



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ACEITOSAS CON ÓXIDOS DE
METALES Y MEMBRANAS DE CERÁMICA CON RESIDUOS ORGÁNICOS,
NIVEL DE LABORATORIO, 2024

Línea de investigación:
Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autora

Morales Ruiz, Karla Vanessa

Asesor

Sernaque Aucchuasi, Fernando Antonio

ORCID: 0000-0003-1485-5854

Jurado

Vera Chamochumbi, Benjamín Fernando

Rojas León, Gladys

Legua Terry, Alberto Israel

Lima - Perú

2026



"TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ACEITOSAS CON ÓXIDOS DE METALES Y MEMBRANAS DE CERÁMICA CON RESIDUOS ORGÁNICOS, NIVEL DE LABORATORIO, 2024"

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

7%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	5%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	2%
4	polodelconocimiento.com Fuente de Internet	1%
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	1%
6	docs.google.com Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Nacional Federico Villarreal Trabajo del estudiante	1%
8	revistas.uniscjsa.edu.pe Fuente de Internet	1%
9	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, UNAD Trabajo del estudiante	<1%
11	alicia.concytec.gob.pe	



Universidad Nacional
Federico Villarreal

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ACEITOSAS CON ÓXIDOS DE
METALES Y MEMBRANAS DE CERÁMICA CON RESIDUOS ORGÁNICOS,
NIVEL DE LABORATORIO, 2024**

Línea de Investigación:

Tecnologías para residuos y pasivos ambientales. Biorremediación

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor

Morales Ruiz, Karla Vanessa

Asesor

Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio

ORCID: 0000-0003-1485-5854

Jurado

Vera Chamocho, Benjamín Fernando

Rojas León, Gladys

Legua Terry, Alberto Israel

Lima - Perú

2026

ÍNDICE

Resumen	viii
Abstract	ix
I. Introducción	1
1.1.Descripción y formulación del problema	1
1.2.Antecedentes	6
1.3.Objetivos	11
<i>1.3.1. Objetivo general</i>	11
<i>1.3.2. Objetivos específicos</i>	11
1.4.Justificación	11
1.5.Hipótesis	12
<i>1.5.1. Hipótesis general</i>	12
<i>1.5.2. Hipótesis específica</i>	12
II. Marco teórico	14
2.1. Teorías relacionadas a la investigación	14
<i>2.1.1. Aguas residuales aceitosas</i>	14
<i>2.1.2. Óxidos de metales</i>	15
<i>2.1.3. Membranas de cerámica</i>	16
<i>2.1.4. Residuos orgánicos</i>	17
2.2. Marco conceptual	18
<i>2.2.1. Aceites y grasas</i>	18
<i>2.2.2. Turbidad</i>	19
<i>2.2.3. Sólidos Suspendidos Totales (SST)</i>	19
2.3. Marco legal ambiental	19

III. Método	21
3.1. Tipo de investigación	21
3.2. Ámbito temporal y espacial	22
3.2.1. <i>Ámbito temporal</i>	22
3.2.2. <i>Ámbito espacial</i>	22
3.3. Variables	23
3.4. Población y muestral	26
3.4.1. <i>Población</i>	26
3.4.2. <i>Muestra</i>	26
3.5. Instrumentos	26
3.5.1. <i>Técnicas</i>	26
3.5.2. <i>Instrumentos</i>	26
3.6. Procedimiento	27
3.7. Análisis de datos	28
3.8. Consideraciones éticas	29
IV. Resultados	30
V. Discusión de resultados	50
VI. Conclusiones	55
VII. Recomendaciones	56
VIII. Referencias	57
IX. Anexos	68
Anexo A. Fotos de laboratorio	68
Anexo B. Ficha técnica para la recolección de los resultados de campo	72
Anexo C. Ficha de equipos e instrumentos a utilizar	73
Anexo D. Etiqueta	74
Anexo E. Formato de ingreso de muestras al laboratorio	75

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Operacionalización de Variables de Investigación</i>	31
<i>Tabla 2. Diseño experimental</i>	35
<i>Tabla 3. Caracterización inicial de aguas aceitosas</i>	37
<i>Tabla 4. Tratamiento 1 con relación de dosis 1:2 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas</i>	38
<i>Tabla 5. Tratamiento 2 con relación de dosis 1:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas</i>	39
<i>Tabla 6. Tratamiento 3 con relación de dosis 2:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas</i>	40
<i>Tabla 7. Tratamiento 4 con relación de dosis 1:0 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas</i>	40
<i>Tabla 8. Tratamiento 5 con relación de dosis 0:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas</i>	41
<i>Tabla 9. Eficiencia de tratamientos con nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas</i>	44
<i>Tabla 10. concentración de contaminantes antes y después</i>	45
<i>Tabla 11. Prueba ANOVA de concentraciones finales de Aceites y Grasas</i>	46
<i>Tabla 12. Prueba Tukey de concentraciones finales de Aceites y Grasas</i>	46
<i>Tabla 13. Prueba ANOVA de concentraciones finales de Turbidez</i>	47
<i>Tabla 14. Prueba Tukey de concentraciones finales de Turbidez</i>	48
<i>Tabla 15. Prueba ANOVA de concentraciones finales de SST</i>	48
<i>Tabla 16. Prueba Tukey de concentraciones finales de SST</i>	49
<i>Tabla 17. Prueba ANOVA de concentraciones finales de cadmio</i>	50
<i>Tabla 18. Prueba Tukey de concentraciones finales de cadmio</i>	50
<i>Tabla 19. Prueba ANOVA de eficiencia del Tratamiento sobre concentraciones finales de Aceites y Grasas</i>	51
<i>Tabla 20. Prueba Tukey para comparar la eficiencia del tratamiento para Aceites y Grasas</i>	52
<i>Tabla 21. Prueba ANOVA de eficiencia del Tratamiento sobre concentraciones finales de Turbidez</i>	52
<i>Tabla 22. Prueba Tukey para comparar la eficiencia del tratamiento para turbidez</i>	53
<i>Tabla 23. Prueba ANOVA de eficiencia del Tratamiento sobre concentraciones finales de SST</i>	54
<i>Tabla 24. Prueba Tukey para comparar la eficiencia del tratamiento para SST</i>	54
<i>Tabla 25. Prueba ANOVA de eficiencia del Tratamiento sobre concentraciones finales de cadmio</i>	55
<i>Tabla 26. Prueba Tukey para comparar la eficiencia del tratamiento para cadmio</i>	55

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Tipos de aguas residuales aceitosas</i>	21
<i>Figura 2. Tipos de óxidos de metales</i>	22
<i>Figura 3. Aplicaciones de óxidos de metales</i>	23
<i>Figura 4. Características de los residuos orgánicos</i>	25
<i>Figura 5. Aplicaciones de los residuos orgánicos</i>	25
<i>Figura 6. Caracterización Inicial de aguas aceitosas</i>	37
<i>Figura 7. Concentraciones promedio final de Aceites y Grasas por tratamiento</i>	42
<i>Figura 8. Concentraciones promedio final de Turbiedad por tratamiento</i>	42
<i>Figura 9. Concentraciones promedio final de SST por tratamiento</i>	43
<i>Figura 10. Concentraciones promedio final de Cadmio por tratamiento</i>	44
<i>Figura 11. Concentraciones para tratamientos de aceites y grasas</i>	47
<i>Figura 12. Concentración para tratamiento de turbidez</i>	48
<i>Figura 13. Concentraciones para tratamientos de SST</i>	49
<i>Figura 14. Concentración de tratamientos para cadmio</i>	51
<i>Figura 15. Eficiencia para tratamiento de aceites y grasas</i>	52
<i>Figura 16. Eficiencia para tratamiento de turbidez</i>	53
<i>Figura 17. Eficiencia por tratamiento para SST</i>	55
<i>Figura 18. Eficiencia por tratamiento para cadmio</i>	56

Resumen

El objetivo del presente estudio es analizar el grado de eficiencia del tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos, nivel de laboratorio, 2024. La investigación fue de tipo aplicada, de enfoque cuantitativo y diseño experimental. La muestra fue un conjunto representativo de estas muestras de agua residual aceitosa (20 litros), para lo cual se dividirá el lote en sub-muestras y cada sub-muestra representará una unidad experimental. Se obtuvo como resultados que las concentraciones iniciales estaban en 101.1mg/l para AyG, 248.2 NTU para turbidez, 687 mg/l para SST y 0.03 mg/l para cadmio. Con una dosis en concentraciones de 1:2 (5 gramos de nanopolvo de óxido de hierro y 10 gramos de membrana cerámicas) se presentó la mejor reducción obteniendo una reducción final de 9.0 mg/l en AyG, 25.2 NTU en turbiedad, 64 mg/l en SST y 0.001 mg/l en cadmio, con respecto a sus valores iniciales. Logrando una eficiencia de 91.1% en aceites y grasas, 89.8% en turbidez, 90.6% en SST y 87.8% en cadmio. Pudiéndose concluir que el tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos puede ser aplicado eficientemente.

Palabra clave: aceitosa, membrana, orgánico, residual

Abstract

The objective of this study is to analyze the degree of efficiency of treating oily wastewater with metal oxides and ceramic membranes with organic residues, laboratory level, 2024. The research was applied, quantitative, and experimental in design. The sample was a representative set of these oily wastewater samples (20 liters), for which the batch will be divided into sub-samples, and each sub-sample will represent an experimental unit. The results showed that the initial concentrations were 101.1 mg/l for AyG, 248.2 NTU for turbidity, 687 mg/l for SST, and 0.03 mg/l for cadmium. With a dose in concentrations of 1:2 (5 grams of iron oxide nanopowder and 10 grams of ceramic membrane), the best reduction was achieved, obtaining a final reduction of 9.0 mg/l in AyG, 25.2 NTU in turbidity, 64 mg/l in TSS, and 0.001 mg/l in cadmium, compared to their initial values. Achieving an efficiency of 91.1% in oils and fats, 89.8% in turbidity, 90.6% in TSS, and 87.8% in cadmium. It can be concluded that the treatment of oily wastewater with metal oxides and ceramic membranes with organic residues can be applied efficiently.

Keyword: oily, membrane, organic, residual

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción y formulación del problema

Esta tesis desarrolla un estudio de investigación sobre “Tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos, nivel de laboratorio, 2024”, debido a que la contaminación por aguas residuales aceitosas es un problema crítico que afecta la salud pública y el medio ambiente (WShahid et al., 2021).

Además, debido al uso excesivo de agua provocado por la industrialización mundial y el aumento de la población, cada vez hay menos fuentes de agua limpia y segura (Tzanakakis et al., 2020). En la actualidad, 3.800 millones de personas carecen de acceso a agua limpia y, en un futuro próximo, se prevé que esta cifra aumente un 10% (Liu et al., 2017).

El procesamiento de metales, las cantinas, los mataderos, el procesamiento de productos lácteos y aves de corral, las refinerías que producen aceite comestible, las curtidorías, las instalaciones petroquímicas, etc. son algunas de las industrias que producen aguas residuales oleosas (Sanghamitra et al., 2021).

Este tipo de agua residuales se caracteriza por altos niveles de sólidos suspendidos totales (SST), demanda química de oxígeno (DQO), amoníaco, sulfuros, carbono orgánico total, hidrocarburos de petróleo totales (HTP) y otros compuestos peligrosos, dependiendo de las actividades y la producción de las industrias generadoras (Rahi et al., 2021).

También se reconoce que las grasas y aceites pueden obstruir las redes de alcantarillado de diversas maneras; de hecho, se cree que más del 50 % de los atascos en todo el mundo están causados por estas sustancias (Gross et al., 2017).

Para hacer frente a los atascos provocados por las grasas y aceites, Estados Unidos y el Reino Unido gastan 25.000 millones de dólares y 100 millones de libras al año, respectivamente (Collin et al., 2023).

La escala y complejidad de las aguas residuales aceitosas requieren soluciones personalizadas. La optimización de los procesos de tratamiento y la selección de materiales adecuados son clave para lograr resultados efectivos; ante ello, los óxidos de metales y las membranas de cerámica ofrecen una solución prometedora para eliminar contaminantes orgánicos y residuos orgánicos (Dadvar y Heidre, 2018).

Por ello, es necesario promover nuevas y eficaces alternativas para el tratamiento de las aguas residuales aceitosas; destacando entre las diversas técnicas el método de oxidación y membranas, que puede ser utilizado antes de un tratamiento para reducir la cantidad de aceites presentes en el agua aceitosa.

Esta tesis se encuentra organizada de la siguiente manera:

- Partes iniciales: La parte inicial inicia con la Carátula, Dedicatoria, Agradecimiento, Índice e Introducción. Además, el contenido temático está dividido en los siguientes seis capítulos:
- Capítulo I: Introducción; en este capítulo 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; aquí se detallan las bases teóricas sobre el tema de investigación.
- Capítulo III: Método. En este capítulo se enfoca toda la metodología de la investigación, como, por ejemplo: 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: Resultados; incluye las tablas y figuras enfocados en describir la eficiencia del tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos.
- Capítulo V: Discusión de resultados, se describen los resultados obtenidos con el contraste de resultados iguales, similares o diferentes de otros autores que se enfocan en las especificaciones óptimas para una alta eficiencia del tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos.
- Capítulo VI. Conclusiones, se detallan las conclusiones para cada meta de investigación se explican con detalle en este capítulo.
- Capítulo VII. Recomendaciones, se incluyen las sugerencias dirigidas a empresas o instituciones para respaldar la aplicación de tácticas eficaces que aborden los problemas identificados.
- Capítulo VIII. Anexos; aquí se anexa información que integra a la investigación.

Cada día, las industrias y las mareas negras producen grandes volúmenes de aguas residuales oleosas; estos efluentes se generan a lo largo de muchas fases del proceso (transporte, mantenimiento, producción, etc.), y a muchas empresas les resulta difícil gestionar un volumen tan enorme (Rocha et al., 2018). Los principales contaminantes vertidos en los medios acuáticos son los efluentes oleosos y las emulsiones de agua en aceite y aceite en agua (Galdino et al., 2020).

Las aguas residuales aceitosas, generadas por la industria petrolera, manufacturera y otros sectores, representan un problema crítico para el medio ambiente

y la salud pública (Samuel et al., 2022). Estas aguas contaminadas con sustancias químicas tóxicas, metales pesados y residuos orgánicos, pueden devastar los ecosistemas acuáticos y afectar la vida silvestre (Samuel et al., 2022).

La contaminación de ríos, lagos, océanos y acuíferos subterráneos es un tema de gran preocupación (Abuhasel et al., 2021). Los productos químicos y metales pesados presentes en estas aguas pueden matar peces y otros organismos acuáticos, afectando la biodiversidad y la supervivencia de especies (Junaidi et al., 2021). Además, el consumo de agua contaminada puede causar enfermedades gastrointestinales, cáncer y otros problemas de salud (Khader et al., 2023).

El impacto económico no es menos significativo; ya que, el tratamiento de aguas residuales aceitosas es costoso y puede representar una carga financiera para las industrias y gobiernos. La pérdida de recursos naturales y la corrosión de la infraestructura también son consecuencias importantes (Habibi y Pournemati, 2024).

Las comunidades que viven cerca de áreas contaminadas son las más afectadas. La disputa por recursos hídricos y la gestión de residuos puede generar conflictos sociales y afectar la calidad de vida de millones de personas (Medeiros et al., 2022).

Ejemplos de este problema se pueden encontrar en todo el mundo. En México, la contaminación del río Coatzacoalcos ha afectado la salud de las comunidades locales (INECC, 2020). En Brasil, la industria petrolera ha contaminado aguas en la cuenca del río Amazonas (Greenpeace, 2019). En China, la contaminación del río Yangtsé ha afectado la salud de millones de personas (Daily, 2020).

La remediación completa del aceite libre, emulsionado o disperso suele ser ineficaz cuando se utiliza una sola tecnología debido a la complejidad de la composición

química y la configuración física de los aceites en las aguas residuales; para eliminar eficazmente los contaminantes oleosos, puede emplearse una combinación de tecnologías (Adetunji y Olaniran, 2021).

Para abordar este desafío, es necesario implementar tecnologías de tratamiento efectivas, como es la utilización de membranas cerámicas funcionalizadas con óxido metálico para la eliminación simultánea de contaminantes ha avanzado rápidamente y su uso cada vez mayor se encuentra en una variedad de aplicaciones, de las cuales el tratamiento de aguas residuales sigue siendo el más explorado (Sawunyama et al., 2023).

Debido a su mayor eficacia, rápida velocidad de reacción y emisiones secundarias mínimas o inexistentes, la ozonización catalítica ha ganado cada vez más atención como tecnología de oxidación ecológica (Wang y Chen., 2020).

El agua y las aguas residuales pueden limpiarse de microorganismos y sustancias peligrosas no biodegradables mediante la ozonización catalítica (Afzal et al., 2019). El ozono (O_3) se oxida directamente durante este proceso, pero también reacciona con otras sustancias a través de una vía radical para crear radicales hidroxilos (radical $\cdot OH$) para aumentar la oxidación (Guo et al., 2021).

Se han descrito numerosos óxidos metálicos, como óxido de magnesio (MgO), óxido de aluminio (Al_2O_3), dióxido de titanio (TiO_2), dióxido de manganeso (MnO_2), óxidos de hierro (Fe_2O_3 - Fe_3O_4), óxidos de cerio (CeO_x) y óxido de cobalto (Co_3O_4), como materiales catalizadores para la ozonización catalítica (Zhou et al., 2020).

Formulación del problema

Problema general

¿En qué medida es eficiente el tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos, nivel de laboratorio, 2024?

Problemas específicos

¿Cuánto es la concentración de contaminantes en las aguas residuales aceitosas antes de la aplicación de los tratamientos?

¿Cuáles son las especificaciones óptimas de tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos?

¿Cuál es la eficiencia del tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos?

1.2. Antecedentes

Antecedentes internacionales

Jiang et al. (2023), tuvieron por objetivo investigar la viabilidad de personalizar membrana de cerámica (CM) de bajo costo y robustas mediante la sintetización de desechos sólidos disponibles típicos (relaves de oro ricos en Fe-S y polvo de mariscos marinos rico en Si) como matriz con precursores ricos en cobre/cobalto. Para lo cual se desarrolló una investigación de tipo aplicada, de diseño experimental. Los resultados del análisis indican que los precursores (cobaltato y cuprato) con la proporción propuesta (1:1 en masa, 1300 °C) pueden cristalizarse de manera químicamente estable en la estructura más duradera de la construcción personalizada de CM a base de espinela de ferrita rica en cobre/cobalto (CM-(Cu-Co) Fe₂O₄). La membrana compuesta puede funcionar de manera estable y no consume energía adicional. Después de una

caracterización detallada de la estructura de los poros, se evaluó completamente el tratamiento de purificación de aguas residuales industriales aceitosas (tasa de rechazo > 99,9), aguas residuales aceitosas de emulsión (tasa de rechazo > 97,9) y aguas residuales de rojo de alizarina (tasa de rechazo > 99,3).

Esmaili et al. (2023), tuvieron por objetivo diseñar fotocatalizadores con membrana cerámica modificada para el tratamiento de aguas residuales aceitosas. En la metodología, los fotocatalizadores impulsados por luz visible BiVO₄/rGO y BiVO₄/gC₃N₄ se fabricaron utilizando el método hidrotérmico. Después de eso, se utilizó un método sol-gel simple para fabricar una membrana de ultrafiltración fotocatalítica con buenas propiedades autolimpiantes y antiincrustantes que puede separar eficazmente las aguas residuales aceitosas. El uso de una composición BiVO₄/rGO con 20 % en peso de rGO produjo un ángulo de contacto de aceite bajo el agua de 158°. Además, después de 3 h de filtración de aguas residuales aceitosas a 3000 ppm, el flujo de permeado fue el doble que el de la membrana UF sin un revestimiento fotocatalítico, y la eficiencia de eliminación de TOC fue más del 99 %. La medición de los parámetros antiincrustantes reveló que la recuperación del flujo fue del 89 % en comparación con el 51 % para la membrana UF, y la relación de ensuciamiento total se redujo del 57 % al 21 %.

Zhong et al. (2021), tuvieron por objetivo desarrollar una estrategia de conversión de residuos en recursos para el diseño racional de membranas cerámicas de espinela, abordando simultáneamente los problemas del reciclaje de residuos que contienen cobre y el tratamiento de aguas residuales aceitosas. En la metodología, se propuso un mecanismo de conversión de fase de espinela basado en *técnicas* de difracción de rayos X cualitativas y cuantitativas, lo que indica que la espinela se forma de manera constante a través de las reacciones entre el óxido de cobre y la

alúmina (principal) o la mullita (secundaria) a 970-1060 °C la resistencia. En resultados, con un diseño de estructura racional, las membranas cerámicas basadas en espinela mostraron superhidrofilia y superoleofobicidad subacuática, lo que permitió un flujo mejorado con ensuciamiento de petróleo mitigado, especialmente para petróleos ligeros. Incluso en el caso de los aceites pesados, el flujo de permeado mejoró gracias a la reducción de la contaminación en condiciones alcalinas. Se logró una separación eficiente no solo de emulsiones oleosas sintéticas, sino también de aguas residuales reales.

Li et al. (2021), en su trabajo plantearon por objetivo aplicar la ozonización catalítica, combinada con la filtración por membrana cerámica para el tratamiento de aguas residuales. En la metodología, se desarrollaron membranas cerámicas catalíticas (CCM) recubiertas con óxidos de Mg, Ce y Mn. La caracterización de la CCM mostró una buena distribución de los catalizadores sobre la superficie y dentro de los poros de la membrana. En los resultados, la ozonización catalítica con CCM fue más eficaz que la ozonización no catalítica para la degradación y eliminación de contaminantes orgánicos. La eficiencia de eliminación de materia orgánica aumentó de un 30% a más del 80%. Además, la ozonización catalítica de membrana controló eficazmente la suciedad de la membrana durante la ultrafiltración del efluente secundario. La producción de radicales libres de OH también aumentó, lo que condujo a una mayor degradación orgánica.

Atallah et al. (2024), tuvieron por objetivo el tratamiento de aguas residuales mediante electrocoagulación (EC) emerge como una técnica innovadora utilizando membranas cerámicas para eliminar metales pesados y sólidos suspendidos. En la metodología, al combinar la EC con microfiltración (MF) y ultrafiltración (UF) con membrana cerámica, se logra una eliminación eficaz de contaminantes. La EC elimina

más del 95% de los metales pesados, mientras que las membranas cerámicas rechazan el 100% de los sólidos suspendidos. Se realizó la eliminación de metales pesados (Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti y Zn). Reducción de la turbidez a 0,05-0,15 NTU y logró el cumplimiento con regulaciones ambientales.

Gao et al. (2023), en su trabajo planearon por objetivo aplicar membranas de cerámicas catalíticas compuestas emergen como una tecnología prometedora para la degradación de contaminantes orgánicos de aguas residuales. En la metodología, se desarrolló una membrana catalítica compuesta mediante la inmovilización de nanopartículas de plata (Ag) sobre un sustrato de microfiltración de cerámica. El proceso de metalización, inspirado en los mejillones, permitió la creación de una membrana con propiedades únicas. En los resultados, la membrana demostró una eficiencia excepcional en la eliminación del naranja de metilo, alcanzando una tasa de degradación del 95,6% en solo 20 minutos. Este resultado destaca la capacidad de la membrana para abordar contaminantes orgánicos persistentes. Además, la constante de velocidad de reacción aparente alcanzó un valor récord de $568,1 \text{ min}^{-1}$ a 0,5 MPa, lo que indica una reacción catalítica rápida y eficiente. En resumen, la membrana catalítica compuesta demostró ser una herramienta eficaz para la degradación de contaminantes orgánicos, ofreciendo una solución innovadora para la remediación ambiental y el tratamiento de aguas residuales.

Liangdy et al. (2024), plantearon por objetivo elaborar una membrana cerámica catalítica (CCM) impregnada con Fe_3O_4 emerge como una herramienta innovadora para la eliminación de contaminantes orgánicos. La CCM, sintetizada mediante un método de impregnación húmeda asistida por gel de etilenglicol, demostró una eficiencia excepcional en la eliminación de la atrazina (ATZ), un herbicida persistente en el medio ambiente. Eliminación del 99% de ATZ se dio en un corto tiempo de retención hidráulica

(HRT) de 5,7 s. La CCM también mostró una reducción significativa en la toxicidad de los subproductos de degradación de ATZ, lo que la convierte en una opción segura y eficaz para la eliminación de contaminantes orgánicos. Concluyendo que, la membrana cerámica catalítica (CCM) impregnada con Fe_3O_4 es una innovación prometedora para la protección del medio ambiente y la salud pública. Su implementación puede contribuir significativamente a la solución del problema de la contaminación del agua.

Shiwa et al. (2024), tuvieron por objetivo desarrollar membranas cerámicas tubulares que combinaran eficiencia y sostenibilidad. En este contexto, en la metodología la fabricación de membranas cerámicas tubulares de bajo costo se realizó utilizando escoria de desecho y materias primas naturales emerge como una innovación prometedora. Los resultados muestran que hubo una mejora significativa en el flujo de permeado con el aumento del porcentaje de escoria. Eliminación del 99% de la demanda química de oxígeno (DQO) en aguas residuales aceitosas. Estabilidad térmica y mecánica adecuadas para aplicaciones en ingeniería. La investigación también reveló que la incorporación de escoria de fósforo (PS) y escoria de alto horno (BFS) en el cuerpo de la membrana de mullita-zeolita mejoró significativamente su rendimiento. En conclusión, este estudio abre nuevas perspectivas para la aplicación de membranas cerámicas tubulares en la industria del tratamiento de aguas residuales, ofreciendo una solución innovadora y sostenible para el futuro.

1.3. Objetivos

1.3.1. *Objetivo general*

Analizar el grado de eficiencia del tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos, nivel de laboratorio, 2024.

1.3.2. *Objetivos específicos*

Determinar la concentración de contaminantes en las aguas residuales aceitosas antes de la aplicación de los tratamientos.

Determinar las especificaciones óptimas de tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos.

Calcular la eficiencia del Tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos.

1.4. Justificación

Justificación teórica

La contaminación por aguas residuales aceitosas es un problema crítico que requiere soluciones innovadoras. Ante ello, la combinación de óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos ofrece una aproximación prometedora para eliminar contaminantes orgánicos y residuos orgánicos. Por lo que se busca valorar como la reacción oxidativa de los óxidos de metales puede descomponer moléculas orgánicas complejas, mientras que las membranas de cerámica pueden separar partículas y sustancias químicas.

Justificación metodológica

Este estudio se llevará a cabo a nivel de laboratorio, utilizando técnicas experimentales para evaluar la eficiencia de los óxidos de metales y membranas de cerámica en la eliminación de contaminantes orgánicos y residuos orgánicos. Se utilizarán métodos de análisis químicos y físicos para determinar la calidad del agua tratada.

Justificación social

La contaminación por aguas residuales aceitosas afecta la salud pública y el medio ambiente. La implementación de tecnologías de tratamiento eficientes puede reducir el riesgo de enfermedades infecciosas y proteger los ecosistemas acuáticos, contribuyendo con la mejora de la calidad del agua para consumo humano y uso industrial, reducir la contaminación ambiental y proteger la biodiversidad, fomentar el desarrollo sostenible y la gestión responsable del agua.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

El Tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos resulta significativamente eficiente más del 80% a nivel de laboratorio, 2024

1.5.2. Hipótesis específicas

La concentración de contaminantes en las aguas residuales aceitosas antes de la aplicación de los tratamientos supera los estándares permitidos.

Las especificaciones optimas de tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos permiten una remoción mínima de 80%.

La eficiencia del Tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos supera el 80%.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Teorías relacionadas a la investigación

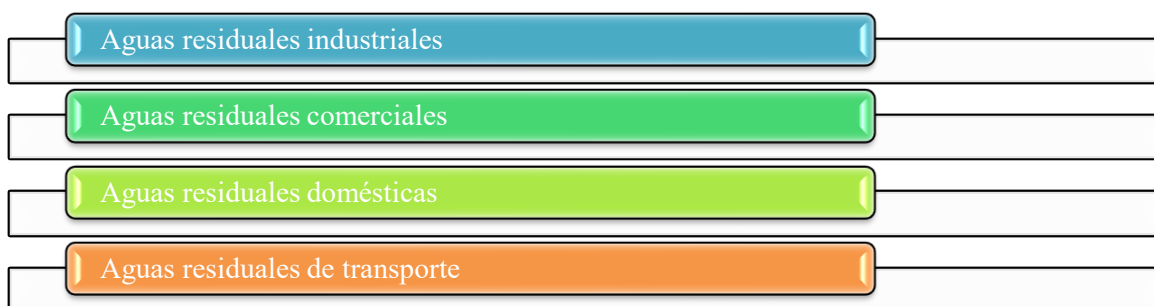
2.1.1. Aguas residuales aceitosas

Las aguas residuales aceitosas son un tipo de residuo líquido que contiene hidrocarburos, grasas, aceites y otros compuestos orgánicos perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana (Xiang et al., 2023). Estas aguas residuales provienen de diversas actividades industriales, comerciales y domésticas (Yu et al., 2017).

Las aguas residuales aceitosas se generan a partir de derrames y fugas de aceites y combustibles, limpieza de superficies y equipos, procesos industriales que involucran hidrocarburos, uso de productos químicos y lubricantes, y actividades de mantenimiento y reparación (Adetunji y Olaniran, 2021).

Figura 1

Tipos de aguas residuales aceitosas



Elaboración propia

Las aguas residuales aceitosas pueden contener una variedad de contaminantes, incluyendo hidrocarburos, grasas y aceites vegetales y animales, compuestos orgánicos volátiles, metales pesados y sustancias químicas (Khan et al., 2024).

Las aguas residuales aceitosas pueden tener graves consecuencias para el medio ambiente y la salud humana, incluyendo la contaminación de agua superficial y

subterránea, daño a la vida acuática y ecosistemas, y riesgos para la salud humana (Pi et al., 2024).

2.1.2. Óxidos de metales

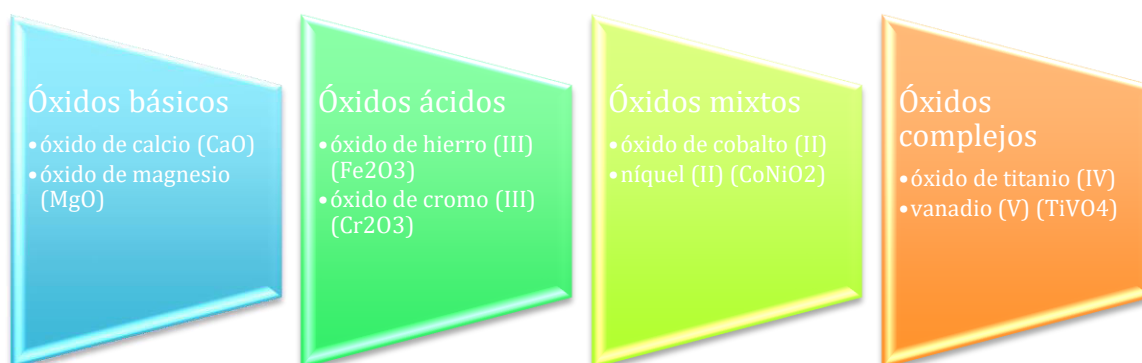
Los óxidos de metales son compuestos químicos que se forman cuando un metal reacciona con oxígeno (Liu et al., 2022). Estos compuestos tienen propiedades físicas y químicas únicas que los hacen útiles en diversas aplicaciones (Ahmed et al., 2022).

Los óxidos de metales se pueden obtener de fuentes naturales, como minerales y rocas, o producirse industrialmente mediante procesos como la oxidación de metales, la calcinación de minerales y la reacción química. También se pueden sintetizar en laboratorio mediante reacciones químicas (Delekar, 2022).

Existen varias clases y tipos de óxidos de metales que se encuentran clasificadas acuerdo a las categorías o clasificaciones generales de óxidos de metales según sus propiedades químicas y estructurales (Masroor, 2022). Entre estos tipos incluyen:

Figura 2

Tipos de óxidos de metales



Fuente: modificado de Kumar et al., (2023)

Estos óxidos de metales tienen diversas aplicaciones; por ejemplo:

Figura 3*Aplicaciones de óxidos de metales*

Además, ejemplos específicos de compuestos químicos que pertenecen a los tipos de óxidos de metales mencionados anteriormente incluyen a los Óxido de hierro (III) (Fe_2O_3), Óxido de cobre (II) (CuO), Óxido de zinc (ZnO), Óxido de titanio (IV) (TiO_2), Óxido de aluminio (Al_2O_3) (Mehring, 2017). Encontrándose dentro de sus propiedades la conductividad eléctrica, resistencia térmica, estabilidad química, propiedades ópticas, propiedades magnéticas (Ahn et al., 2021).

2.1.3. Membranas de cerámica

Las membranas de cerámica son estructuras delgadas y porosas fabricadas con materiales cerámicos, diseñadas para separar y eliminar contaminantes de líquidos, especialmente en el tratamiento de aguas residuales. Estas membranas presentan características y propiedades únicas que las hacen ideales para esta aplicación (Fooladi et al., 2024).

Las membranas de cerámica están fabricadas con materiales cerámicos como óxidos de aluminio, zirconio y titanio, lo que les confiere una resistencia química y térmica excepcional (Aouadja et al., 2022). Su porosidad controlada permite la

separación de partículas y contaminantes, lo que resulta en una alta eficiencia de separación (Ang et al., 2024).

Existen varios tipos de membranas de cerámica, cada una diseñada para abordar contaminantes específicos (Chen et al., 2024):

- Microfiltración (MF) para partículas de 0,1-10 μm
- Ultrafiltración (UF) para partículas de 0,01-0,1 μm
- Nanofiltración (NF) para partículas de 0,001-0,01 μm
- Ósmosis inversa (RO) para partículas de 0,0001-0,001 μm

Estas pueden ser aplicadas utilizan en diversas aplicaciones como la eliminación de contaminantes orgánicos e inorgánicos, tratamiento de aguas residuales industriales, tratamiento de aguas residuales municipales, reutilización de agua, desalinización (Shi et al., 2024).

2.1.4. Residuos orgánicos

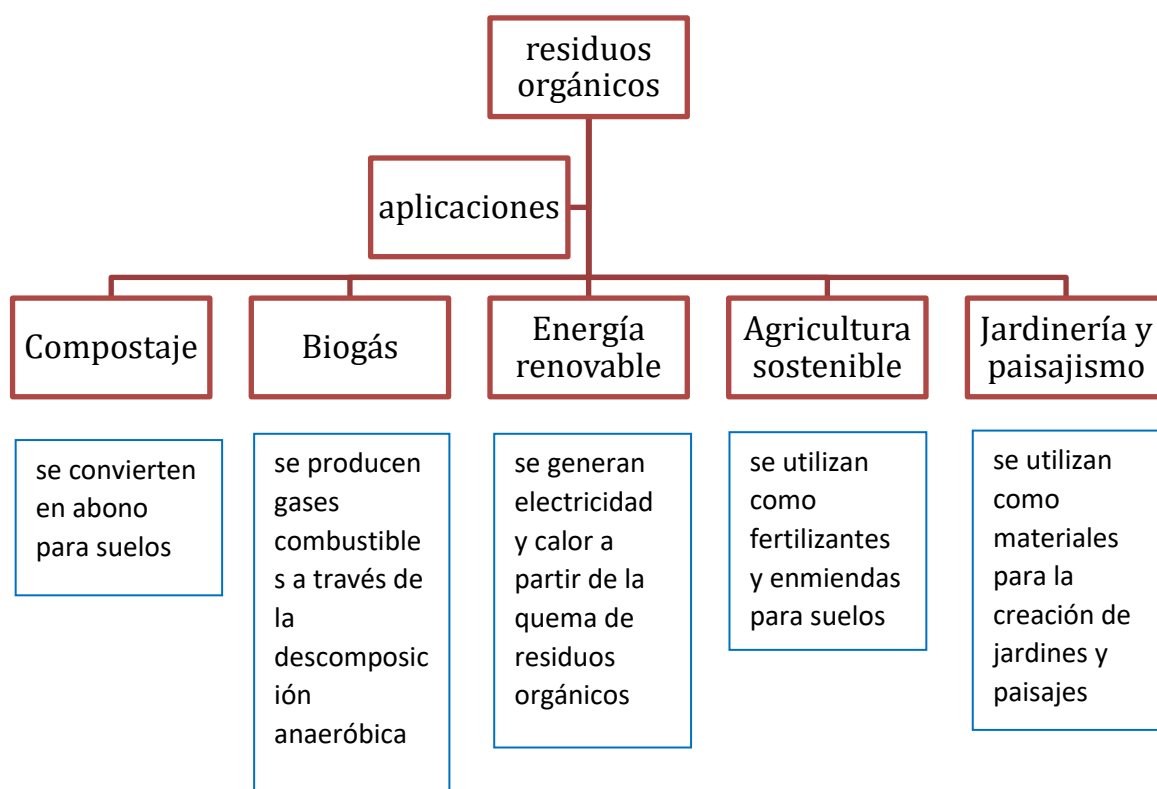
Los residuos orgánicos son aquellos materiales que provienen de seres vivos, como plantas y animales, y que pueden descomponerse fácilmente en el medio ambiente (Fan et al., 2024). Estos residuos son una parte importante de la gestión de residuos y tienen una variedad de aplicaciones (Xu et al., 2024).

Los residuos orgánicos incluyen; restos de alimentos, residuos de jardinería y paisajismo, madera y materiales lignocelulósicos, residuos agrícolas y ganaderos, residuos de papel y cartón (Wu et al., 2024).

Los residuos orgánicos tienen varias características importantes:

Figura 4*Características de los residuos orgánicos*

Biodegradables	•se descomponen fácilmente en el medio ambiente
Ricos en nutrientes	•contienen nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas
Variable composición	•pueden contener una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos

Figura 5*Aplicaciones de los residuos orgánicos*

Fuente: Kaur et al., (2025)

2.2. Marco conceptual

2.2.1. Aceites y grasas

Los aceites y grasas son sustancias lípidas que se encuentran en forma de hidrocarburos (alcanos, alquenos, aromáticos), grasas animales y vegetales (triglicéridos), aceites minerales (lubricantes, combustibles), aceites vegetales (aceite de oliva, aceite de girasol) (Mahat et al., 2020).

La remoción de aceites y grasas de aguas residuales aceitosas se logra mediante separación física (flotación, centrifugación), tratamiento químico (coagulación, floculación), tratamiento biológico (digestión anaeróbica) (Solé et al., 2020).

Los aceites y grasas en aguas residuales se miden en diversas unidades, dependiendo del método de análisis y la normativa aplicable; entre las unidades más comunes está los miligramos por litro (mg/l), partes por millón (ppm), microgramos por litro ($\mu\text{g/l}$), nanogramos por litro (ng/l) (Sultana et al., 2024).

2.2.2. Turbidad

La turbidez es una medida de la cantidad de partículas suspendidas en el agua que afectan su claridad y transparencia (Bozorg et al., 2021). Se refiere a la presencia de sustancias coloidales, como sedimentos, arcillas, microorganismos y otros contaminantes, que pueden provenir de fuentes naturales o antropogénicas (Tyler et al., 2022).

2.2.3. Sólidos Suspendidos Totales (SST)

La presencia de sólidos suspendidos totales (SST) en el agua es un indicador crucial de su calidad (Del castillo et al., 2022). Estos sólidos, que incluyen partículas inorgánicas y orgánicas, pueden provenir de diversas fuentes y tener graves consecuencias en el medio ambiente y la salud humana (Miliar et al., 2016).

2.3. Marco Legal Ambiental

Ley General del Ambiente (LGA): Ley N° 28611, artículo 3: "La protección del medio ambiente es de interés público y es deber del Estado y de los ciudadanos protegerlo y conservarlo para las generaciones presentes y futuras."

Ley de Aguas (LA): Ley N° 29338, artículo 4: "El Estado garantiza la calidad del agua para su uso en la salud humana, la agricultura, la industria y la conservación del medio ambiente."

Reglamento de la Calidad del Agua (RCA): Decreto Supremo N° 021-2009-MINAM, artículo 5: "Los límites máximos permitidos para la calidad del agua son aquellos establecidos en el Anexo 1 del presente reglamento."

Ley de Residuos Sólidos (LRS): Ley N° 29419, artículo 3: "Los residuos sólidos deben ser gestionados de manera integral y sostenible para proteger la salud humana y el medio ambiente."

Reglamento de Gestión de Residuos Sólidos (RGRS): Decreto Supremo N° 057-2015-MINAM, artículo 4: "La gestión de residuos sólidos debe incluir la reducción, reutilización y reciclaje de residuos."

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

Esta investigación buscó abordar la problemática ambiental y de salud pública asociada a la contaminación de aguas residuales, proponiendo una solución sostenible y eficiente. Los óxidos de metales y las membranas de cerámica con residuos orgánicos se presentaron como alternativas prometedoras para la remoción de contaminantes aceitosos.

Ante ello, la metodología del presente estudio “Tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos, nivel de laboratorio, 2024” fue de tipo aplicada, de enfoque cuantitativo y diseño experimental.

La metodología de investigación aplicada se centra en resolver problemas prácticos y encontrar soluciones efectivas para necesidades específicas. Se enfoca en la aplicación de conocimientos teóricos a situaciones reales, con el objetivo de mejorar procesos, productos o servicios (Castro et al., 2022). Ante ello, en el presente estudio se aplicó una investigación de tipo aplicada, ya que, se buscó desarrollar un sistema de tratamiento de aguas residuales aceitosas utilizando óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos.

La metodología aplicada es adecuada porque, busca resolver un problema práctico, el de la contaminación de aguas residuales y porque aplica conocimientos teóricos a una situación real: la utilización de óxidos de metales y membranas de cerámica.

Se encuentra un enfoque cuantitativo, siendo que este se centra en la medición y análisis de datos numéricos para responder preguntas de investigación. Se enfoca en la objetividad, precisión y generalizabilidad de los resultados (Sánchez, 2019).

Dicho ello, se aplicó un enfoque cuantitativo, porque se midió la eficacia del tratamiento utilizando parámetros cuantitativos (pH, concentración de contaminantes, etc.). se

analizó datos numéricos para determinar la relación entre variables (óxidos de metales, membranas de cerámica, residuos orgánicos, etc.) y se buscó establecer patrones y tendencias en los resultados.

También el estudio presentó un diseño experimental. Ante esto, Galarza, (2021), menciona que el diseño experimental implica la manipulación de variables independientes para observar su efecto en la variable dependiente. Se enfoca en controlar variables extrañas y establecer causalidad.

Este diseño se encuentra porque se manipuló variables independientes (óxidos de metales, membranas de cerámica, residuos orgánicos, etc.) y se controló variables extrañas (pH, temperatura, etc.) para establecer causalidad.

3.2. Ámbito temporal y espacial

3.2.1. Ámbito temporal

El estudio se llevó a cabo en un período de tiempo determinado, específicamente durante el año 2024. La duración del estudio fue de aproximadamente 6-8 meses, dependiendo de la complejidad de los experimentos y la recopilación de datos.

3.2.2. Ámbito espacial

El estudio se realizó en un laboratorio especializado en química y tratamiento de aguas residuales, ubicado en la Facultad de Ingeniería Geográfica, Ambiental y Ecoturismo (FIGAE), de la Universidad Nacional Federico Villarreal. El laboratorio cuenta con el equipo y los recursos necesarios para llevar a cabo los experimentos.

Las limitaciones del estudio son factores que influyeron en la validez y relevancia de los resultados. Dentro de las limitaciones estuvo la limitada escala del estudio, ya que se realizó

a nivel de laboratorio, lo que no permite replicar exactamente la complejidad de los procesos industriales.

3.3. Variables

3.3.1. Variable independiente

Variable independiente: Aplicación de óxidos de metales y membranas de cerámica

3.3.2. Variable dependiente

Variable dependiente: Tratamiento de aguas residuales aceitosas

Tabla 1*Operacionalización de Variables de Investigación*

Variables	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
<p>Variable independiente: aplicación de óxidos de metales y membranas de cerámica</p>	<p>La aplicación de óxidos de metales y membranas de cerámica es una tecnología innovadora que combina la capacidad adsorbente de los óxidos metálicos con la separación precisa de las membranas cerámicas para lograr una eficaz remoción de contaminantes en aguas residuales (Ang et al., 2024).</p>	<p>Se aplicó el óxido de metal y membrana de cerámica mediante Nanopolvo de óxido de hierro y Membrana en polvo, con diferentes dosis (10 y 5), composiciones diferentes (10 y 5, 10 y 10, 5 y 10, 10 y 0, 0 y 10), y 3 repeticiones, para los parámetros a analizar (AyG, Turbidez, SST, Cadmio).</p>	<p>Floculación</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Dosis (g/l) ● Composición (%) ● Tiempo de contacto ● Velocidad de agitación ● Sedimentación ● pH
<p>Variable dependiente: Tratamiento de aguas residuales aceitosas</p>	<p>El tratamiento de aguas residuales aceitosas es un proceso crucial que busca eliminar los contaminantes</p>	<p>Para determinar el tratamiento de aguas residuales aceitosas se determinó la remoción de</p>	<p>Parámetros Físicoquímicos</p>	<p>Concentración SST (mg/l)</p> <ul style="list-style-type: none"> •Concentración AyG (mg/l)

orgánicos e inorgánicos AyG, Turbidez, SST, presentes en las aguas Cadmio, tomándose en residuales industriales y cuenta su concentración comerciales, con el inicial y los niveles finales objetivo de proteger el alcanzados despues de los medio ambiente y la salud tratamientos con públicatrataamientos. Este nanopolvo de óxido de proceso implica una serie hierro y membrana en de etapas cuidadosamente polvo. Así mismo se diseñadas para remover los evaluó los niveles de aceites y grasas, así como eficiencia en cada otros contaminantes, y tratamiento. mejorar la calidad del agua (Khan et al., 2024).

- Concentración de Turbiedad (NTU)
 - Concentración de Cadmio (mg/l)
 - Eficiencia (%)
-

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población en este estudio fue todas las muestras de agua residual aceitosa artificialmente generadas en el laboratorio, con características y composiciones similares a las aguas residuales industriales.

3.4.2. Muestra

La muestra fue un conjunto representativo de estas muestras de agua residual aceitosa, seleccionadas aleatoriamente para someterlas a diferentes tratamientos y evaluaciones. El tamaño de la muestra será de 20 litros.

Consideraciones: Se generó un lote de agua residual aceitosa con características específicas (pH, concentración de contaminantes, etc.). Se dividió el lote en sub-muestras para aplicar diferentes tratamientos (óxidos de metales y membranas de cerámica). Cada sub-muestra representó una unidad experimental.

3.5. Instrumentos

3.5.1. Técnicas

- Manual de procedimiento para el Jar Test.
- Manual de seguridad de laboratorios de la UNFV.
- Métodos Estandarizados para análisis de aguas naturales y residuales

3.5.2. Instrumentos

- Ficha de recolección de datos

3.6. Procedimientos

- El primer proceso fue obtener el agua residual, la cual se muestreó del agua desechada del lavado de utensilios de cocina donde se prepara y sirve comida a base de frituras (papas, pollo, etc.). La recolección del agua se realizó durante 5 días aproximadamente, con un volumen de 5 litros por día.
- Posteriormente, se realizó la preparación del óxido metálico a partir de viruta, obtenida de los residuos metálicos. Dicha viruta pasó por un proceso de cortado, pirolizado, triturado y tamizado, para obtener un nanopolvo de óxido de hierro.
- Luego, se prepararon las membranas cerámicas con residuos orgánicos de huesos de aceituna, cascara de almendra, almidón de papa, carbonato de calcio y chamota (material granular obtenido de la pulverización de ladrillo). Los residuos orgánicos mencionados pasaron por un proceso de cortado, lavado, secado, pirolizado, triturado y tamizado. Finalmente, se mezclaron y secaron los productos para su posterior uso.
- Finalmente, se determinaron las especificaciones y condiciones de tratamiento que se plasmaron experimentalmente. A continuación, se resume la tabla de tratamientos:

Se realizarán 5 tratamientos que consistirán en:

- Tratamiento 1: relación de composición 100% a 50% (10 gramos de nanopolvo de óxido de hierro con 5 gramos de membrana cerámica con residuos orgánicos en polvo).
- Tratamiento 2: relación de composición 100% a 100% (10 gramos de nanopolvo de óxido de hierro con 10 gramos de membrana cerámica con residuos orgánicos en polvo).
- Tratamiento 3: relación de composición 50% a 100% (5 gramos de nanopolvo de óxido de hierro con 10 gramos de membrana cerámica con residuos orgánicos en polvo).

- Tratamiento 4: relación de composición 100% a 0% (10 gramos de nanopolvo de óxido de hierro).

- Tratamiento 5: relación de composición 0% a 100% (10 gramos de membrana cerámica con residuos orgánicos en polvo).

Tabla 2

Diseño experimental

Tratamientos	1	2	3	4	5
Material base	Nanopolvo de óxido de hierro y Membrana en polvo				
Dosis (g/l)	10 y 5	10 y 10	5 y 10	10 y 0	0 y 10
Composición (%)	2 a 1	1 a 1	1 a 2	1 a 0	0 a 1
Dosis (g/l)	10 y 5	10 y 10	5 y 10	10 y 0	0 y 10
Tiempo de contacto	60 min	60 min	60 min	60 min	60 min
Sedimentación	15 min	15 min	15 min	15 min	15 min
Velocidad de agitación	200 rpm	200 rpm	200 rpm	200 rpm	200 rpm
Repeticiones	R1, R2 y R3	R1, R2 y R3	R1, R2 y R3	R1, R2 y R3	R1, R2 y R3
pH	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Parámetros analizados	AyG, Turbidez, SST, Cadmio	AyG, Turbidez, SST, Cadmio	AyG, Turbidez, SST, Cadmio	AyG, Turbidez, SST, Cadmio	AyG, Turbidez, SST, Cadmio

Elaboración propia

3.7. Análisis de datos

El análisis de datos se realizó utilizando métodos estadísticos para evaluar la eficacia del tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica.

Para lograr esto, se emplearon diversos métodos estadísticos que proporcionaron una visión detallada de los resultados.

En primer lugar, se utilizó el Análisis de Varianza (ANOVA) para comparar las medias de los tratamientos y determinar si existen diferencias significativas entre ellos. Posteriormente,

se aplicó la Prueba de Tukey para identificar qué tratamientos presentaron diferencias significativas entre sí.

Para garantizar la precisión de los resultados, se estableció un nivel de significancia de 0,05. El software estadístico utilizado será SPSS, herramienta especializada en el análisis de datos.

Finalmente, los resultados se interpretaron en términos de la eficacia del tratamiento en la remoción de contaminantes y la mejora de la calidad del agua residual mediante el Excel.

3.8. Consideraciones éticas

Desde el diseño experimental, se priorizó la transparencia y honestidad en los resultados. La confidencialidad de los datos y la información a participantes fueron respetadas. Al interpretar resultados, se buscó el bienestar social y se evitaron daños. La responsabilidad social y ambiental guió la implementación del tratamiento.

Los resultados se presentaron de manera clara y precisa, reconociendo derechos de autor y propiedad intelectual. Además se siguió el lineamiento establecido por la Universidad Nacional Federico Villarreal.

IV. RESULTADOS

En el presente capítulo se analizará los datos obtenidos al aplicar los tratamientos planteados con óxidos de metal y membrana de cerámica con residuos orgánicos.

Para ello primero se determinó las concentraciones iniciales de los contaminantes presentes en las aguas aceitosas, realizando 3 muestreos obteniendo, para corroborar con certeza los valores, de tal modo que se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 3

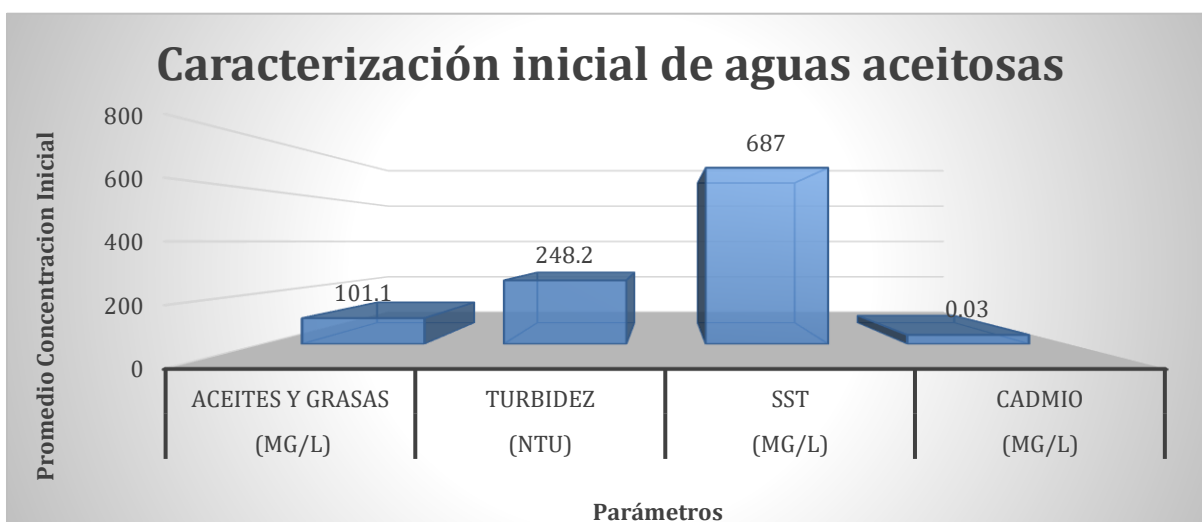
Caracterización inicial de aguas aceitosas

Análisis	Parámetros			
	Aceites y Grasas (mg/l)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l)	Cadmio (mg/l)
1	103.8	248.5	687	0.03
2	98.1	247.9	685	0.02
3	101.5	248.2	690	0.03
Promedio	101.1	248.2	687	0.03

Elaboración propia

Figura 6

Caracterización Inicial de aguas aceitosas



Elaboración propia

Tal como se observa en la tabla 3 y figura 6, los valores de los parámetros analizados, son generosamente elevados, de acuerdo a los objetivos planteados estos valores favorecen para aplicar los tratamientos propuestos.

Luego de analizar y obtener los valores iniciales en las muestras de agua aceitosa, se dio respuesta al objetivo específico 2 donde indica determinar las especificaciones óptimas de tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos.

Los tratamientos realizados tuvieron la única diferencia en la relación de las dosis (2:1, 1:1, 1:2, 1:0 y 0:1) de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo. Sin embargo, las demás condiciones de tratamiento fueron las mismas 3 ensayos (R1, R2 y R3) y 1 muestra blanco (MB), llevadas a pH 6, con 60 minutos de tratamiento a 200 rpm de velocidad, al término de dicho tiempo se dejó reposar y sedimentar por 15 minutos para su análisis posterior.

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos del primer tratamiento con una relación de dosis de 2:1, es decir 10 gramos nanopolvo de óxido de hierro y 5 gramos de membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo obteniendo así los siguientes resultados.

Tabla 4

Tratamiento 1 con relación de dosis 2:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas

Repeticiones	Parámetros			
	Aceites y Grasas (mg/l)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l)	Cadmio (mg/l)
MP	101.1	248.2	687	0.03
R1	9.2	25.6	66	0.004
R2	8.9	24.8	63	0.001

R3	9.0	25.3	64	0.009
Promedio	9.0	25.2	64	0.005

Elaboración propia

De acuerdo a la tabla 4, se observa que el primer tratamiento permite una reducción de los contaminantes significativamente buena, reduciendo hasta promedios de 9.0 mg/l en AyG, 25.2 NTU en turbiedad, 64 mg/l en SST y 0.005 mg/l en cadmio, con respecto a sus valores iniciales.

Posteriormente se realizó el segundo tratamiento, con una relación de dosis de 1:1, es decir 10 gramos nanopulvo de óxido de hierro y 10 gramos de membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo obteniendo así los siguientes resultados.

Tabla 5

Tratamiento 2 con relación de dosis 1:1 de nanopulvo de óxido de hierro y membrana cerámicas

Repeticiones	Parámetros			
	Aceites y Grasas (mg/l)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l)	Cadmio (mg/l)
MP	101.1	248.2	687	0.03
R1	10.1	27.8	70	0.009
R2	9.9	27.8	72	0.008
R3	10.2	27.9	71	0.009
Promedio	10.1	27.8	71	0.009

Elaboración propia

De la tabla 5, se visualiza que el segundo tratamiento permite una reducción de los contaminantes ligeramente buena, reduciendo hasta promedios de 10.1 mg/l en AyG, 27.8 NTU en turbiedad, 71 mg/l en SST y 0.009 mg/l en cadmio, con respecto a sus valores iniciales.

Seguidamente se realizó el tercer tratamiento, con una relación de dosis de 1:2, es decir 5 gramos nanopulvo de óxido de hierro y 10 gramos de membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo obteniendo así los siguientes resultados.

Tabla 6

Tratamiento 3 con relación de dosis 1:2 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas

Repeticiones	Parámetros			
	Aceites y Grasas (mg/l)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l)	Cadmio (mg/l)
MP	101.1	248.2	687	0.03
R1	21.1	54.2	138	0.01
R2	20.0	53.8	137	0.01
R3	21.4	54.9	140	0.01
Promedio	20.8	54.3	138	0.01

Elaboración propia

Continuando con el análisis en la tabla de resultados del tercer tratamiento nos muestra una reducción mayor de los contaminantes de un promedio de 20.8 mg/l en AyG, 54.3 NTU en turbiedad, 138 mg/l en SST y 0.01 mg/l en cadmio, con respecto a sus valores iniciales.

A continuación, se presenta los resultados del cuarto tratamiento realizado, con una relación de dosis de 1:0, es decir 10 gramos nanopolvo de óxido de hierro y 0 gramos de membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo obteniendo así los siguientes resultados.

Tabla 7

Tratamiento 4 con relación de dosis 1:0 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas

Repeticiones	Parámetros			
	Aceites y Grasas (mg/l)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l)	Cadmio (mg/l)
MP	101.1	248.2	687	0.03
R1	19.5	48.5	145	0.02
R2	19.0	47.0	144	0.02
R3	18.9	48.0	146	0.03
Promedio	19.1	47.8	145	0.02

Elaboración propia

En la tabla anterior podemos visualizar que el cuarto tratamiento permite una reducción de los contaminantes hasta promedios de 19.1 mg/l en AyG, 47.8 NTU en turbiedad, 145 mg/l en SST y 0.026

mg/l en cadmio, con respecto a sus valores iniciales.

Finalmente, se presenta los resultados del quinto tratamiento realizado, con una relación de dosis de 0:1 es decir 0 gramos nanopolvo de óxido de hierro y 10 gramos de membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo obteniendo así los siguientes resultados.

Tabla 8

Tratamiento 5 con relación de dosis 0:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas

Repeticiones	Parámetros			
	Aceites y Grasas (mg/l)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l)	Cadmio (mg/l)
MP	101.1	248.2	687	0.03
R1	15.2	40.1	108	0.017
R2	15.1	39.8	109	0.01
R3	15.3	39.5	109	0.02
Promedio	15.2	39.8	109	0.02

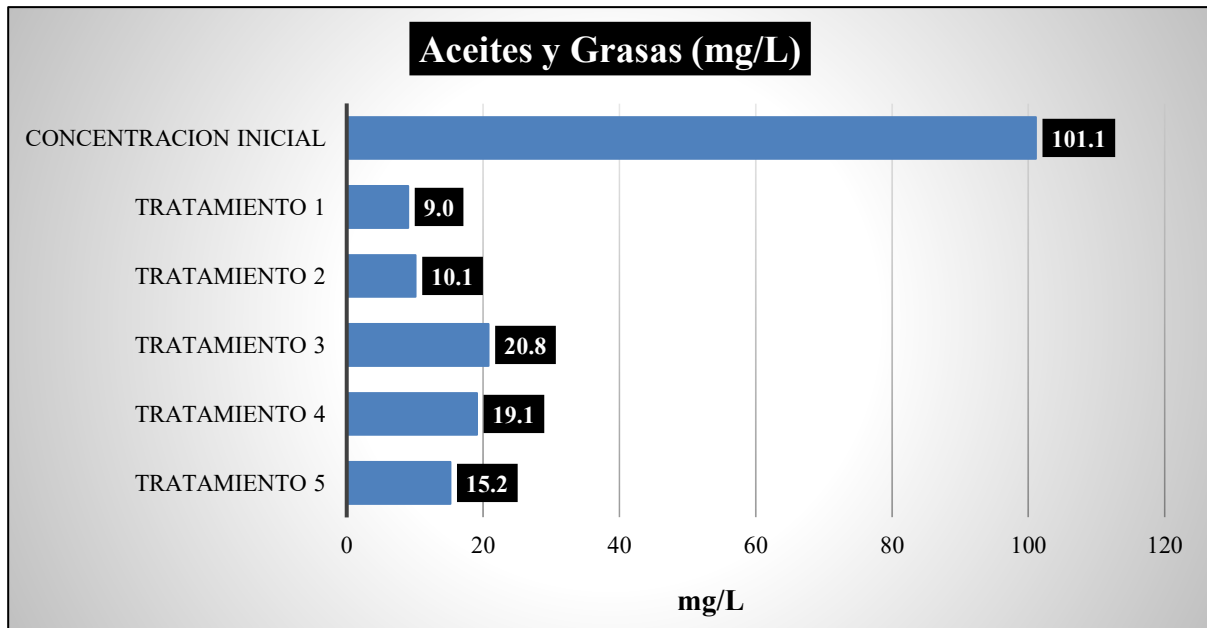
Elaboración propia

Finalmente, en el quinto tratamiento se obtuvo resultados que permite una reducción de los contaminantes hasta promedios de 15.2 mg/l en AyG, 39.8 NTU en turbiedad, 109 mg/l en SST y 0.02 mg/l en cadmio, con respecto a sus valores iniciales.

En las siguientes figuras podremos observar las concentraciones promedio de cada parámetro después de la aplicación del tratamiento de tal modo que en cada uno se puede determinar cuál tratamiento fue el más efectivo en la reducción del contaminante.

Figura 7

Concentraciones promedio final de Aceites y Grasas por tratamiento

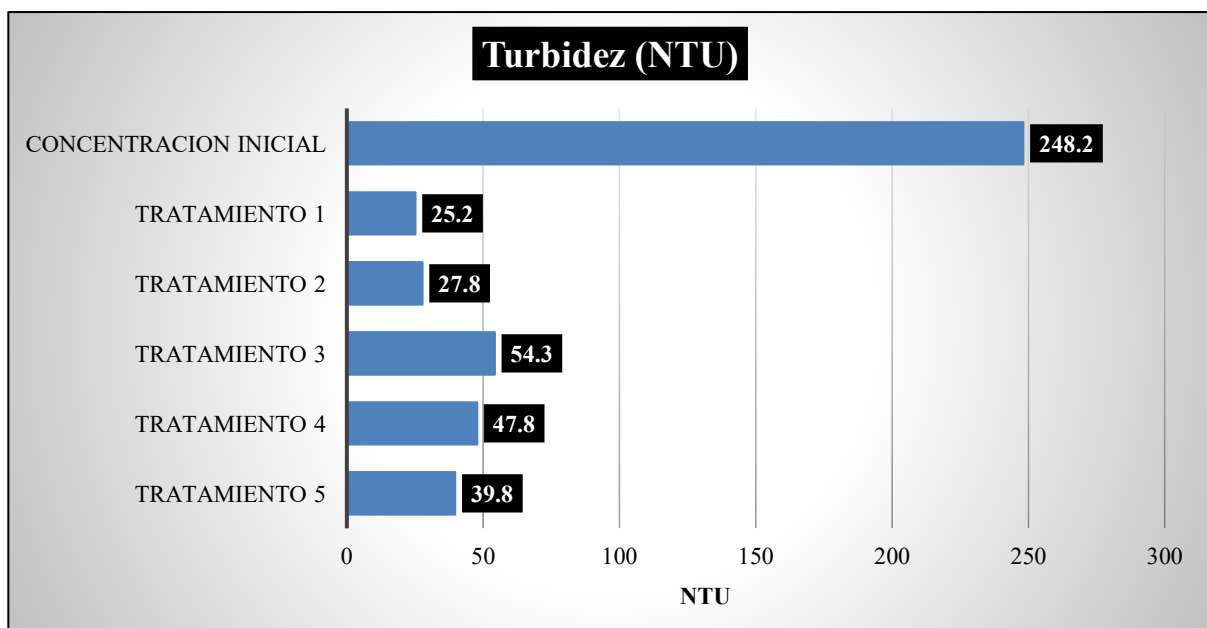


Elaboración propia

la figura 7, muestra la eficiencia de los tratamientos en la disminución del contaminante AyG, siendo tratamiento 1 con relación de dosis 2:1 de nanopulvo de óxido de hierro y membrana cerámicas, el mas eficaz.

Figura 8

Concentraciones promedio final de Turbiedad por tratamiento

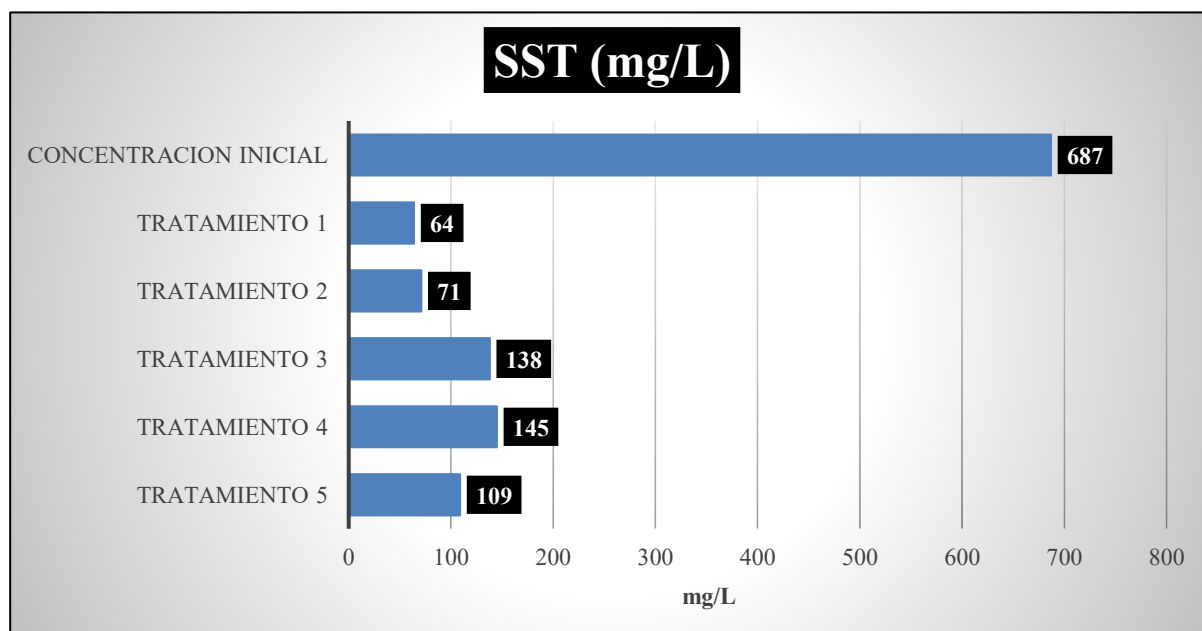


Elaboración propia

De la figura N^o 8, podemos determinar que el tratamiento más eficiente en la disminución del parámetro turbiedad fue también el tratamiento 1 con relación de dosis 2:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas.

Figura 9

Concentraciones promedio final de SST por tratamiento

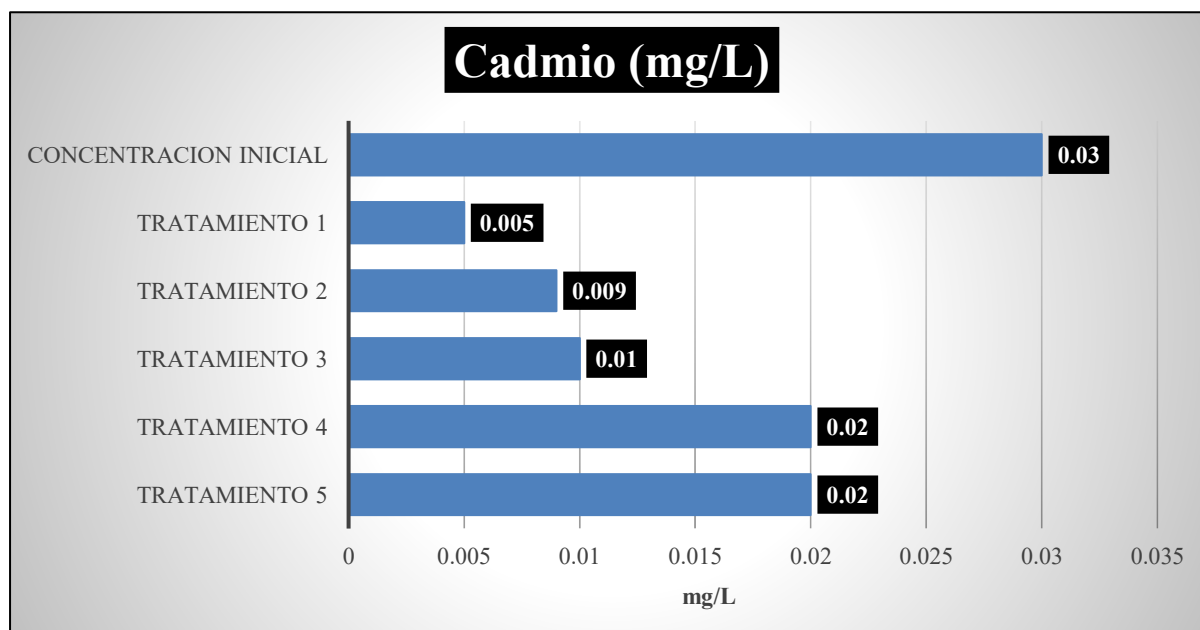


Elaboración propia

La figura N^o 9, muestra el tratamiento más eficiente en la disminución del parámetro Solidos Suspendidos Totales fue el tratamiento 1 con relación de dosis 2:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas, llegando hasta un valor de 64 mg/l en referencia al valor inicial de 687 mg/l.

Figura 10

Concentraciones promedio final de Cadmio por tratamiento



Elaboración propia

De la figura N^a 10, podemos determinar que el tratamiento más eficiente en la disminución del parámetro Cadmio fue el tratamiento 1 con relación de dosis 2:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas, llegando hasta un valor de 0.005 mg/l en referencia al valor inicial de 0.03 mg/l.

Es así como, con la data obtenida en cada proceso de tratamiento se realizó el cálculo de la eficiencia de cada tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos, obteniendo así el siguiente análisis.

Tabla 9

Eficiencia de tratamientos con nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas

Tratamiento	Parámetros				
	Remoción	Aceites y Grasas (mg/l)	Turbidez (NTU)	SST (mg/l)	Cadmio (mg/l)
1	C.I	101.1	248.2	687	0.03
	C.F	9.0	25.2	64	0.005
	ER (%)	91.1	89.8	90.7	83.3

2	C.F	10.1	27.8	71	0.009
	ER (%)	90.0	88.8	89.7	70.0
3	C.F	20.8	54.3	138	0.01
	ER (%)	79.4	78.1	79.9	66.7
4	C.F	19.1	47.8	145	0.02
	ER (%)	81.1	80.7	78.9	33.3
5	C.F	15.2	39.8	109	0.02
	ER (%)	85.0	84.0	84.1	33.3

Elaboración propia

Tal como se muestra en la tabla anterior el tratamiento 1 con nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas en relación de dosis 2:1 tiene mayor fuerza de remoción en los parámetros llegando hasta porcentajes máximos de 91.1% en aceites y grasas, 89.8% en turbidez, 90.7% en SST y 83.3% en cadmio en comparación con los demás tratamientos.

Estadística:

Tabla 10

Concentración de contaminantes antes y después

Parámetros	unidades	valores iniciales			Promedio	DE	IC del 95%	
							Lim _{inf}	Lim _{sup}
Aceites y Grasas	(mg/l)	103.8	98.1	101.5	101.1	2.9	95.83	105.66
Turbidez	(NTU)	248.5	247.9	248.2	248.2	0.3	247.65	248.68
SST	(mg/l)	687	685	690	687	2.5	682.38	691.00
Cadmio	(mg/l)	0.03	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.04

Interpretación: Se afirma que el aceite y grasas presentaron una concentración inicial promedio de 101.5 mg/l y una desviación estándar de 2.9 mg/l, al 95% de confianza se afirma que la concentración inicial en todas las aguas aceitosas estaba entre 95.83 mg/l a 105.66 mg/l. Para la turbidez presento una concentración inicial promedio de 248.2 mg/l y una desviación estándar de 0.3 mg/l, al 95% de confianza se afirma que la concentración inicial en todas las aguas aceitosas estaba entre 247.65 a 248.68 NTU. Para el SST presento una concentración

inicial promedio de 687 mg/l y una desviación estándar de 2.5 mg/l, al 95% de confianza se afirma que la concentración inicial en todas las aguas aceitosas estaba entre 682.38 a 691.00 mg/l. Para el Cadmio presento una concentración inicial promedio de 0.03 mg/l y una desviación estándar de 0.01 mg/l, al 95% de confianza se afirma que la concentración inicial en todas las aguas aceitosas estaba entre 0.02 a 0.04 mg/l.

Obj 2: Determinar las especificaciones optimas de tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos.

Tabla 11

Prueba ANOVA de concentraciones finales de Aceites y Grasas

	Suma de cuadrados	de gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	332,951	4	83,238	591,737	0,000
Dentro de grupos	1,407	10	0,141		
Total	334,357	14			

Interpretación: con la prueba ANOVA (Sig=0.000 menor que 0.05) se concluye que los tratamientos de dosis 2:1, 1:1, 1:2, 1:0 y 0:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo demuestran resultados diferentes sobre las concentraciones finales de Aceites y Grasas.

Tabla 12

Prueba Tukey de concentraciones finales de Aceites y Grasas

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
Dosis 2:1	3	9.03				
Dosis 1:1	3		10.07			
Dosis 1:2	3			15.20		
Dosis 1:0	3				19.13	
Dosis 0:1	3					20.83

Interpretación: con la prueba Tukey se concluye que las concentraciones más bajas de aceite y grasas se encuentran con un tratamiento cuya dosis fue 2:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo.

Figura 11

Concentraciones para tratamientos de aceites y grasas

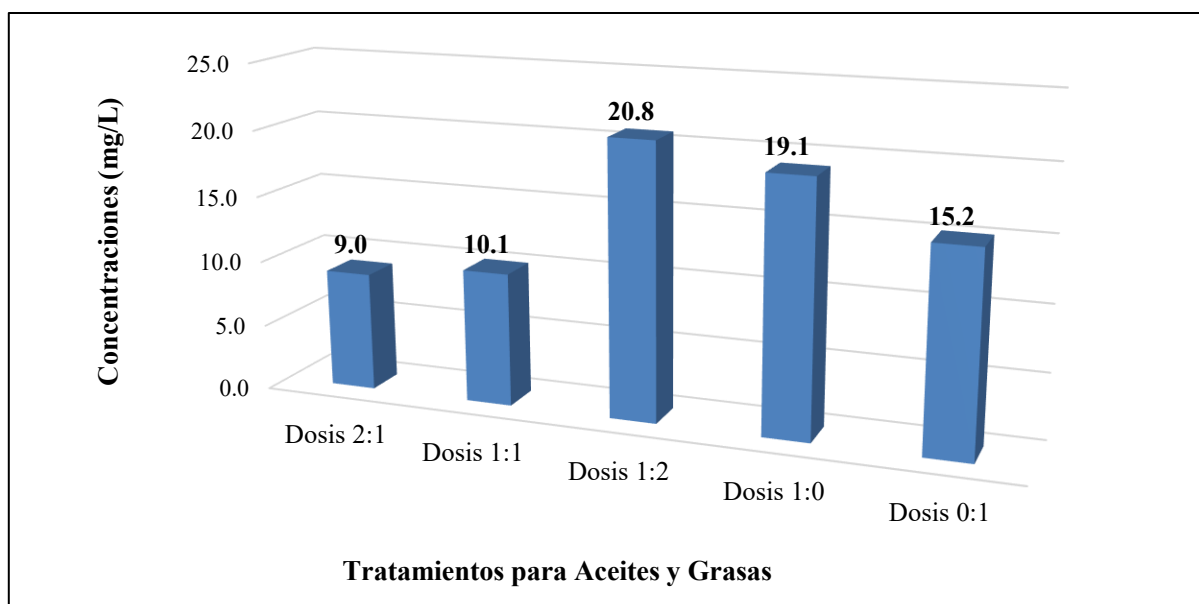


Tabla 13

Prueba ANOVA de concentraciones finales de Turbidez

	Suma de cuadrados	de gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	1880,920	4	470,230	2044,478	0,000
Dentro de grupos	2,300	10	0,230		
Total	1883,220	14			

Interpretación: con la prueba ANOVA (Sig=0.000 menor que 0.05) se concluye que los tratamientos de dosis 2:1, 1:1, 1:2, 1:0 y 0:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo demuestran resultados diferentes sobre las concentraciones finales de turbidez.

Tabla 14*Prueba Tukey de concentraciones finales de Turbidez*

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
Dosis 2:1	3	25.23				
Dosis 1:1	3		27.83			
Dosis 1:2	3			39.80		
Dosis 1:0	3				47.83	
Dosis 0:1	3					54.30

Interpretación: con la prueba Tukey se concluye que las concentraciones más bajas de turbidez se encuentran con un tratamiento cuya dosis fue 2:1 de nanopulvo de óxido de hierro y membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo.

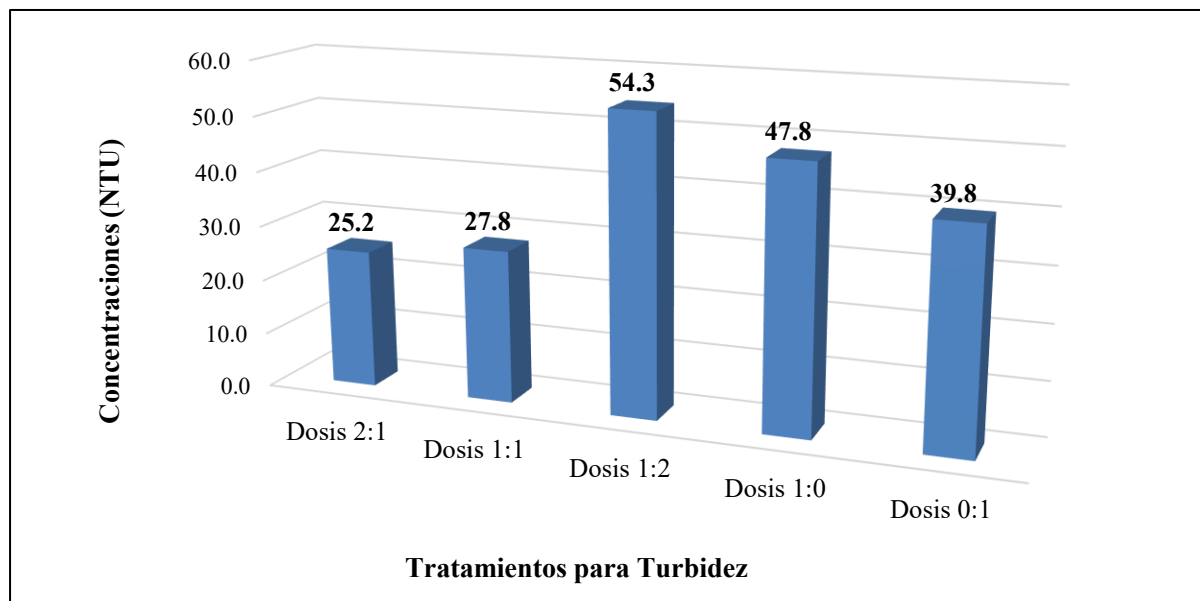
Figura 12*Concentración para tratamiento de turbidez*

Tabla 15*Prueba ANOVA de concentraciones finales de SST*

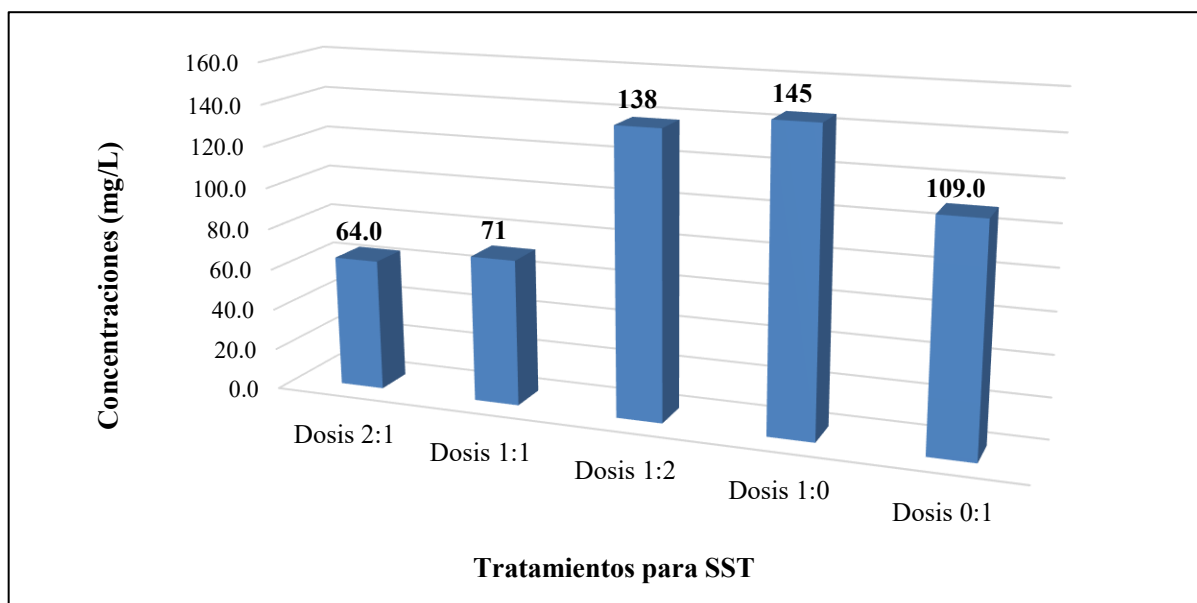
	Suma de cuadrados	de gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	16599,733	4	4149,933	2964,238	0,000
Dentro de grupos	14,000	10	1,400		
Total	16613,733	14			

Interpretación: con la prueba ANOVA (Sig=0.000 menor que 0.05) se concluye que los tratamientos de dosis 2:1, 1:1, 1:2, 1:0 y 0:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo demuestran resultados diferentes sobre las concentraciones finales de SST.

Tabla 16*Prueba Tukey de concentraciones finales de SST*

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
Dosis 2:1	3	64.33				
Dosis 1:1	3		71.00			
Dosis 1:2	3			108.67		
Dosis 1:0	3				138.33	
Dosis 0:1	3					145.00

Interpretación: con la prueba Tukey se concluye que las concentraciones más bajas de SST se encuentran con un tratamiento cuya dosis fue 2:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo.

Figura 13*Concentraciones para tratamientos de SST***Tabla 17***Prueba ANOVA de concentraciones finales de cadmio*

	Suma de cuadrados	de gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,00063	4	0,00016	10,301	0,001
Dentro de grupos	0,00015	10	0,00002		
Total	0,00078	14			

Interpretación: con la prueba ANOVA (Sig=0.001 menor que 0.05) se concluye que los tratamientos de dosis 2:1, 1:1, 1:2, 1:0 y 0:1 de nanopulvo de óxido de hierro y membrana cerámica elaborada con residuos orgánicos en polvo demuestran resultados diferentes sobre las concentraciones finales de cadmio.

Tabla 18*Prueba Tukey de concentraciones finales de cadmio*

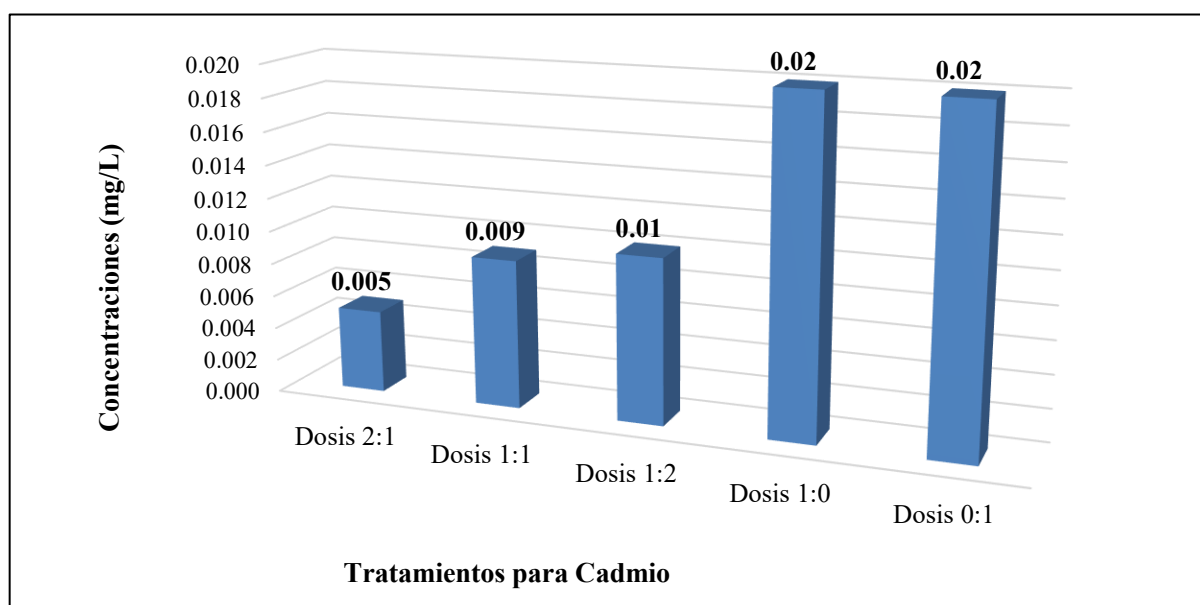
Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Dosis 2:1	3	0,004667	
Dosis 1:1	3	0,008667	0,008667

Dosis 1:2	3	0,010000	0,010000
Dosis 1:0	3	0,015667	0,015667
Dosis 0:1	3		0,023333

Interpretación: con la prueba Tukey se concluye que las concentraciones más bajas de cadmio se encuentran con un tratamiento cuya dosis fue 2:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo.

Figura 14

Concentración de tratamientos para cadmio



Obj 3: Calcular la eficiencia del Tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos.

Tabla 19

Prueba ANOVA de eficiencia del Tratamiento sobre concentraciones finales de Aceites y Grasas

	Suma de cuadrados	de gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	325,745	4	81,436	591,737	0,000
Dentro de grupos	1,376	10	0,138		
Total	327,121	14			

Interpretación: con la prueba ANOVA (Sig=0.000 menor que 0.05) se concluye que los tratamientos de dosis de 2:1, 1:1, 1:2, 1:0 y 0:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo demuestran resultados diferentes sobre la eficiencia para disminuir las concentraciones finales de Aceites y Grasas.

Tabla 20

Prueba Tukey para comparar la eficiencia del tratamiento para Aceites y Grasas

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
Dosis 2:1	3	79.39				
Dosis 1:1	3		81.07			
Dosis 1:2	3			84.97		
Dosis 1:0	3				90.04	
Dosis 0:1	3					91.06

Interpretación: con la prueba Tukey se concluye que la eficiencia para el tratamiento de aceites y grasas es mayor con un tratamiento cuya dosis fue 2:1 de nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo.

Figura 15

Eficiencia para tratamiento de aceites y grasas

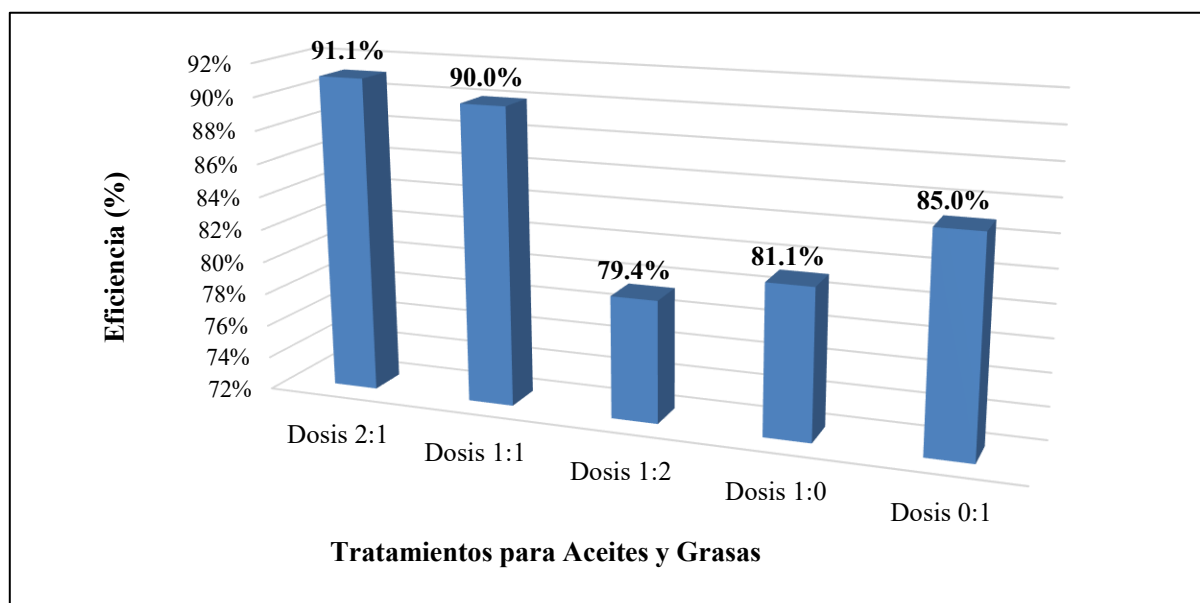


Tabla 21

Prueba ANOVA de eficiencia del Tratamiento sobre concentraciones finales de Turbidez

	Suma de cuadrados	de gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	305,328	4	76,332	2044,478	0,000
Dentro de grupos	0,373	10	0,037		
Total	305,701	14			

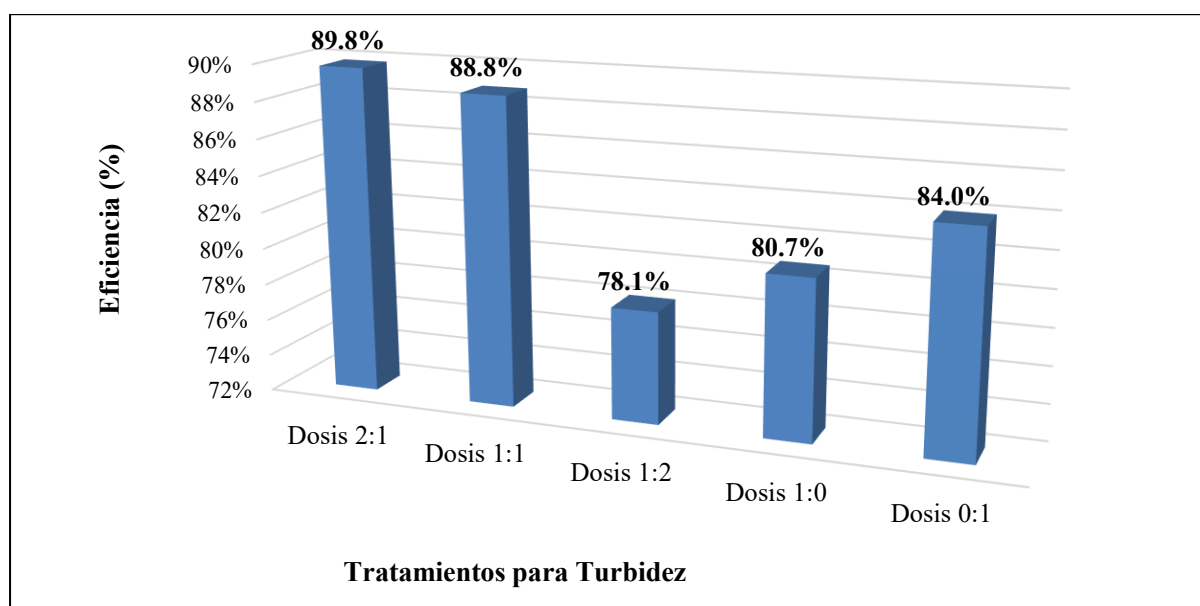
Interpretación: con la prueba ANOVA (Sig=0.000 menor que 0.05) se concluye que los tratamientos de dosis de 2:1, 1:1, 1:2, 1:0 y 0:1 de nanopulvo de óxido de hierro y membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo demuestran resultados diferentes sobre la eficiencia para disminuir las concentraciones finales de turbidez.

Tabla 22

Prueba Tukey para comparar la eficiencia del tratamiento para turbidez

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
Dosis 2:1	3	78.12				
Dosis 1:1	3		80.73			
Dosis 1:2	3			83.96		
Dosis 1:0	3				88.79	
Dosis 0:1	3					89.83

Interpretación: con la prueba Tukey se concluye que la eficiencia para el tratamiento de la turbidez es mayor con un tratamiento cuya dosis fue 2:1 de nanopulvo de óxido de hierro y membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo.

Figura 16*Eficiencia para tratamiento de turbidez***Tabla 23***Prueba ANOVA de eficiencia del Tratamiento sobre concentraciones finales de SST*

	Suma de cuadrados	de gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	351,712	4	87,928	2964,238	0,000
Dentro de grupos	0,297	10	0,030		
Total	352,009	14			

Interpretación: con la prueba ANOVA (Sig=0.000 menor que 0.05) se concluye que los tratamientos de dosis 2:1, 1:1, 1:2, 1:0 y 0:1 de nanopulvo de óxido de hierro y membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo demuestran resultados diferentes sobre la eficiencia para disminuir las concentraciones finales de SST.

Tabla 24*Prueba Tukey para comparar la eficiencia del tratamiento para SST*

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05				
		1	2	3	4	5
Dosis 2:1	3	78.89				

Dosis 1:1	3	79.86		
Dosis 1:2	3		84.18	
Dosis 1:0	3			89.67
Dosis 0:1	3			90.64

Interpretación: con la prueba Tukey se concluye que la eficiencia para el tratamiento de la SST es mayor con un tratamiento cuya dosis fue 2:1 de nanopulvo de óxido de hierro y membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo.

Figura 17

Eficiencia por tratamiento para SST

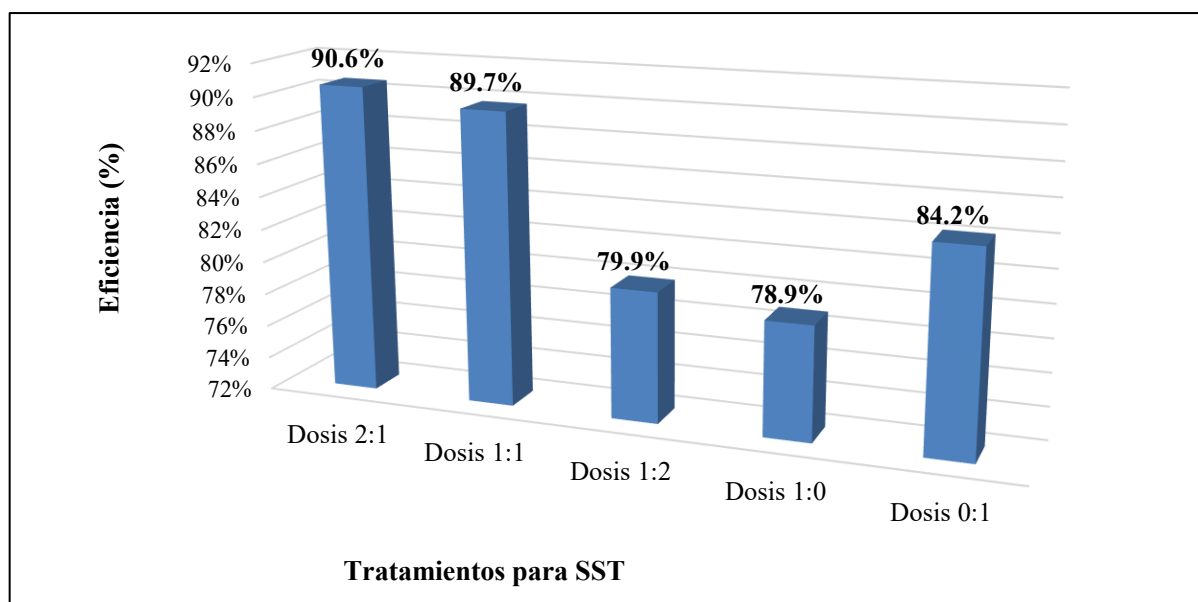


Tabla 25

Prueba ANOVA de eficiencia del Tratamiento sobre concentraciones finales de cadmio

	Suma de cuadrados	de gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	6989,728	4	1747,432	10,301	0,001
Dentro de grupos	1696,315	10	169,631		
Total	8686,043	14			

Interpretación: con la prueba ANOVA (Sig=0.001 menor que 0.05) se concluye que los tratamientos de dosis 2:1, 1:1, 1:2, 1:0 y 0:1 de nanopulvo de óxido de hierro y membrana

cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo demuestran resultados diferentes sobre la eficiencia para disminuir las concentraciones finales de cadmio.

Tabla 26

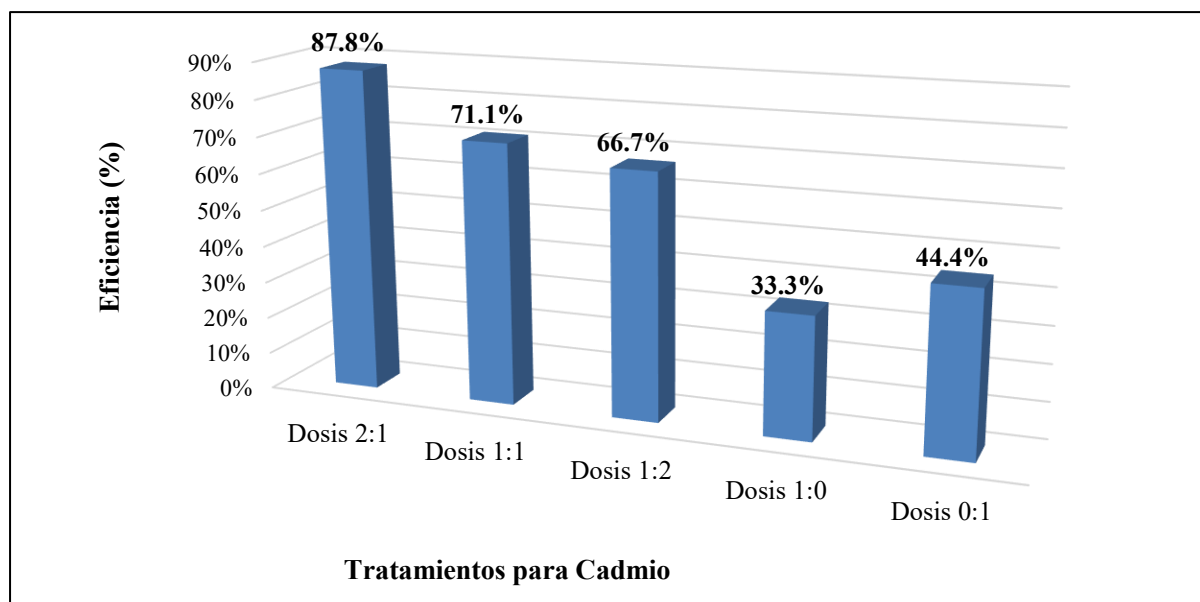
Prueba Tukey para comparar la eficiencia del tratamiento para cadmio

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
Dosis 2:1	3	22.22		
Dosis 1:1	3	47.78	47.78	
Dosis 1:2	3		66.67	66.67
Dosis 1:0	3		71.11	71.11
Dosis 0:1	3			84.44

Interpretación: con la prueba Tukey se concluye que la eficiencia para el tratamiento del cadmio es mayor con un tratamiento cuya dosis fue 2:1 de nanopulvo de óxido de hierro y membrana cerámicas elaborada con residuos orgánicos en polvo.

Figura 18

Eficiencia por tratamiento para cadmio



V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Respecto al objetivo de estudio; el grado de eficiencia del tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos es del 91.1% para AyG, 89.8% para turbidez, 90.6% para Sólidos suspendidos totales y 87.8% para cadmio, mediante una proporción, con el primer tratamiento (2:1). Los estudios de Shiwa et al. (2024), Gao et al. (2023) y Esmaili et al. (2023), estudiaron las membranas de cerámica obteniendo una eficiencia de sobrepasa el 80%, con remociones de 99% para DQO, 95.6% para metales pesados, 99% para el carbono orgánico total (TOC).

De acuerdo al primer objetivo específico, sobre determinar la concentración inicial de contaminantes en las aguas residuales aceitosas: en promedio la concentración inicial de Aceites y Grasas fue de 101.1 mg/l, el promedio de la turbidez fue de 248.2 NTU, el promedio de SST fue de 687 mg/l y para cadmio se presentó un promedio de 0.03 mg/l.

Así también Bolívar et al. (2021), presentó una concentración inicial de 263 NTU para la turbiedad en estas aguas residuales.

Sin embargo, en el estudio de Rodríguez et al. (2022), para realizar el tratamiento de aguas residuales aceitosas de producción de aceite de palma (*E. guineensis*) usada para las pruebas de jarras se presentaron concentraciones iniciales de 13395 NTU para la turbidez, 48000 mg/l⁻¹ para DQO, 13420 mg/l⁻¹ para SST y 12078 mg/l⁻¹ para SSV.

Así también Chambilla et al. (2024), realizaron una caracterización de los parámetros iniciales del agua residual oleosa doméstica de un restaurante respecto a los valores máximos admisibles (VMA), encontrando que no se cumplía con los VMA en 4 parámetros, ya que, los SST registraron 732 mg/l, cuando debería tener valores por debajo de los 500 mg/l, las grasas

y aceites presentaron valores de 148 mg/l cuando el máximo permitido es de 100 mg/l y en la DBO y DQO también se superaron los valores.

Dando respuesta al segundo objetivo específico sobre determinar las especificaciones óptimas de tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos:

La mayor reducción se genera con una dosis de 2:1, es decir 10 gramos de nanopolvo de óxido de hierro y 5 gramos de membrana cerámicas, además, se pudo encontrar que la menor eficiencia de remoción se da a una dosis de 1:2.

Con una dosis 2:1; es decir 10 gramos de nanopolvo de óxido de hierro y 5 gramos de membrana cerámicas el primer tratamiento permite una reducción de los contaminantes significativamente buena, reduciendo hasta promedios de 9.1 mg/l en AyG, 25.2 NTU en turbiedad, 64 mg/l en SST y 0.001 mg/l en cadmio, con respecto a sus valores iniciales.

Con una relación de dosis de 1:1, es decir 5 gramos nanopolvo de óxido de hierro y 5 gramos de membrana cerámicas se genera una reducción de los contaminantes ligeramente buena, reduciendo hasta promedios de 10.1 mg/l en AyG, 27.8 NTU en turbiedad, 71 mg/l en SST y 0.009 mg/l en cadmio, con respecto a sus valores iniciales.

Ettlinger et al. (2023), señala que un factor crucial para el tratamiento es la proporción de la dosis, siendo contrario al estudio que la dosis en proporción de 10:0 es más efectiva logrando conseguir mayor remoción que las proporciones de 5:5 y 0:10.

Con una relación de dosis de 1:2, es decir 5 gramos nanopolvo de óxido de hierro y 10 gramos de membrana cerámicas se genera una reducción mayor de 20.8 mg/l en AyG, 54.3 NTU en turbiedad, 138 mg/l en SST y 0.01 mg/l en cadmio, con respecto a sus valores iniciales.

Con una relación de dosis de 1:0, es decir 5 gramos nanopolvo de óxido de hierro y 0 gramos de membrana cerámicas se permite una reducción de 19.1 mg/l en AyG, 47.8 NTU en turbiedad, 145 mg/l en SST y 0.01 mg/l en cadmio, con respecto a sus valores iniciales.

Con una relación de dosis de 0:1 es decir 0 gramos nanopolvo de óxido de hierro y 5 gramos de membrana cerámicas, se genera una reducción de los contaminantes de 15.2 mg/l en AyG, 39.8 NTU en turbiedad, 109 mg/l en SST y 0.02 mg/l en cadmio, con respecto a sus valores iniciales.

Así también, apoyando al estudio Atallah et al. (2024) logró conseguir eliminación mayor al 90% en proporción de 1:2, pero además, señala que la utilización de óxidos de metales y membranas de cerámica para el tratamiento de aguas residuales aceitosas puede ser aplicado mediante electrocoagulación (EC) o combinación de EC con microfiltración (MF) y ultrafiltración (UF), encontrándose que la EC elimina más del 95% de los metales pesados, mientras que las membranas cerámicas rechazan el 100% de los sólidos suspendidos utilizando el doble de membrana (1:2). Se logró la eliminación de metales pesados (Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Ti y Zn). Reducción de la turbidez a 0,05-0,15 NTU y logró el cumplimiento con regulaciones ambientales.

Sin embargo, el resultado del presente estudio discrepa con los resultados presentados por Jiang et al. (2023), donde en su estudio utiliza una dosis de 1:1 de óxidos de metales y membranas de cerámica logrando el tratamiento de purificación de aguas residuales industriales aceitosas exitosamente.

En el caso de Liangdy et al. (2024), la membrana cerámica catalítica (CCM) impregnada con Fe_3O_4 es una innovación prometedora para la protección del medio ambiente y la salud pública. Pero Shiwa et al., (2024), señala que la incorporación de escoria de fósforo (PS) y escoria de alto horno (BFS) en el cuerpo de la membrana de mullita-zeolita mejoró

significativamente su rendimiento, logrando la eliminación del 99% de la demanda química de oxígeno (DQO) en aguas residuales aceitosas.

Pero además Zhong et al. (2021), señalan otro parámetro que es esencial para el tratamiento de aguas residuales aceitosas; señalando que la eficiencia de reducción incrementa en condiciones alcalinas; logrando así conseguir una separación eficiente no solo de emulsiones oleosas sintéticas, sino también de aguas residuales reales. Siendo ello diferente al pH del utilizado en el presente estudio, utilizando para todos los tratamientos un pH ácido (3).

Con respecto al tiempo, Gao et al. (2023), también encontraron una eficiencia excepcional en la eliminación alcanzando una tasa de degradación del 95,6% en solo 20 minutos lo que es similar al tiempo utilizado en el presente estudio, al emplear un tiempo de 15 minutos para todos los casos.

Dando respuesta al tercer objetivo específico, sobre calcular la eficiencia del tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos:

El tratamiento 1 con una relación de dosis 1:2 presentó mayor porcentaje de remoción de 91.1% en aceites y grasas, 89.8% en turbidez, 90.6% en SST y 87.8% en cadmio en comparación con los demás tratamientos.

Es así que pudo determinar que el tratamiento más eficiente del contaminante AyG fue el tratamiento 1 con relación de dosis 2:1 llegando hasta un valor de 9.1 mg/l en referencia al valor inicial de 101.1 mg/l, para el parámetro turbiedad fue el tratamiento 1 con relación de dosis 2:1 llegando hasta un valor de 25.2 NTU en referencia al valor inicial de 248.2 NTU, para el parámetro Solidos Suspendidos Totales fue el tratamiento 1 con relación de dosis 2:1, llegando hasta un valor de 64 mg/l en referencia al valor inicial de 687 mg/l y por último para

el tratamiento más eficiente en la disminución del parámetro Cadmio fue el tratamiento 1 con relación de dosis 2:1, llegando hasta un valor de 0.001 mg/l en referencia al valor inicial de 0.03 mg/l.

Así también el estudio de Jiang et al. (2023), se presenta resultados prometedores; elaborando un material innovador sostenible con desechos sólidos logrando conseguir eficiencias de remoción de hasta 99.9 en la purificación de aguas residuales aceitosas de emulsión de hasta 97 y aguas residuales de rojo de alizarina de 99.3%.

Así también, Esmaili et al. (2023), encontraron una eficiencia de eliminación de TOC de más del 99% utilizando membranas de cerámica modificada.

Pero además Zhong et al. (2021), utiliza también en su estudio óxidos de metales y cerámica de membranas, logrando conseguir en las condiciones ideales una separación eficiente no solo de emulsiones oleosas sintéticas, sino también de aguas residuales reales.

Por su parte Li et al. (2021), aplicaron desarrollaron membranas cerámicas catalíticas (CCM) recubiertas con óxidos de Mg, Ce y Mn, en los cuales la ozonización catalítica con CCM fue más eficaz que la ozonización no catalítica para la degradación y eliminación de contaminantes orgánicos. Donde, la eficiencia de eliminación de materia orgánica aumentó de un 30% a más del 80%.

VI. CONCLUSIONES

- El grado de eficiencia del tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos fue considerable (Sig=0.000 siendo menor que 0.05), siendo el tratamiento 1 (2:1) el más eficiente, lográndose una remoción máxima de uno de los contaminantes en 91.1% y una remoción mínima en 89.8% en otro de los 4 contaminantes.
- Las concentraciones iniciales antes de aplicar los tratamientos son 101.1mg/l para AyG, 248.2 NTU para turbidez, 687 mg/l para SST y 0.03 mg/l para cadmio. Mediante la desviación estándar de 2.9 mg/l y un intervalo de confianza de 95%.
- Teniendo en consideración que se estudiaron las concentraciones de dosis en proporciones de 2:1, 1:1, 1:2, 1:0 y 0:1 para nanopolvo de óxido de hierro y membrana cerámicas, se encontró que la proporción 2:1 es decir 10 gramos de nanopolvo de óxido de hierro y 5 gramos de membrana cerámicas, logró la mayor reducción, logrando una reducción final de 9.1 mg/l en AyG, 25.2 NTU en turbiedad, 64 mg/l en SST y 0.001 mg/l en cadmio, con respecto a sus valores iniciales.
- La mayor eficiencia de remoción fue de 91.1% en aceites y grasas, 89.8% en turbidez, 90.6% en SST y 87.8% en cadmio en comparación con los demás tratamientos, con una relación de dosis 2:1.

VII. RECOMENDACIONES

- En base a los resultados obtenidos y las discusiones realizadas con los antecedentes más relevantes se puede recomendar analizar el grado de eficiencia del tratamiento de aguas residuales aceitosas con óxidos de metales y membranas de cerámica con residuos orgánicos, nivel de laboratorio, 2024.
- Se recomienda también realizar una comparación de la eficiencia de diferentes tipos de óxidos de metales como el zinc para determinar su capacidad de remoción con las condiciones ideales encontradas en el estudio.
- Se puede estudiar la viabilidad de las membranas de cerámica, para determinar después de su aplicación en tiempos largos cuanto es la resistencia de la membrana y así ver si es factible para el uso a escala industrial.
- Por último se recomienda estudiar los parámetros de operación de Temperatura, pH, tiempo y velocidad.

VIII. REFERENCIAS

- Abuhasel, K., Kchaou, M., Alquraish, M., Munusamy, Y., & Jeng, Y. T. (2021). Oily wastewater treatment: Overview of conventional and modern methods, challenges, and future opportunities. *Water*, 13(7), 980. <https://doi.org/10.3390/w13070980>
- Adetunji, A. I., & Olaniran, A. O. (2021). Treatment of industrial oily wastewater by advanced technologies: a review. *Applied Water Science*, 11(6), 98. <https://doi.org/10.1007/s13201-021-01430-4>
- Afzal, S., Quan, X., & Lu, S. (2019). Catalytic performance and an insight into the mechanism of CeO₂ nanocrystals with different exposed facets in catalytic ozonation of p-nitrophenol. *Applied Catalysis B: Environmental*, 248, 526-537. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2019.02.010>
- Ahn, C., Cavalleri, A., Georges, A., Ismail-Beigi, S., Millis, A. J., & Triscone, J. M. (2021). Designing and controlling the properties of transition metal oxide quantum materials. *Nature materials*, 20(11), 1462-1468. <https://doi.org/10.1038/s41563-021-00989-2>
- Ahmed, W., Mehmood, S., Sidik, N. A. C., & Sagadevan, S. (2022). Metal oxide-based LED and LASER: Theoretical concepts, conventional devices, and LED based on quantum dots. In *Metal Oxides for Optoelectronics and Optics-Based Medical Applications* (pp. 97-115). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85824-3.00007-5>
- Andrew, T., Hunter, P., De Keukelaere, L., Ogashawara, I. & Spyrakos, E. (2022). Remote Sensing of Inland Water Quality. *Encyclopedia of Inland Waters* (2nd Ed.). 570-584. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819166-8.00213-9>

- Ang, W. J., Teow, Y. H., Chang, Z. H., Mohammad, A. W., & Wan, T. W. (2024). Innovative ceramic membrane plate filtration system for sustainable semiconductor industry wastewater treatment: A pilot scale study. *Chemical Engineering Journal*, 496, 153767. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.153767>
- Aouadja, F., Bouzerara, F., Guvenc, C. M., & Demir, M. M. (2022). Fabrication and properties of novel porous ceramic membrane supports from the (Sig) diatomite and alumina mixtures. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 61(5), 531-540. <https://doi.org/10.1016/j.bsecv.2021.04.002>
- Atallah, C., Mosadeghsedghi, S., Kenari, S. L. D., Hudder, M., Morin, L., Volchek, K., ... & Salah, I. B. (2024). Removal of heavy metals from mine water using a hybrid electrocoagulation-ceramic membrane filtration process. *Desalination and Water Treatment*, 320, 100730. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100730>
- Bolívar-Cuartas, S. M., Castaño-Muñoz, D. L., & Gutiérrez-Flórez, O. D. (2021). Modelo Correlacionai de Sólidos Suspendidos Totales Presentes en Aguas Residuales Domésticas Mediante Análisis de Turbiedad. *Producción+ Limpia*, 16(1), 186-197. <https://doi.org/10.22507/pml.v16n1a10>
- Bozorg-Haddad, O., Delpasand, M., & Loáiciga, H. A. (2021). Water quality, hygiene, and health. In *Economical, political, and social issues in water resources* (pp. 217-257). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90567-1.00008-5>
- Castro Maldonado, J. J., Gómez Macho, L. K., & Camargo Casallas, E. (2023). La investigación aplicada y el desarrollo experimental en el fortalecimiento de las competencias de la sociedad del siglo XXI. *Tecnura*, 27(75), 140-174. <https://doi.org/10.14483/22487638.19171>

- Chambilla, M. S. M., Mamani, E. D. E., & Sicha, P. S. C. (2024). Remoción de aceites y grasas en aguas residuales de restaurantes mediante carbón activado de residuos olivícolas. *Scienceevolution*, 4(12), 123-132. ISSN: 2810-8728
- Chen, M., Heijman, S. G., & Rietveld, L. C. (2024). Ceramic membrane filtration for oily wastewater treatment: Basics, membrane fouling and fouling control. *Desalination*, 117727. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2024.117727>
- Collin, T., Cunningham, R., MacAdam, J., Villa, R., Jefferson, B., & Jeffrey, P. (2023). Towards a risk ranking for improved management of discharges of fats, oils, and greases (FOG) from food outlets. *H2Open Journal*, 6(1), 29-39. <https://doi.org/10.2166/h2oj.2023.056>
- Dadvar, E., & Heidari, A. (2018). A Review on Separation Techniques of Graphene Oxide (GO)/Base on Hybrid Polymer Membranes for Eradication of Dyes and Oil Compounds: Recent Progress in Graphene Oxide (GO)/Base on Polymer Membranes–Related Nanotechnologies. *Clin Med Rev Case Rep*, 5(8), 228-247. <https://doi.org/10.23937/2378-3656/1410228>
- Daily. (2020). *Yangtze River pollution a major concern*.
- Del Castillo, A. F., Garibay, M. V., Senés-Guerrero, C., Orozco-Nunnelly, D. A., de Anda, J., & Gradilla-Hernández, M. S. (2022). A review of the sustainability of anaerobic reactors combined with constructed wetlands for decentralized wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 371, 133428. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133428>
- Delekar, S. D. (Ed.). (2022). *Advances in metal oxides and their composites for emerging applications*. Elsevier. <https://books.google.com.pe/books?id=C8BZEAAAQBAJ&lpg=PP1&ots=UBCp9VMk->

[T&dq=Delekar%2C%20S.%20D.%20\(Ed.\).%20\(2022\).%20Advances%20in%20metal%20oxides%20and%20their%20composites%20for%20emerging%20applications.%20Elsevier.&lr&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=Delekar,%20S.%20D.%20\(Ed.\).%20\(2022\).%20Advances%20in%20metal%20oxides%20and%20their%20composites%20for%20emerging%20applications.%20Elsevier.&f=false](https://doi.org/10.1016/j.memsci.2023.122147)

Esmaili, Z., Sadeghian, Z., & Ashrafizadeh, S. N. (2023). Anti-fouling and self-cleaning ability of BiVO₄/rGO and BiVO₄/g-C₃N₄ visible light-driven photocatalysts modified ceramic membrane in high performance ultrafiltration of oily wastewater. *Journal of Membrane Science*, 688, 122147. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2023.122147>

Ettliger, R., Vornholt, S. M., Roach, M. C., Tuttle, R. R., Thai, J., Kothari, M., ... & Morris, R. E. (2023). Mixed metal–organic framework mixed-matrix membranes: insights into simultaneous moisture-triggered and catalytic delivery of nitric oxide using cryo-scanning electron microscopy. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 15(42), 49835-49842. <https://doi.org/10.1021/acsami.3c11283>

Fan, C., Ding, C., Wang, X., Xue, S., Chang, R., & Long, H. (2024). A novel resource recovery strategy: Substituting carbon powder with organic solid waste in the production of zinc-bearing dust sludge metallization pellets. *Powder Technology*, 120328. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2024.120328>

Fooladi, I., Ghanbarizadeh, P., Azari, A., Abbasi, M., Karami, R., & Akrami, M. (2024). Titania and zirconia ceramic nanofiltration membrane fabrication by coating method on mullite and mullite-alumina microfiltration supports for industrial wastewater treatment. *Arabian Journal of Chemistry*, 17(10), 105973. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2024.105973>

- Galarza, C. A. R. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 10(1), 1-7. <http://orcid.org/0000-0001-5614-1994>
- Gao, N., Wang, L., Hu, X., & Liu, H. (2023). Mussel-inspired in-situ metallization of nano-Ag on ceramic membrane for catalytic degradation of dye wastewater. *Journal of Alloys and Compounds*, 955, 170191. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2023.170191>
- Galdino Jr, C. J. S., Maia, A. D., Meira, H. M., Souza, T. C., Amorim, J. D., Almeida, F. C., ... & Sarubbo, L. A. (2020). Use of a bacterial cellulose filter for the removal of oil from wastewater. *Process Biochemistry*, 91, 288-296. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.12.020>
- Greenpeace. (2019). *Contaminación petrolera en la Amazonia brasileña*.
- Gross, M. A., Jensen, J. L., Gracz, H. S., Dancer, J., & Keener, K. M. (2017). Evaluation of physical and chemical properties and their interactions in fat, oil, and grease (FOG) deposits. *Water research*, 123, 173-182. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.072>
- Guo, Y., Zhang, Y., Yu, G., & Wang, Y. (2021). Revisiting the role of reactive oxygen species for pollutant abatement during catalytic ozonation: The probe approach versus the scavenger approach. *Applied Catalysis B: Environmental*, 280, 119418. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2020.119418>
- Habibi-Yangjeh, A., & Pournemati, K. (2024). A review on emerging homojunction photocatalysts with impressive performances for wastewater detoxification. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 54(4), 290-320. <https://doi.org/10.1080/10643389.2023.2239125>

Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. (2020). Informe sobre la calidad del agua en México. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/46649377/reporte_mexico_volIII-libre.pdf?1466438857=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DReporte_Mexicano_de_Cambio_Climatico_Emi.pdf&Expires=1774024559&Signature=YUOV-eifjUjxmamzSf9TDUEqmlgf2M0HhSziJTsnAaALkQKD3cJR4VObMrd6NvSyqZkQIUhqHsFdsKe0tVG~bY3~e8e61KTuaKdreUZiU63jIhRlyyUzYk0Wnk~zz8VuERLyy-dTkwbIKVNeOy2EOiuFOneyWigSJ7DXSfbDFhCIH8Um2IkVeD4A~pxTfPB2QQ7YVu3vkxhIv1JBME9Git-dP~5TYUhwJ3nlIMUU0BiwT~j3YUvr4erXY9rEyZbhHDvzS1Kf8dHIxIcUX4yFWYLyLdXy~ov2elfR1Gt4thP56iLr5xVgye0LBKzCVyYZ7zetCEBaTBw6eLFPeHHg_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=44

Jiang, D., Gao, C., Liu, L., Yu, T., Li, Y., & Wang, H. (2023). Customized copper/cobalt-rich ferrite spinel-based construction ceramic membrane incorporating gold tailings for enhanced treatment of industrial oily emulsion wastewater. *Separation and Purification Technology*, 320, 124131. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.124131>

Junaidi, N. F. D., Othman, N. H., Fuzil, N. S., Shayuti, M. S. M., Alias, N. H., Shahrudin, M. Z., ... & Aba, N. D. (2021). Recent development of graphene oxide-based membranes for oil–water separation: A review. *Separation and Purification Technology*, 258, 118000. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.118000>

Khader, E. H., Mohammed, T. J., Albayati, T. M., Harharah, H. N., Amari, A., Saady, N. M. C., & Zendejboudi, S. (2023). Current trends for wastewater treatment technologies with typical configurations of photocatalytic membrane reactor hybrid systems: A

- review. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 109503.
<https://doi.org/10.1016/j.cep.2023.109503>
- Kumar, V., Ayoub, I., Sharma, V., & Swart, H. C. (Eds.). (2023). *Optical Properties of Metal Oxide Nanostructures*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-981-99-5640-1>
- Li, P., Miao, R., Wang, P., Sun, F., & Li, X. Y. (2021). Bi-metal oxide-modified flat-sheet ceramic membranes for catalytic ozonation of organic pollutants in wastewater treatment. *Chemical Engineering Journal*, 426, 131263.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.131263>
- Liangdy, A., Tonanon, P., Webster, R. D., Snyder, S. A., & Lim, T. T. (2024). Versatile Fe₃O₄-impregnated catalytic ceramic membrane for effective atrazine removal: Confined catalytic oxidation processes, reactive oxygen species selectivity and performance in real wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(3), 112727.
<https://doi.org/10.1016/j.jece.2024.112727>
- Liu, J., Yang, H., Gosling, S. N., Kummu, M., Flörke, M., Pfister, S., ... & Oki, T. (2017). Water scarcity assessments in the past, present, and future. *Earth's future*, 5(6), 545-559.
<https://doi.org/10.1002/2016EF000518>
- Liu, J., Yang, Y., & Zheng, X. (2022). The fundamentals of metal oxides for electrocatalytic water splitting. In *Metal Oxides and Related Solids for Electrocatalytic Water Splitting* (pp. 25-60). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85735-2.00008-3>
- Mahat, S. B., Omar, R., Man, H. C., Idris, A. I. M., Kamal, S. M. M., Idris, A., & Anuar, N. K. (2020). Influence of substrate to inoculum ratio (S/I) on the treatment performance of food processing wastewater containing high oil and grease (O&G) in batch

- mode. *Desalination and Water Treatment*, 203, 267-278.
<https://doi.org/10.5004/dwt.2020.26231>
- Masroor, S. (2022). Basics of metal oxides: properties and applications. *Inorganic Anticorrosive Materials*, 85-94. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90410-0.00005-2>
- Medeiros, A. D. L. M. D., Silva Junior, C. J. G. D., Amorim, J. D. P. D., Durval, I. J. B., Costa, A. F. D. S., & Sarubbo, L. A. (2022). Oily wastewater treatment: methods, challenges, and trends. *Processes*, 10(4), 743. <https://doi.org/10.3390/pr10040743>
- Mehring, M. (2017). Metal oxido clusters of group 13–15 elements. *Clusters–Contemporary Insight in Structure and Bonding*, 201-268. https://doi.org/10.1007/430_2016_4
- Millar, G. J., Couperthwaite, S. J., & Moodliar, C. D. (2016). Strategies for the management and treatment of coal seam gas associated water. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 669-691. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.087>
- Pi, P., Ren, Z., Yang, Y., Chen, W., & Lin, Y. (2024). A review of various dimensional superwetting materials for oil–water separation. *Nanoscale*. DOI <https://doi.org/10.1039/D4NR01473A>
- Rahi, M. N., Jaeel, A. J., & Abbas, A. J. (2021, February). Treatment of petroleum refinery effluents and wastewater in Iraq: A mini review. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1058, No. 1, p. 012072). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1058/1/012072>
- Rocha e Silva, F. C. P., Rocha e Silva, N. M. P., Luna, J. M., Rufino, R. D., Santos, V. A., & Sarubbo, L. A. (2018). Dissolved air flotation combined to biosurfactants: a clean and

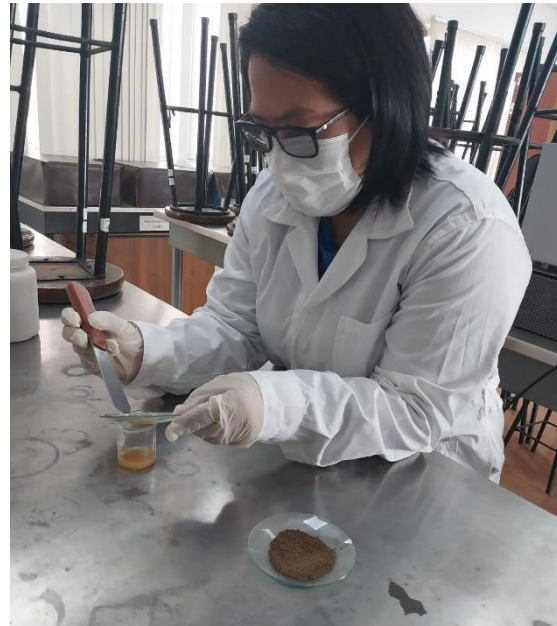
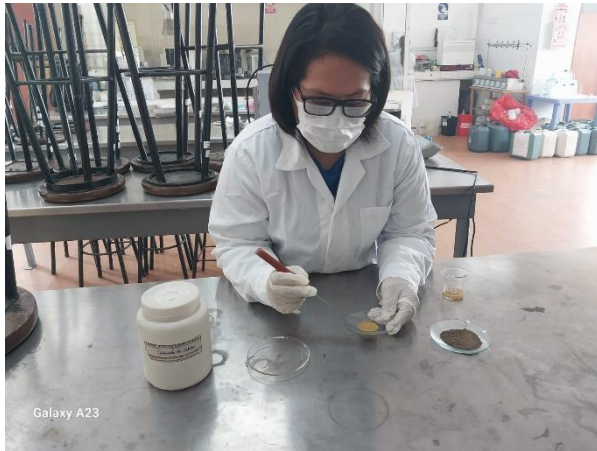
- efficient alternative to treat industrial oily water. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 17, 591-602. <https://doi.org/10.1007/s11157-018-9477-y>
- Rodríguez-Jiménez, D., Rodríguez-Díaz, Y. & Burbano-Erazo, E. (2022). Quitosano aplicado en el tratamiento del agua residual de la producción de aceite de palma. *Agron. Mesoam*, 2022. <http://dx.doi.org/10.15517/am.v33i1.44288>
- Samuel, O., Othman, M. H. D., Kamaludin, R., Kurniawan, T. A., Li, T., Dzinun, H., & Imtiaz, A. (2022). Treatment of oily wastewater using photocatalytic membrane reactors: a critical review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(6), 108539. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108539>
- Samuel, O., Othman, M. H. D., Kamaludin, R., Sinsamphanh, O., Abdullah, H., Puteh, M. H., ... & Mamah, S. C. (2022). Oilfield-produced water treatment using conventional and membrane-based technologies for beneficial reuse: A critical review. *Journal of Environmental Management*, 308, 114556. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114556>
- Sánchez Flores, F. A. (2019). Fundamentos epistémicos de la investigación cualitativa y cuantitativa: Consensos y disensos. *Revista digital de investigación en docencia universitaria*, 13(1), 102-122. <https://doi.org/10.19083/ridu.2019.644>
- Sanghamitra, P., Mazumder, D., & Mukherjee, S. (2021). Treatment of wastewater containing oil and grease by biological method-a review. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 56(4), 394-412. <https://doi.org/10.1080/10934529.2021.1884468>
- Sawunyama, L., Oyewo, O. A., Seheri, N., Onjefu, S. A., & Onwudiwe, D. C. (2023). Metal oxide functionalized ceramic membranes for the removal of pharmaceuticals in

- wastewater. *Surfaces and Interfaces*, 38, 102787.
<https://doi.org/10.1016/j.surfin.2023.102787>
- Shahid, A., Khan, A. Z., Malik, S., Liu, C. G., Mehmood, M. A., Syafiuddin, A., ... & Boopathy, R. (2021). Advances in green technologies for the removal of effluent organic matter from the urban wastewater. *Current Pollution Reports*, 1-13.
<https://doi.org/10.1007/s40726-021-00203-6>
- Shi, L., Yang, T., Yuan, J., Zhou, Q., Xu, Z., Xu, Y., ... & Bei, K. (2024). Performance evaluation and microbial community analysis of a continuous stirred tank reactor–anaerobic ceramic membrane bioreactor system for practical swine wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 66, 105969. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.105969>
- Shiwa, S., Khosravi, A., Abbasi, M., Mohammadi, F., & Sillanpää, M. (2024). Fabrication and characterization of ceramic tubular composite membranes using slag waste materials for oily wastewater treatment. *Journal of Environmental Management*, 367, 122065.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.122065>
- Solé-Bundó, M., Garfí, M., & Ferrer, I. (2020). Pretreatment and co-digestion of microalgae, sludge and fat oil and grease (FOG) from microalgae-based wastewater treatment plants. *Bioresource technology*, 298, 122563.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122563>
- Sultana, N., Roddick, F. A., & Pramanik, B. K. (2024). Fat, oil and grease wastewater and dishwashers: Uncovering the link to FOG deposition. *Science of the Total Environment*, 907, 168032. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168032>
- Tzanakakis, V. A., Paranychianakis, N. V., & Angelakis, A. N. (2020). Water supply and water scarcity. *Water*, 12(9), 2347. <https://doi.org/10.3390/w12092347>

- Wang, J., & Chen, H. (2020). Catalytic ozonation for water and wastewater treatment: Recent advances and perspective. *Science of the Total Environment*, 704, 135249. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135249>
- Wu, Y., Qin, S., Gao, X., & Zhao, L. (2024). NH₄Cl recovery from high-ammonia organic waste liquor by electrolysis with aluminum soluble anode. *Desalination and Water Treatment*, 320, 100694. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100694>
- Xiang, B., Liu, Q., Yan, W., Wei, Y., Mu, P., & Li, J. (2023). Advances in special wettable materials for adsorption separation of high-viscosity crude oil/water mixtures. *Chemical Communications*, 59(49), 7559-7578. <https://doi.org/10.1039/D3CC00984J>
- Xu, M., Wang, Q., Wang, X., Chen, E., Sun, H., Li, Y., & Sun, X. (2024). Sustainable solutions: Bio-drying for organic solid waste management. *Industrial Crops and Products*, 222, 119606. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2024.119606>
- Yu, L., Han, M., & He, F. (2017). A review of treating oily wastewater. *Arabian journal of chemistry*, 10, S1913-S1922. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.07.020>
- Zhou, L., Zhang, S., Li, Z., Liang, X., Zhang, Z., Liu, R., & Yun, J. (2020). Efficient degradation of phenol in aqueous solution by catalytic ozonation over MgO/AC. *Journal of Water Process Engineering*, 36, 101168. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101168>
- Zhong, L., Sun, C., Yang, F., & Dong, Y. (2021). Superhydrophilic spinel ceramic membranes for oily emulsion wastewater treatment. *Journal of Water Process Engineering*, 42, 102161. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102161>

IX. ANEXOS

Anexo A. Fotos de laboratorio



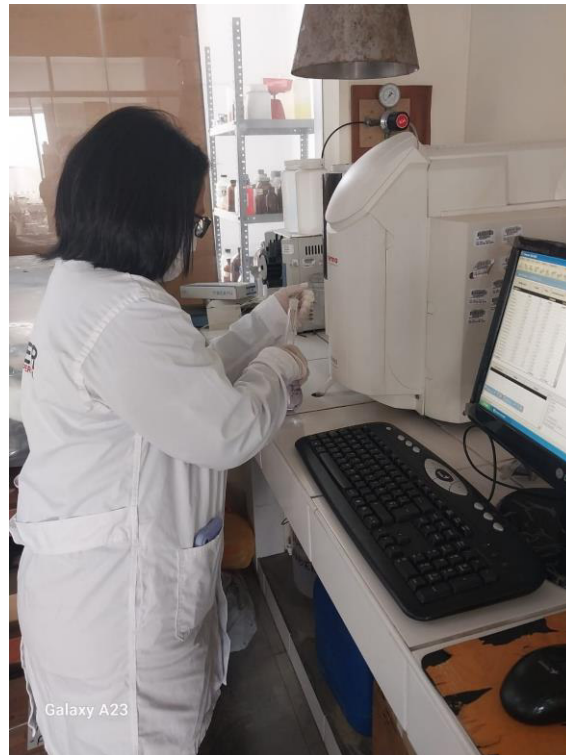
Preparación del óxido metálico a partir de viruta y preparación de las membranas cerámicas con residuos orgánicos y carbonato de calcio.



Tratamiento del agua residual, la cual se muestró del agua desechada del lavado de utensilios de cocina recolectada durante 5 días. Tratamiento en el floculador programable.





Toma de muestras en frascos pequeños rotulados para su posterior análisis.



Análisis de datos en el formato de recolección de datos de laboratorio especificando el N° de jarras, la dosis utilizada, relación de dosis, velocidad, tiempo, volumen.

Anexo B. Ficha técnica para la recolección de los resultados de campo



	“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ACEITOSAS CON ÓXIDOS DE METALES Y MEMBRANAS DE CERÁMICA CON RESIDUOS ORGÁNICOS, NIVEL DE LABORATORIO, 2024”		
	FORMATO FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE CAMPO		

ESTACIÓN	EQUIPO			
	Multiparámetro	Potenciómetro	Conductímetro	Turbidímetro

ANÁLISIS 2	PARAMETROS FÍSICOQUÍMICOS				
	pH	Sólidos Totales Suspendedos (SST)	Aceites y Grasas	Turbiedad	Cadmio
MONITOREOS	0 -14	(mg/L)	(mg/l)	(NTU)	(mg/l)
Monitoreo 1	6.0	687	103.8	248.5	0.03
Monitoreo 2	6.0	685	98.1	247.9	0.02
Monitoreo 3	6.0	690	101.5	248.2	0.03


AHUBER OMAS VASCUEZ ARANDA
 CIP. N° 92507
 INGENIERO GEOGRAFO


Anexo C. Ficha de equipos e instrumentos a utilizar

	<p align="center">“TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES ACEITOSAS CON ÓXIDOS DE METALES Y MEMBRANAS DE CERÁMICA CON RESIDUOS ORGÁNICOS, NIVEL DE LABORATORIO, 2024”.</p>	
	FORMATO FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DE LABORATORIO	<p align="right">VERSIÓN: 01</p> <p align="right">PÁGINAS: 1 DE 1</p>

FECHA DE ANALISIS	METODO: JAR TEST			
	N° DE JARRAS	N° DE PRUEBAS	N° DE REPETICIONES	MUESTRAS TOTALES
	5	5	3	15

PRUEBA DE JARRAS-Nanopolvo de Óxido de Hierro (a) y Membrana en Polvo (b)							
	Dosis de Coagulante	Relación de Dosis de Coagulante (a:b)	Velocidad-Rápido	Tiempo de Contacto	Volumen	Velocidad-Lento	Tiempo de sedimentación
	<i>(g/l)</i>	<i>(ml)</i>	<i>(RMP)</i>	<i>(Minutos)</i>	<i>(Litros)</i>	<i>RPM</i>	<i>Minutos</i>
Jarra 1	10-5 (15 g/l)	2:1	200	60	1	50	15
Jarra 2	10-10 (20 g/l)	1:1	200	60	1	50	15
Jarra 3	5-10 (15 g/l)	1:2	200	60	1	50	15
Jarra 4	10-0 (10 g/l)	1:0	200	60	1	50	15
Jarra 5	0-10 (10 g/l)	0:1	200	60	1	50	15

Anexo D. Etiqueta

		PROTOCOLO PARA TOMA MUESTRAS			
		ETIQUETA PARA MUESTRAS DE CAMPO			
		CODIGO LAB:		VERSIÓN: 001 – 2023	
CODIGO CAMPO:		FECHA:		HORA:	
LUGAR:		PRESERVADA:	SI		
PARÁMETRO:			NO		
DEPARTAMENTO Y DISTRITO:					
MATRIZ:					
RESPONSABLE:					
SOLICITANTE:					
DIRECCION:					

