Grasa se determinó considerando la concentración inicial del día cero y la concentración final para los días 5, 10 y 15. Donde, obtenidos en los tres tiempos (5, 10 y 15 días), se aprecia que el sistema de tratamiento M2, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 86.9% de remoción, sobre el otro sistema de tratamientos M1 quien alcanzó 84.6% de remoción.

Así mismo, el cálculo de los porcentajes de remoción para la Demanda Química de Oxígeno se determinó considerando la concentración inicial del día cero y la concentración final para los días 5, 10 y 15, siendo que los resultados obtenidos en los tres tiempos muestran que el sistema de tratamiento M2, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 93.7% de remoción, sobre el otro sistema de tratamientos M2 quien alcanzó 91.4% de remoción. Lo que es apoyado por el estudio de Elnakar y Buchanan I., (2020); donde la remoción para la Demanda Química de Oxígeno al inicio del tratamiento en un tiempo de 15 min. muestra el menor promedio de remoción con un 52%, mientras que se lograron eliminaciones altas del 87% al final del tratamiento en tiempos de 40 min. al igual que los resultados mostrados en el presente trabajo, donde los tres tiempos muestran que el sistema de tratamiento presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento.

Por su parte Azam y Bakri (2020); afirma en su investigación que los niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) de las muestras de agua superficial recolectadas en áreas rurales muestran que ocurre un mayor porcentaje de remoción al término del tratamiento. Siendo ello también apoyado por los resultados mostrados, donde el cálculo de los porcentajes de remoción para la Demanda Bioquímica de Oxígeno se determinó también considerando la concentración inicial del día cero y la concentración final para los días 5, 10 y 15; donde, en los tres tiempos el sistema de tratamiento

M2, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 93.8% de remoción, sobre el otro sistema de tratamiento M2 quien alcanzó 91.7% de remoción.

En el estudio de Cao et al. (2023), para lograr una eliminación avanzada de nitrógeno de las aguas residuales domiciliarias se aplicó un nuevo proceso de oxidación aerobia, donde el mejor rendimiento se obtuvo en tiempos de residencia al final de los procesos de un promedio de 1,2 h. Siendo así que el estudio proporcionó información sobre el tratamiento de aguas residuales domésticas $\text{NH}_4^+ -\text{N}$ y $\text{NO}_3^- -\text{N}$ del efluente del proceso, donde, fueron 18.0 ± 2.3 , 7.5 ± 0.6 , 1.0 ± 0.5 y 4.6 ± 0.4 mg/L, respectivamente, con la correspondiente remoción eficiencia de DQO, TN y $\text{NH}_4^+ -\text{N}$ fueron $92,9\% \pm 1,0\%$, $84,1\% \pm 1,5\%$ y $97,5\% \pm 1,1\%$.

Lo que es similar a lo obtenido en el presente estudio, siendo así que el porcentaje de remoción para Nitrógeno Total, los resultados obtenidos en los tres tiempos (5, 10 y 15 días), muestran que el sistema de tratamiento M2, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 77.5% de remoción, sobre el otro sistema de tratamiento M2 quien alcanzó 67.3% de remoción. Así también Wang et al., (2022): afirma que la aplicación de los procesos de oxidación aerobia en la degradación de los lodos, la eliminación de nitrógeno y la deshidratación de los lodos es eficiente, mostrando mediante los resultados que ZVI aumentó considerablemente la destrucción de sólidos volátiles (VS) de $27,0 \pm 1,3 \%$ a $50,0 \pm 1,0 \%$ y mejoró significativamente la eliminación de TCOD de $26,0 \pm 1,2 \%$ a $47,9 \pm 0,9 \%$ en digestores aeróbicos con diferentes niveles de ZVI (0–20 g /L).

En el caso del cálculo de la eficiencia de Fosforo Total se determinó considerando la concentración inicial del primer monitoreo y la concentración final determinado en el día 21, donde, los resultados obtenidos en los tres tiempos se aprecian que el sistema de tratamiento M2, presenta una mayor eficiencia al final del tratamiento con 93.7% de remoción, sobre el otro sistema de tratamiento M2 quien alcanzó 91.4% de remoción.

VI. CONCLUSIONES

Los parámetros fisicoquímicos caracterizados antes del proceso de Oxidación aerobia que presentan remoción de materia orgánica fueron el pH, T°, C.E, TDS, Turbiedad, SST, Aceites y grasas, DQO, DBO, NT y PT; con valores de 7.85, 23.3, 1553, 847, 85.8, 152, 67.5, 612, 315, 31.5, 8.2 respectivamente. El porcentaje de remoción de materia orgánica en aguas residuales domésticas por procesos de Oxidación Aerobia presentó mayores eficiencias alcanzadas al final de todos los tratamientos con porcentajes de 77.1% de remoción para la turbiedad, con 90.2% de remoción para los Solidos Suspendidos Totales, 86.9% de remoción para Aceites y Grasa, 93.7% de remoción para la Demanda Química de Oxígeno, 93.8% de remoción para la Demanda Bioquímica de Oxígeno, 77.5% de remoción para el Nitrógeno Total, 93.7% de remoción para el Fosforo Total.

Además, finalizado el tiempo total de tratamiento para 15 días, se procedió a comparar los resultados obtenidos con la norma correspondiente a los Límites Máximos Permisibles para vertimiento de aguas residuales domésticas, el DS 003-2010-MINAM, el cual considera los parámetros fisicoquímicos de Potencial de Hidrógenos (pH), Temperatura, Solidos Suspendidos Totales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Aceites y Grasa; donde, los resultados finales a los 15 días, se puede observar que los parámetros de Temperatura, pH, SST, Aceites y Grasa, DQO y DBO se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles, tanto para el sistema de tratamiento M1 como el M2. Los parámetros de Turbiedad, Nitrógeno Total y Fosforo Total no cuentan con LMP, sin embargo, fueron también considerados para ver el grado de remoción que estos podían alcanzar con el tratamiento oxidación aerobia aplicado.

VII. RECOMENDACIONES

Para la presente investigación se presenta las siguientes recomendaciones:

Existen muchas variedades de tratamiento biológico, cada una adaptada a ciertos tipos de aguas residuales y condiciones ambientales locales, como la temperatura y el tipo de suelo; por ello se recomienda estudiar otros procesos específicos para el tratamiento de la materia orgánica; como el tratamiento de lodos activados, aireación modificada, aireación de crecimiento disperso, estabilización por contacto, tratamiento aeróbico de alta velocidad (oxidación total), filtración por goteo, riego por aspersion, combustión húmeda, digestión anaeróbica, sistema de aireación mecánica, inyección en pozos profundos, separación de fases de espuma, aireación con cepillo, eliminación subterránea y el sistema Bio-Disc; siendo muchos de ellos no comúnmente aplicados.

Además, se recomienda debido a que los tratamientos para los dos componentes de la materia orgánica disuelta (demanda de oxígeno y peligrosa), que se elimine en gran parte por medios biológicos y el segundo debe segregarse y tratarse normalmente mediante técnicas sofisticadas y a menudo innovadoras.

Así mismo, también se recomienda el uso de una instrumentación analítica mejorada, junto con un espectro mucho más amplio de identificación química, para que permita identificar y medir contaminantes en el agua en concentraciones más bajas con mayor precisión.

Por último, se recomienda realizar mayores estudios en la remoción de la materia orgánica con el fin de obtener un mayor porcentaje de remoción ya que, aunque se obtuvieron porcentajes altos, los promedios se dan al 100%.

VIII. REFERENCIAS

- Azam, M. A., & Bakri, J. A. (2020). *Fabrication and characterization of functionalized multi-walled carbon nanotube mixed-matrix membrane for treating biochemical and chemical oxygen demands of surface waters. Diamond and Related Materials, 109*, 108074.
- Bertanza, G., & Boiocchi, R. (2022). *Interpreting per capita loads of organic matter and nutrients in municipal wastewater: A study on 168 Italian agglomerations. Science of The Total Environment, 153236*.
- Borges, E. R. C., Rojas, A. B., Novelo, R. I. M., Rodríguez, J. H. O., & Canul, R. P. (2012). *Remoción de materia orgánica en aguas residuales de rastro por el proceso de Contactor Biológico Rotacional. Ingeniería, 16(2)*, 83-91.
- Bramucci, M., & Nagarajan, V. (2006). *Bacterial communities in industrial wastewater bioreactors. Current opinion in microbiology, 9(3)*, 275-278.
- Cao, L., Sun, R., Dong, W., Wang, H., Dai, Z., Wang, X., ... & Li, H. (2023). *A novel multistage anoxic/aerobic process with sludge regeneration zone (R-MAO) for advanced nitrogen removal from domestic sewage. Journal of Environmental Sciences, 124*, 758-768.
- Cheng, Y., Li, J. Y., Ren, X., Li, Y., Kou, Y. Y., Chon, K., ... & Ko, M. H. (2022). *High efficiency of simultaneous nitrification, denitrification, and organics removal in the real-scale treatment of high C/N ratio food-processing wastewater using micro-aerobic reactors. Biochemical Engineering Journal, 177*, 108218.
- Chen, Y., Sun, Y., Zhang, J., Li, J., & Peng, Y. (2022). *A novel control strategy to strengthen nitrogen removal from domestic wastewater through eliminating nitrite oxidizing bacteria in a plug-flow process. Bioresource Technology, 126856*.
- Do, C. V. T., Pham, M. H. T., Pham, T. Y. T., Dinh, C. T., Bui, T. U. T., & Tran, T. D. (2022). *Microalgae and bioremediation of domestic wastewater. Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, 100595*.

- Egbuikwem, P. N., Mierzwa, J. C., & Saroj, D. P. (2020). *Evaluation of aerobic biological process with post-ozonation for treatment of mixed industrial and domestic wastewater for potential reuse in agriculture. Bioresource technology*, 318, 124200.
- Elnakar, H., & Buchanan, I. (2020). *Soluble chemical oxygen demand removal from bypass wastewater using iron electrocoagulation. Science of The Total Environment*, 706, 136076.
- Feher, J. (2012). 6.5—*Acid–Base Physiology I: The bicarbonate buffer system and respiratory compensation. Quantitative human physiology*, 595-601.
- Findlay, S. E., & Parr, T. B. (2017). *Dissolved organic matter. In Methods in stream ecology* (pp. 21-36). Academic Press.
- Fuentes Rivas, R. M., Ramos Leal, J. A., Jiménez Moleón, M. D. C., & Esparza Soto, M. (2015). *Caracterización de la materia orgánica disuelta en agua subterránea del Valle de Toluca mediante espectrofotometría de fluorescencia 3D. Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 253-264.
- Guo, S., Wang, Q., Luo, C., Yao, J., Qiu, Z., & Li, Q. (2020). *Hydroxyl radical-based and sulfate radical-based photocatalytic advanced oxidation processes for treatment of refractory organic matter in semi-aerobic aged refuse biofilter effluent arising from treating landfill leachate. Chemosphere*, 243, 125390.
- Gogate, P. R., Thanekar, P. D., & Oke, A. P. (2020). *Strategies to improve biological oxidation of real wastewater using cavitation-based pre-treatment approaches. Ultrasonics Sonochemistry*, 64, 105016.
- Gorgich, M., Mata, T. M., Martins, A., Caetano, N. S., & Formigo, N. (2020). *Application of domestic greywater for irrigating agricultural products: A brief study. Energy Reports*, 6, 811-817.
- Guangyin, Z., & Youcai, Z. (2017). *Harvest of bioenergy from sewage sludge by anaerobic digestion. Pollution control and resource recovery for sewage sludge*, 4, 181-273.
- Guo, S., Wang, Q., Luo, C., Yao, J., Qiu, Z., & Li, Q. (2020). *Hydroxyl radical-based and sulfate radical-based photocatalytic advanced oxidation processes for treatment of*

refractory organic matter in semi-aerobic aged refuse biofilter effluent arising from treating landfill leachate. Chemosphere, 243, 125390.

Hodaifa, G., Paladino, O., Malvis, A., Seyedsalehi, M., & Neviani, M. (2019). *Green techniques for wastewaters. In Interface Science and Technology (Vol. 30, pp. 217-240). Elsevier.*

HUANG, Man-hong; LI, Yong-mei; GU, Guo-wei. *Chemical composition of organic matters in domestic wastewater. Desalination, 2010, vol. 262, no 1-3, p. 36-42.*

Hara, R. V., & Marin-Morales, M. A. (2017). *In vitro and in vivo investigation of the genotoxic potential of waters from rivers under the influence of a petroleum refinery (São Paulo State–Brazil). Chemosphere, 174, 321-330.*

Jiao, Y. (2021). *Waste to biohydrogen: potential and feasibility. Waste to Renewable Biohydrogen, 33-53.*

Jiao, Y., Jia, R., Sun, Y., Yang, G., Li, Y., Huang, J., & Yuan, L. (2021). *In situ aerobic composting eliminates the toxicity of Ageratina adenophora to maize and converts it into a plant-and soil-friendly organic fertilizer. Journal of Hazardous Materials, 410, 124554.*

Johnson, I., Ali, M. A. S., & Kumar, M. (2019). *Cyanobacteria/microalgae for distillery wastewater treatment-past, present and the future. In Microbial Wastewater Treatment (pp. 195-236). Elsevier.*

Khallef, M., Liman, R., Konuk, M., Ciğerci, İ. H., Benouareth, D., Tabet, M., & Abda, A. (2015). *Genotoxicity of drinking water disinfection by-products (bromoform and chloroform) by using both Allium anaphase-telophase and comet tests. Cytotechnology, 67(2), 207-213.*

Khan, N. A., Khan, S. U., Ahmed, S., Farooqi, I. H., Dhingra, A., Hussain, A., & Changani, F. (2019). *Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment: A review. Asian Journal of Water, Environment and Pollution, 16(4), 81-86.*

Lin, Z., Wu, Z. L., Sun, Z. Y., Gou, M., Xia, Z. Y., & Tang, Y. Q. (2021). *Aerobic post-treatment of anaerobic digested sludge with a focus on organic matter stability and the fate of antibiotic resistance genes. Journal of Cleaner Production, 289, 125798.*

- Lopes, C. L., de Assis, T. M., Passig, F. H., de Lima Model, A. N., Mees, J. B. R., Cervantes, F. J., ... & Gomes, S. D. (2022). *Nitrogen removal from poultry slaughterhouse wastewater in anaerobic-anoxic-aerobic combined reactor: Integrated effect of recirculation rate and hydraulic retention time. Journal of environmental management, 303*, 114162.
- Lu, J., Wu, J., Ji, Y., & Kong, D. (2015). *Transformation of bromide in thermo activated persulfate oxidation processes. Water research, 78*, 1-8.
- Malik, O. A., Hsu, A., Johnson, L. A., & de Sherbinin, A. (2015). *A global indicator of wastewater treatment to inform the Sustainable Development Goals (SDGs). Environmental Science & Policy, 48*, 172-185.
- Mountain,G.& Keating,C. (2021). *Practical considerations for generation of multi-compartment complex coacervates. In Methods in enzymology (Vol. 646, pp. 115-142). Academic Press.*
- Newcombe, G., & Dixon, D. (2006). *Fate of particles in the distribution system. Interface Science in Drinking Water Treatment: Theory and Applications, 978(0-88386)*, 279.
- Nieto-Juárez, J. I., Torres-Palma, R. A., Botero-Coy, A. M., & Hernández, F. (2021). *Pharmaceuticals and environmental risk assessment in municipal wastewater treatment plants and rivers from Peru. Environment International, 155*, 106674.
- Piaggio, A. L., Soares, L. A., Balakrishnan, M., Guleria, T., de Kreuk, M. K., & Lindeboom, R. E. (2022). *High suspended solids removal of Indian drain water with a down-scaled Dissolved Air Flotation (DAF) for water recovery. Assessing water-type dependence on process control variables. Environmental Challenges, 100567.*
- Pishgar, R., Morin, D., Young, S. J., Schwartz, J., & Chu, A. (2021). *Characterization of domestic wastewater released from 'green'households and field study of the performance of onsite septic tanks retrofitted into aerobic bioreactors in cold climate. Science of The Total Environment, 755*, 142446.
- Ramón Zamora, F., Rodríguez Guevara, N. J., Torres Rodríguez, D. G., & Yendis Colina, H. J. (2009). *Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana*

- en suelos de la llanura de Coro, Venezuela. Agricultura técnica en México, 35(2), 211-218.*
- Ranade, V. V., & Bhandari, V. M. (2014). Chapter 1-*Industrial wastewater treatment, Recycling, and Reuse: An Overview: Industrial Wastewater Treatment, Recycling and Reuse.*
- Satyam, N. (2021). *Numerical modeling of biocemented soil behavior. In Modeling in Geotechnical Engineering* (pp. 101-117). Academic Press.
- Savant, D. V., Abdul-Rahman, R., & Ranade, D. R. (2006). *Anaerobic degradation of adsorbable organic halides (AOX) from pulp and paper industry wastewater. Bioresource Technology, 97(9), 1092-1104.*
- Sguanci, S., Lubello, C., Caffaz, S., & Lotti, T. (2019). *Long-term stability of aerobic granular sludge for the treatment of very low-strength real domestic wastewater. Journal of Cleaner Production, 222, 882-890.*
- Sikosana, M. L., Sikhwivhilu, K., Moutloali, R., & Madyira, D. M. (2019). *Municipal wastewater treatment technologies: A review. Procedia Manufacturing, 35, 1018-1024.*
- Simon, L. L., Simone, E., & Oucherif, K. A. (2018). *Crystallization process monitoring and control using process analytical technology. In Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 41, pp. 215-242). Elsevier.
- Spencer, T., Möller, I., & Reef, R. (2016). *Mangrove systems and environments. In Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.* Elsevier.
- Tejedor, J., Córdor, V., Almeida-Naranjo, C. E., Guerrero, V. H., & Villamar, C. A. (2020). *Performance of wood chips/peanut shells biofilters used to remove organic matter from domestic wastewater. Science of The Total Environment, 738, 139589.*
- Van Gijn, K., Chen, Y. L., van Oudheusden, B., Gong, S., de Wilt, H. A., Rijnaarts, H. H. M., & Langenhoff, A. A. M. (2021). *Optimizing biological effluent organic matter removal for subsequent micropollutant removal. Journal of Environmental Chemical Engineering, 9(5), 106247.*

- Villamar, Cristina-Alejandra, et al. *Reuse and recycling of livestock and municipal wastewater in Chilean agriculture: A preliminary assessment*. *Water*, 2018, vol. 10, no 6, p. 817.
- Wang, C., Wei, W., Dai, X., & Ni, B. J. (2022). *Zero valent iron greatly improves sludge destruction and nitrogen removal in aerobic sludge digestion*. *Chemical Engineering Journal*, 433, 134459.
- Wang, L., Zheng, Z., Luo, X., & Zhang, J. (2011). *Performance and mechanisms of a microbial earthworm ecofilter for removing organic matter and nitrogen from synthetic domestic wastewater*. *Journal of Hazardous Materials*, 195, 245-253.
- Wang, W., Wang, L., Wang, K., Zhang, T., Sun, Y., & Li, W. (2021). *Dissolved organic matter (DOM) removal from coking wastewater with efficient vanadiumtitanium magnetite particle electrodes by 3D/EC/KPS system: Optimization, performance, and mechanism*. *Journal of Cleaner Production*, 322, 128683.
- We, A. C. E., Aris, A., Zain, N. A. M., Muda, K., & Sulaiman, S. (2021). *Influence of static mixer on the development of aerobic granules for the treatment of lowmedium strength domestic wastewater*. *Chemosphere*, 263, 128209.
- Yang, Y., Hu, X., Zhang, X., Chen, X., Wei, X., Chen, Z., ... & Gao, Y. (2022). *Acclimatization of resorcinol results in microbial community dynamics and physicochemical characteristics of aerobic activated sludge*. *Journal of Cleaner Production*, 132467.
- Yin, J., & Zhang, X. (2020). *Technologies for bHRPs and risk control*. In *High-Risk Pollutants in Wastewater* (pp. 237-258). Elsevier.
- Yu, H., Song, Y., Tu, X., Du, E., Liu, R., & Peng, J. (2013). *Assessing removal efficiency of dissolved organic matter in wastewater treatment using fluorescence excitation emission matrices with parallel factor analysis and second derivative synchronous fluorescence*. *Bioresource technology*, 144, 595-601.
- Yu, M., Liu, S., Li, G., Zhang, H., Xi, B., Tian, Z., ... & He, X. (2020). *Municipal wastewater effluent influences dissolved organic matter quality and microbial community composition in an urbanized stream*. *Science of The Total Environment*, 705, 135952.

Zhang, T. C., Surampalli, R. Y., Vigneswaran, S., Tyagi, R. D., Ong, S. L., & Kao, C. M. (2014). *Membrane technology and environmental applications*. ASCE.

VI. ANEXOS

