

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Remoción de materia orgánica contaminante en agua residual de la industria avícola mediante el uso de filtros biogénicos de celulosa cargados con nanopartículas de ZnO a diferentes concentraciones y tamaños de poro

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Autor:

Selomith Ithamar Pariachi Jimenez

Asesor:

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

Huancayo, 7 mayo de 2024

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Milda Amparo Cruz Huaranga, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA CONTAMINANTE EN AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA MEDIANTE EL USO DE FILTROS BIOGÉNICOS DE CELULOSA CARGADOS CON NANOPARTÍCULAS DE ZNO A DIFERENTES CONCENTRACIONES Y TAMAÑOS DE PORO”** del autor Selomith Ithamar Pariachi Jimenez tiene un índice de similitud de 16% verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima a los 7 días del mes de mayo del año 2024



Milda Amparo Cruz Huaranga

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a 07 día(s) del mes de mayo del año 2024, siendo las 8:30 horas; se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio, el (la) secretario(a): Ing. Orlando Alan

Roma Parisi y los demás miembros: Mg. Joel Hugo Fernández Rojas

Mg. Liana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez y el (la) asesor(a) Mg. Hilda Amparo

Cruz Huaranga con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado:

"Remoción de materia orgánica contaminante en agua residual de la industria aurí-
cola mediante el uso de filtros biogénicos de celulosa cargados con nanopartículas
de ZnO a diferentes con-

centraciones y tamaños de poro"

a) Selomith Ithamar Pariachi Jimenez

b) _____

c) _____

conducente a la obtención del título profesional de: _____

Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título Profesional)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Bachiller (a): Selomith Ithamar Pariachi Jimenez

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>18</u>	<u>A-</u>	<u>Muy bueno</u>	<u>sobresaliente</u>

Bachiller (b): _____

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	

Bachiller (c): _____

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Líteral	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al (a la) / a (los) (las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a



Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Bachiller (a)

Bachiller (b)

Bachiller (c)

* Esta sustentación fue realizada de manera virtual u online sincrónica conforme al Reglamento General de Grados y Títulos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de corazón a mi querida madre, Yacqueline Hortencia Jiménez Romani, que en paz descanse, quien fue mi fuente de amor, inspiración y apoyo incondicional durante toda mi educación. Este logro está dedicado a ella; su presencia y aliento constante han sido mi mayor fortaleza.

A mis hermanos, gracias por todo el apoyo en mi salud y cuidados. Los quiero mucho.

A mi mejor amigo, Angel, que me ha acompañado a lo largo de mi vida, gracias por tu cariño y existencia.

Agradezco al Ingeniero Erick Huaman, docente de la Universidad Nacional del Centro del Perú por su valiosa mentoría en nanotecnología, la cual ha sido crucial para la realización de este proyecto de investigación.

Asimismo, expreso mi gratitud a mi alma mater, la Universidad Peruana Unión, por guiarme en el camino de Dios.

ÍNDICE

RESUMEN:	6
1. INTRODUCCIÓN	7
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
2.1. <i>CARACTERIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL AVÍCOLA</i>	8
2.2. <i>CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS ZnO</i>	8
2.2.1. DISPERSIÓN DE LUZ DINÁMICA.....	8
2.2.2. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)	8
2.3. <i>CARACTERIZACIÓN DE FILTROS</i>	8
2.4. <i>EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA</i>	9
2.4.1. ENSAMBLAJE DEL MODULO	9
2.4.2. EXPERIMENTACIÓN	9
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
3.1. <i>CARACTERIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL AVICOLA</i>	10
3.2. <i>CARACTERIZACIÓN DE NPs-ZnO</i>	11
3.2.1. DLS - DIÁMETRO HIDRODINÁMICO.....	11
3.2.2. SEM- MICROSCOPIA ELECTRÓNICA.....	12
3.3. <i>CARACTERIZACIÓN DE FILTROS BIOGÉNICOS DE NITROCELULOSA</i>	12
3.4. <i>EVALUACIÓN DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA</i>	13
3.4.1. REMOCIÓN DE COT A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE NPS-ZNO	14
3.4.2. REMOCIÓN DE COT A DIFERENTES TAMAÑOS DE PORO DE FILTROS DE NITROCELULOSA.....	15
3.4.3. REMOCIÓN DE COT MULTIVARIABLE	16
4. CONCLUSIONES	18
5. REFERENCIAS	19
6. ANEXOS	21
6.1. <i>EVIDENCIA DE SUMISIÓN</i>	21
6.2. <i>INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS</i>	22

REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA CONTAMINANTE EN AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA MEDIANTE EL USO DE FILTROS BIOGÉNICOS DE CELULOSA CARGADOS CON NANOPARTÍCULAS DE ZNO A DIFERENTES CONCENTRACIONES Y TAMAÑOS DE PORO

REMOVAL OF ORGANIC MATTER CONTAMINANT IN WASTEWATER FROM THE POULTRY INDUSTRY THROUGH THE USE OF BIOGENIC CELLULOSE FILTERS LOADED WITH ZNO NANOPARTICLES AT DIFFERENT CONCENTRATIONS AND PORE SIZES

ABSTRACT:

In the poultry industry, large volumes of organic matter are generated, this has caused significant impacts on water resources. This study focused on the removal of contaminating organic matter in wastewater from the poultry industry through the use of biogenic cellulose filters loaded with ZnO nanoparticles at different concentrations and pore sizes. The Total Organic Carbon (TOC) of wastewater from the poultry industry is characterized using high temperature combustion (SPC) techniques and non-dispersive Infrared spectrometry (NDIR). The ZnO nanoparticles were characterized by Dynamic Light Scattering and Scanning Electron Microscopy. The filters were characterized with a stereoscope and a bright field optical microscope. An experimental module was designed to evaluate the removal of organic matter, carrying out 27 experiments, with a pre-post test design. The results showed an average concentration of TOC in poultry wastewater of 1023.33 mg/L, indicating a relatively high contamination. ZnO nanoparticles were characterized at concentrations of 100, 500, and 1000 ppm, and nitrocellulose biogenic filters were characterized at 0.22, 0.45, and 11 μm . The highest removal of organic matter (90.65%) was achieved with a concentration of 1000 mg/L of ZnO-NPs, a filter of 0.22 μm pore diameter and 60 minutes. In conclusion, a significant decrease in the TOC concentration will be observed in the treated samples, being more notable with higher concentrations of nanoparticles and with smaller porosity filters.

Key Words: ZnO nanoparticles, organic matter, removal, cellulose filters, poultry industry

RESUMEN:

En la industria avícola se genera grandes volúmenes de materia orgánica, esto viene ocasionando grandes impactos significativos en recurso hídrico. Este estudio se centró en la remoción de materia orgánica contaminante en agua residual de la industria avícola mediante el uso de filtros biogénicos de celulosa cargados con nanopartículas de ZnO a diferentes concentraciones y tamaños de poro. Se caracterizó el Carbono Orgánico Total (COT) de las aguas residuales de la industria avícola mediante técnicas de combustión a alta temperatura (SPC) y espectrometría de Infrarrojo no dispersiva (NDIR). Las nanopartículas de ZnO se caracterizaron mediante Dispersión de Luz Dinámica y por Microscopía Electrónica de Barrido. Los filtros se caracterizaron con estereoscopio y microscopio óptico de campo claro. Se diseñó un módulo experimental para evaluar la remoción de materia orgánica, realizando 27 experimentos, con diseño de pre-pos prueba. Los resultados mostraron una concentración promedio de COT en agua residual avícola de 1023.33 mg/L, indicando una contaminación relativamente alta. Las nanopartículas de ZnO se caracterizaron a concentraciones de 100, 500 y 1000 ppm, y los filtros biogénicos de nitrocelulosa se caracterizaron a 0.22, 0.45 y 11 μm . La mayor remoción de materia orgánica (90,65%) se logró con una concentración de 1000 mg/L de ZnO-NPs, un filtro de 0,22 μm de diámetro de poro y 60 minutos. En conclusión, se observó una disminución significativa en la concentración de COT en las muestras tratadas, siendo más notable con concentraciones más altas de nanopartículas y con filtros de porosidad más pequeña.

Palabras Clave: Nanopartículas de ZnO, materia orgánica, remoción, filtros de celulosa, industria Avícola

1. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida humana, pero está amenazada por diversos contaminantes, incluyendo los contaminantes orgánicos (Jave Concepción et al., 2021). De todas las industrias alimentarias, las aguas residuales que presentan un mayor potencial contaminante son de la industria avícola, esta viene experimentando un crecimiento extraordinario en la producción, según estudios se menciona que el mercado de la industria avícola aumentó un 6% el consumo per cápita de aves entre 2018 y 2019, el consumo en EEUU es de 58 Kg por persona y 48 kg por persona en Perú (Baker et al., 2020).

Las aguas residuales de la industria avícola, cada año aumenta el consumo de agua, se ha reportado que el consumo específico de agua para cada ave sacrificada es entre 8 a 15 L (Terán Hilarés et al., 2021). Produciendo un gran volumen de metros cúbicos al año, de aguas residuales cargadas con altas concentraciones de materia orgánica, materia coloidal y suspendida, tales como grasas, proteínas y celulosa, representan una amenaza para el medio ambiente si se liberan sin tratamiento adecuado (Muduli et al., 2021).

En la ciudad de Huancayo, este problema es especialmente relevante debido a la falta de sistemas de tratamientos adecuados para estas aguas de industrias avícolas ya que la descarga diariamente un caudal entre 7-9 m³, estas aguas pasan por trampas y filtros que retienen algunos contaminantes, no reciben un tratamiento adicional para eliminar las materias de menores dimensiones, contribuyendo a la contaminación del suelo y cuerpos de agua cercanos (Moreno-Rodríguez et al., 2023).

La presencia de los residuos que abundan en el agua residual avícola son los sólidos orgánicos, son compuestos químicos que contienen carbono y se originan en diversas fuentes, aunque la mayoría de estos compuestos están presentes en bajas concentraciones, pueden ser dañinos para la salud humana, causando enfermedades como el cáncer, problemas reproductivos, trastornos hormonales y otros efectos adversos en la salud (Anjum et al., 2019; Waalewijn-Kool et al., 2014).

En respuesta a este desafío, se han explorado diversas tecnologías de tratamiento de aguas residuales, uno de los métodos empleados para la desinfección es la nanotecnología que ofrece propiedades y mecanismos que destacan el potencial para tratamiento de aguas residuales avícolas (Fesenko & Yatsenko, 2023). Uno de los nanomateriales que destaca como removedor eficiente de contaminantes orgánicos en agua es el óxido de Zinc, teniendo una fuerte actividad en pequeñas cantidades, mayor durabilidad y resistencia al calor, considerándose un material seguro para los humanos y animales (Dimapilis et al., 2018; Zodrow et al., 2017). Debido que son fotocatalíticas, lo que significa que pueden degradar los contaminantes orgánicos e inorgánicos con altos niveles de selectividad y eliminar también microorganismos patógenos, y puede ser potencial a medida se modifica la estructura y morfología, activando la generación de radicales libres en presencia de luz solar (González Rodríguez, 2019).

Simultáneamente la incorporación de filtros biogénicos de celulosa, siendo una técnica, económica y eco-amigable presentan una barrera sólida para los micro contaminantes orgánicos, microbios y partículas, lo convierte en un sistema de purificación secundario ideal (S. Gupta et al., 2021; Zhai et al., 2022). Estos filtros proporcionan una superficie porosa que permite el flujo de agua y el asentamiento de microorganismos beneficiosos, lo que contribuye a la degradación de la materia orgánica y la reducción de microorganismos patógenos (Li, Gao, et al., 2021).

Se evalúa en un biorreactor a una escala piloto, dividiéndose la operación en tres fases donde se mantiene estable la eliminación de materia orgánica, las características de suciedad son significativas configuraciones según la fase dos, es por ello que es importante mencionar la eficacia del rociado simultáneo de aire hacia arriba y hacia abajo de la membrana para reducir la contaminación de la membrana (Tan et al., 2020).

En este sentido, un estudio reciente publicado en la revista *Environmental Science & Technology* demostró que los filtros biogénicos de celulosa cargados con nanopartículas elevan a una variedad de actividades antibacterianas y eliminadoras de materia orgánica, debido a la intercepción de los contaminantes por una arquitectura porosa mejorando la eficacia de las nanopartículas de ZnO mediante la fricción física reacciones químicas con especies reactivas de oxígeno (ROS) y penetración de iones de zinc hidratados (Dinesha et al., 2023; Li, Tang, et al., 2021).

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es la remoción de materia orgánica contaminante en agua residual de la industria avícola mediante el uso de filtros biogénicos de celulosa cargados con nanopartículas de ZnO a diferentes concentraciones y tamaños de poro.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. CARACTERIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL AVÍCOLA

Se recogieron muestras de agua residual procedentes de la industria avícola llamada ONASA con coordenadas geográficas 12° 4' 32.160" S y 75° 12' 47.582" W. en la ciudad de Huancayo, Junín, con el fin de evaluar y caracterizar su contenido de materia orgánica contaminante. Se recopilaron un total de 6 muestras, cada una con un volumen de 200 mL, en frascos estériles. La recolección se realizó en 6 días diferentes, con un intervalo de una semana entre cada jornada de muestreo, garantizando así una representación temporal adecuada.

Posteriormente, las muestras fueron transferidas a viales de 25 mL y analizadas utilizando un analizador autosampler (TOC Analyzer, Teledyne, USA). El análisis se efectuó mediante el método TORCH, que se basa en la combustión a alta temperatura del material orgánico presente en la muestra para convertirlo en dióxido de carbono (CO₂). Esta técnica de combustión a alta temperatura se complementó con la tecnología de Concentración de Presión Estática (SPC, por sus siglas en inglés) para concentrar el CO₂ producido y facilitar su detección. Para la detección del CO₂ se utilizó un detector de Infrarrojo No Dispersivo (NDIR) incorporado en el equipo.

Como control en los análisis, se utilizó agua ultrapura (con una conductividad menor a 0.05 uS/cm) como blanco, para asegurar la precisión y la exactitud de los resultados obtenidos.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE NANOPARTÍCULAS ZnO

Se llevó a cabo la caracterización de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) que fueron adquiridas de la empresa MKNano, ubicada en Ontario, Canadá. Se importó una presentación de 100g de nanopartículas de ZnO de tipo amorfo. Estas nanopartículas presentaron un diámetro nominal de 15 nm, según lo analizado por la técnica de Aerodynamic Particle Sizer.

La caracterización de las nanopartículas de ZnO se efectuó con el objetivo de obtener un entendimiento detallado sobre sus propiedades físicas y químicas, lo cual es fundamental para su posterior utilización en aplicaciones específicas.

2.2.1. DISPERSIÓN DE LUZ DINÁMICA

Se preparó una solución de nanopartículas a una concentración de 10 ppm utilizando agua ultrapura. Para asegurar una dispersión homogénea, la solución fue sometida a un proceso de sonicación con un sonicador ultrasónico tipo BRANSON durante 15 minutos a una frecuencia de 40 KHz.

Posterior a la sonicación, se realizó una filtración micrométrica utilizando filtros de jeringa de 0.22 µm con el objetivo de eliminar impurezas y obtener una solución más limpia de nanopartículas. Las muestras filtradas fueron luego transferidas a cubetas de polietileno con un paso óptico de 1 cm, las cuales fueron cargadas en el equipo de Dispersión de Luz Dinámica NICOMP Z3000N (USA) para su análisis. El análisis mediante DLS se llevó a cabo a una frecuencia de 300 KHz, lo que permitió obtener información detallada sobre el tamaño y la distribución del tamaño de las nanopartículas en la solución.

2.2.2. MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

Para la caracterización de muestras de nanopartículas de NPs-ZnO mediante microscopía electrónica de Barrido de emisión de campo TESCAN MIRA 3. Republica Checa, las muestras de nanopartículas se aplicaron sobre cinta conductora de carbono doble cara con la ayuda de paletas de 3mm en pin de microscopía electrónica llamados Stub's (pin de microscopía electrónica), El exceso de material fue eliminado con un atomizador de aire comprimido estéril. Después, la muestra se recubrió con oro en un equipo llamado Metalizador de pulverización catódica (Sputter Coater Desk V, DentonVacuum, USA) durante 90 segundos. Finalmente, la muestra se transfirió dentro de la cámara de vacío del Microscopio Electrónico de Barrido con una pinza de sujeción para Stub's y se realizó el barrido a 20kV (High Voltage).

2.3. CARACTERIZACIÓN DE FILTROS

Se caracterizaron los filtros de nitrocelulosa mediante Microscopía estereoscópica y de campo claro para distinguir y analizar los poros formados por las fibras del filtro. Se utilizó el estereoscopio (High Cloud) conectado a una cámara FHD 4K de 64MP y un microscopio óptico de campo claro (Euromex) con objetivos de 40x y oculares de 10x.

2.4. EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

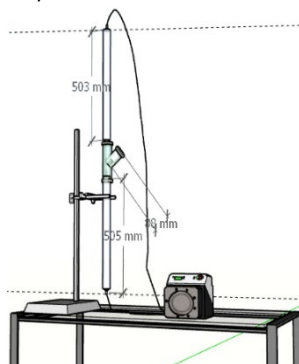
2.4.1. ENSAMBLAJE DEL MODULO

Se diseñó e implementó un módulo experimental que consistió en una tubería vertical transparente, la cual fue sujeta firmemente por soportes universales. La tubería, de media pulgada de diámetro, incorporó en su parte central un filtro tipo "Y". Este filtro permitía la inserción de discos de celulosa cargados con nanopartículas de ZnO en la bifurcación creada. En ambos extremos de la tubería, se conectaron mangueras de caucho que, a su vez, estaban acopladas a bombas peristálticas encargadas de recircular el agua en su interior. La circulación del agua se efectuó en sentido ascendente desde la perspectiva de los filtros, facilitando así el contacto y la interacción entre el agua y las nanopartículas de ZnO presentes en los discos de celulosa. Se cargaron 250 mL de la muestra de agua residual proveniente de la industria avícola, que había sido caracterizada previamente, en el sistema. Cada prueba de recirculación se llevó a cabo por un periodo de 15 minutos, permitiendo evaluar la eficacia de las nanopartículas de ZnO en la interacción con los componentes presentes en el agua residual, a lo largo de las diversas pruebas realizadas. Este módulo experimental se diseñó meticulosamente para simular condiciones controladas, facilitando la observación y el análisis del comportamiento y la eficacia de las nanopartículas de ZnO en el tratamiento de las aguas residuales de la industria avícola.

2.4.2. EXPERIMENTACIÓN

Se ejecutaron un total de 27 experimentos, diseñados meticulosamente para evaluar la eficacia de las nanopartículas de ZnO en la reducción del contenido de Carbono Orgánico Total (TOC) en las muestras de agua residual. Las variables consideradas en los experimentos incluyeron diferentes concentraciones de nanopartículas de ZnO (100, 500 y 1000 ppm) y tres tamaños de poro en los filtros (0.22, 0.45 y 11 micrómetros). Cada configuración experimental se repitió dos veces para garantizar la fiabilidad de los resultados, resultando en un total de 27 experimentos distintos. Además, se incluyeron 9 experimentos adicionales que sirvieron como grupo de control, en los cuales no se aplicó ningún tratamiento de nanopartículas.

Figura 1. Diseño 3D prefabricación de módulo de experimentación



En el módulo experimental descrito previamente, se recircularon las diferentes configuraciones de experimentos por un periodo de 15 minutos. Tras este intervalo, se extrajeron muestras del agua circulante dentro de las tuberías utilizando jeringas, y se trasvasaron a viales de 25 mL para su posterior análisis. Las muestras fueron analizadas utilizando el analizador TOC TELEDYNE, lo que permitió determinar la concentración de Carbono Orgánico Total presente en cada muestra.

Figura 2. Módulo de filtración fabricado



Tabla 1. Matriz experimental

Experimento	Replica	Concentración de Nanopartículas de ZnO (mg/L)	Tamaño de poro de filtros de nitrocelulosa (um)	Concentración de carbono orgánico total (mg/L Carbono)		
				Evaluación a 15 minutos	Evaluación a 30 minutos	Evaluación a 60 minutos
1	I	100	0.22	R1	R28	R 55
2		100	0.45	R2	R29	R 56
3		100	11	R3	R30	R 57
4	II	100	0.22	R4	R31	R 58
5		100	0.45	R5	R32	R 59
6		100	11	R6	R33	R 60
7	III	100	0.22	R7	R34	R 61
8		100	0.45	R8	R35	R 62
9		100	11	R9	R36	R 63
10	I	500	0.22	R10	R37	R 64
11		500	0.45	R11	R38	R 65
12		500	11	R12	R39	R 66
13	II	500	0.22	R13	R40	R 67
14		500	0.45	R14	R41	R 68
15		500	11	R15	R42	R 69
16	III	500	0.22	R16	R43	R 70
17		500	0.45	R17	R44	R 71
18		500	11	R18	R45	R 72
19	I	1000	0.22	R19	R46	R 73
20		1000	0.45	R20	R47	R 74
21		1000	11	R21	R48	R 75
22	II	1000	0.22	R22	R49	R 76
23		1000	0.45	R23	R50	R 77
24		1000	11	R24	R51	R 78
25	III	1000	0.22	R25	R52	R 79
26		1000	0.45	R26	R53	R 80
27		1000	11	R27	R54	R 81

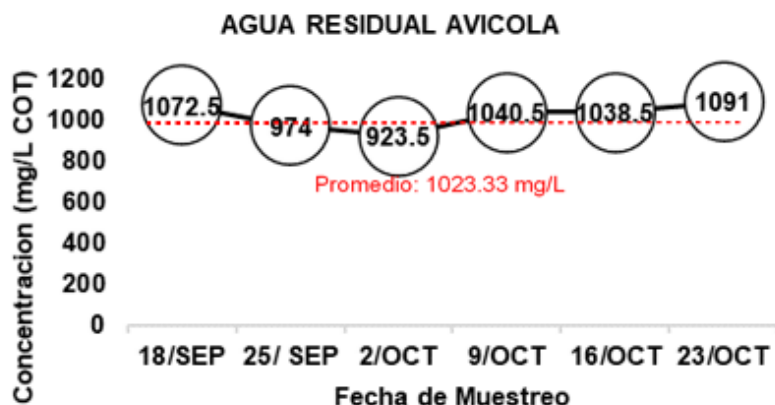
La investigación se centró en evaluar el impacto de dos variables críticas: la concentración y el tamaño de poro, sobre una variable de interés definida. Para llevar a cabo este estudio, se implementó un plan de experimentación de 27 experimentos, estructurado en 81 ensayos distribuidos en tres réplicas. El diseño incluyó la exploración de 3 niveles de concentración (100, 500, 1000 mg/L) y tres niveles de tamaño de poro (0.22 µm, 0.45 µm, y 11 µm), permitiendo una evaluación comprensiva de las interacciones entre estas variables. La metodología adoptada adiciona a la organización y realización de los ensayos un factor de evaluación temporal medidos a 15 minutos, 30 minutos y 60 minutos con el fin de analizar los cambios al pasar el tiempo. La nomenclatura se inició con R1 para el primer ensayo de la corrida inicial, extendiéndose hasta R27 para el primer intervalo temporal. Posteriormente, para el segundo intervalo, los ensayos se etiquetaron desde R28 a R54, y para el tercer intervalo, desde R55 hasta R81. Este enfoque metodológico aseguró una recopilación de datos ordenada y un análisis efectivo de cómo las variaciones en la concentración y el tamaño de poro afectan la variable de interés.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. CARACTERIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL AVICOLA

Los resultados de la caracterización de agua residual avícola de la industria participante en esta investigación se muestran en intervalos de 1 semana, monitoreados durante 6 semanas. Estos resultados muestran un promedio de 1023.33 mg/L de COT, dentro de un rango de 923.5 mg/L COT hasta un máximo de 1072.5. Esta concentración promedio evidencia un nivel de contaminación relativamente alto.

Figura 3: Caracterización COT de agua residual avícola



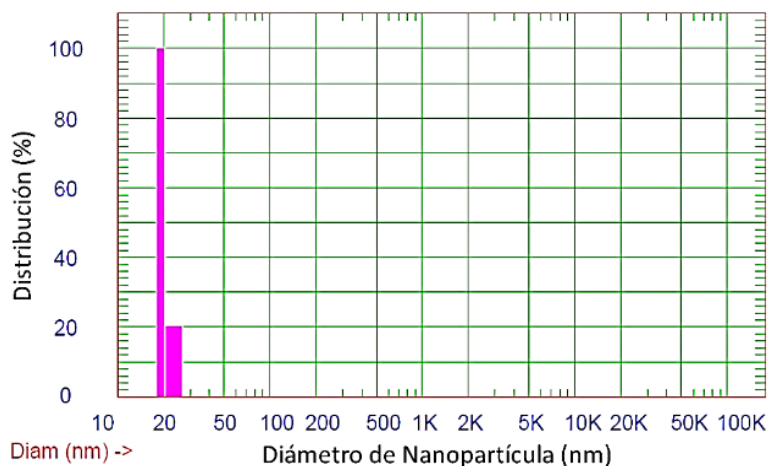
3.2. CARACTERIZACIÓN DE NPs-ZnO

El proceso de caracterización de las nanopartículas de ZnO incluye una evaluación de su diámetro hidrodinámico y su Potencial Z. Se utiliza la técnica de Dispersión de Luz Dinámica para realizar ambas evaluaciones y luego se comparan los resultados con la Microscopía electrónica de Barrido para confirmar los diámetros determinados.

3.2.1. DLS - DIÁMETRO HIDRODINÁMICO

En la figura 4 muestra el diámetro hidrodinámico promedio de las nanopartículas de ZnO empleadas (MKNano, Canada) con un valor de 20.5 nm.

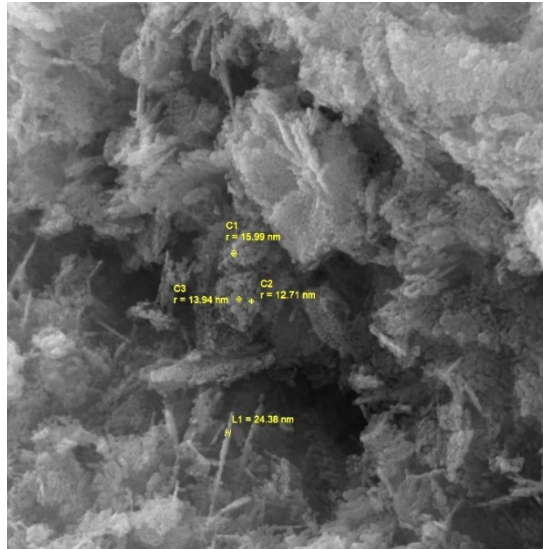
Figura 4. Distribución NICOMP de tamaño de nanopartículas de ZnO



El equipo de Dispersión de Luz Dinámica (DLS) indicó que el diámetro hidrodinámico de las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) es mayor que el diámetro proporcionado por el fabricante. El fabricante (MKNano, Canadá), había reportado un tamaño de partícula promedio (APS) de 15 nm. Esta discrepancia se atribuye a las diferencias en los métodos de análisis utilizados por el fabricante y en nuestra verificación. El análisis del fabricante se realizó utilizando la técnica de Tamaño de Partícula Aerodinámico (APS), que mide el diámetro de las nanopartículas basándose en su comportamiento en un flujo de aire. Esta técnica se centra en las propiedades aerodinámicas de las nanopartículas para determinar su tamaño. En contraste, el método DLS empleado en nuestra verificación mide el tamaño hidrodinámico de las nanopartículas en solución basándose en la dispersión de la luz, lo que puede resultar en una estimación diferente del diámetro de las nanopartículas.

3.2.2. SEM- MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

Figura 5. Distribución NICOMP de tamaño de nanopartículas de ZnO



La Figura 5 captura nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) vistas a través de microscopía electrónica, revelando estructuras espiculares compuestas por semiesferas de ZnO. Estas formaciones presentan diámetros que varían entre 13,94 y 24,38 nanómetros. Estos valores se encuentran en consonancia con los informados por la técnica de dispersión de luz dinámica (DLS), aunque pueden existir diferencias debido a la naturaleza distinta de las técnicas de medición. No obstante, ambas metodologías concuerdan en clasificar estas partículas en el rango sub-100 nanométrico, lo que es relevante para sus aplicaciones potenciales en campos como la catálisis, el tratamiento de aguas residuales y la medicina, donde el tamaño de la nanopartícula es un factor crítico.

3.3. CARACTERIZACIÓN DE FILTROS BIOGÉNICOS DE NITROCELULOSA

Se utilizó estereoscopia para evaluar la superficie de los porosa de los filtros utilizados en la investigación.

Figura 6. Filtro de nitrocelulosa bajo estereoscopio 300x



La Figura 6 muestra un filtro de nitrocelulosa observado bajo un estereoscopio, revelando su característica estructura entramada. Este entrelazado de fibras, dispuestas en múltiples direcciones, crea una red con espacios intersticiales, evidenciando la porosidad inherente del material. Esta porosidad es crucial para la funcionalidad del filtro, ya que permite el paso del fluido mientras retiene partículas o microorganismos específicos. El tamaño y la distribución de los poros son parámetros clave que definen la eficacia de filtración y la selectividad del filtro, siendo determinantes en aplicaciones científicas y técnicas que requieren precisión en la separación de componentes de una mezcla.

Figura 7. Filtro de nitrocelulosa bajo microscopio de campo claro 800x



La imagen 7 muestra un filtro de nitrocelulosa bajo ampliación, donde lo que a simple vista parecen ser líneas de cuadrícula, en realidad son pequeñas formas circulares impresas a escala micrométrica. Esta disposición es esencial para entender la estructura y función del filtro. Los poros, elementos clave en el proceso de filtración, son considerablemente más pequeños que estas formas circulares, lo que subraya la precisión microscópica del filtro. Este nivel de detalle en la estructura del filtro es fundamental para su capacidad de separar eficientemente partículas o componentes específicos de un fluido, evidenciando la ingeniería precisa detrás de su diseño.

3.4. EVALUACIÓN DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Figura 8. Filtro de nitrocelulosa posterior al tratamiento



La Figura 8 muestra el interior de un filtro de nitrocelulosa usado en el módulo construido, específicamente en la sección de paso tipo "Y" del sistema de tuberías diseñado para esta investigación. Este filtro, que se observa enrollado, desempeñó un papel crucial en el estudio de las muestras de agua residual provenientes de la planta avícola. En la superficie del filtro, se pueden identificar restos de material orgánico filtrado, caracterizado por su color marrón tenue. Esta coloración sugiere la presencia de sedimentos orgánicos, lo cual es coherente con el origen de las muestras analizadas. Dado que las aguas residuales estudiadas procedían de una instalación avícola, es probable que contengan residuos relacionados con el sacrificio de aves, incluyendo partículas de plumas, sangre y otros subproductos relacionados con el procesamiento de aves de corral.

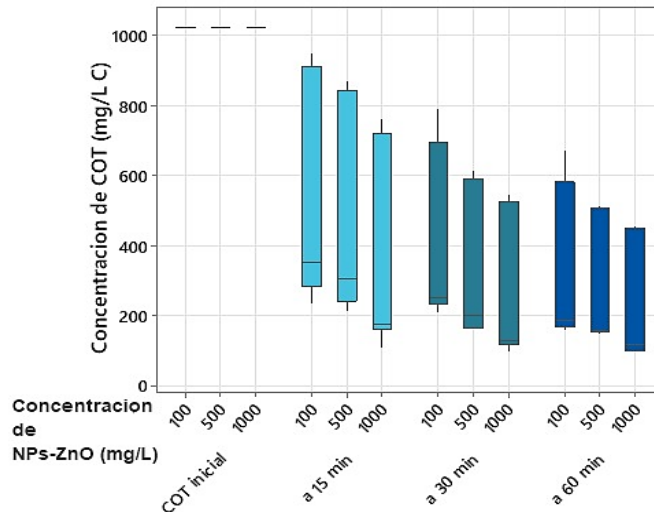
Tabla 2. Resultados de Remoción de Materia Orgánica Multivariable

REP	CONCENTRACION DE NANOPARTICULAS (ppm)	TAMAÑO DE PORO (um)	COT inicial	a 15 min	a 30 min	a 60 min	% remoción a 15 min	% remoción a 30 min	% remoción a 60 min
I	100	0.22	1023.333	262.997	210.295	158.617	74.30%	79.45%	84.50%
	100	0.45	1023.333	352.027	250.205	176.525	65.60%	75.55%	82.75%
	100	11	1023.333	899.510	642.141	541.855	12.10%	37.25%	47.05%
II	100	0.22	1023.333	233.320	221.040	176.013	77.20%	78.40%	82.80%
	100	0.45	1023.333	312.628	251.740	184.712	69.45%	75.40%	81.95%
	100	11	1023.333	949.141	790.013	672.330	7.25%	22.80%	34.30%
III	100	0.22	1023.333	301.372	246.112	157.593	70.55%	75.95%	84.60%
	100	0.45	1023.333	351.515	261.462	205.178	65.65%	74.45%	79.95%
	100	11	1023.333	923.046	745.498	621.163	9.80%	27.15%	39.30%
I	500	0.22	1023.333	250.205	164.757	152.477	75.55%	83.90%	85.10%
	500	0.45	1023.333	307.512	198.527	156.058	69.95%	80.60%	84.75%
	500	11	1023.333	869.321	586.881	505.527	15.05%	42.65%	50.60%
II	500	0.22	1023.333	210.295	161.175	147.872	79.45%	84.25%	85.55%
	500	0.45	1023.333	305.977	190.340	159.128	70.10%	81.40%	84.45%
	500	11	1023.333	836.063	593.021	506.550	18.30%	42.05%	50.50%
III	500	0.22	1023.333	230.762	162.710	150.942	77.45%	84.10%	85.25%
	500	0.45	1023.333	300.860	200.062	154.012	70.60%	80.45%	84.95%
	500	11	1023.333	848.855	614.511	511.667	17.05%	39.95%	50.00%
I	1000	0.22	1023.333	148.383	107.450	98.240	85.50%	89.50%	90.40%
	1000	0.45	1023.333	174.478	127.917	114.102	82.95%	87.50%	88.85%
	1000	11	1023.333	761.360	524.458	443.615	25.60%	48.75%	56.65%
II	1000	0.22	1023.333	192.898	123.312	99.775	81.15%	87.95%	90.25%
	1000	0.45	1023.333	173.967	133.545	122.288	83.00%	86.95%	88.05%
	1000	11	1023.333	714.798	524.970	455.895	30.15%	48.70%	55.45%
III	1000	0.22	1023.333	107.962	97.728	95.682	89.45%	90.45%	90.65%
	1000	0.45	1023.333	173.455	126.382	115.125	83.05%	87.65%	88.75%
	1000	11	1023.333	725.031	546.460	457.942	29.15%	46.60%	55.25%

3.4.1. REMOCIÓN DE COT A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE NPS-ZNO

Figura 9: Variación de concentración de NPs-ZnO

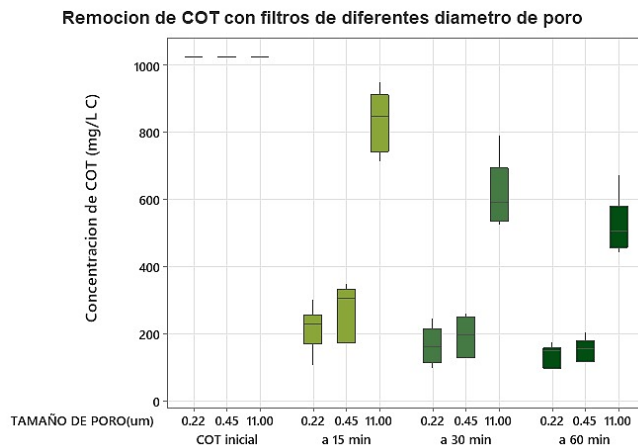
Remocion de COT a diferentes concentraciones de NPs-ZnO



En la gráfica de caja y bigote N°9, se exhiben los resultados del estudio sobre la influencia de las nanopartículas de ZnO en la reducción del carbono orgánico total (COT) en aguas residuales. Estos hallazgos son consistentes con investigaciones previas, como las realizadas por García (2022), que destacaron la eficiencia de las nanopartículas metálicas en el tratamiento de aguas. A lo largo del período de tratamiento con filtros que incorporan nanopartículas de ZnO, se observó una disminución notable en la concentración de materia orgánica, lo que indica la eficacia de este método en la purificación del agua. Este resultado se alinea con las conclusiones de (Cevallos-Mendoza et al., 2022), quienes demostraron que la presencia de nanopartículas mejora significativamente la capacidad de los filtros para eliminar contaminantes orgánicos. Además, el estudio revela que la concentración de nanopartículas de ZnO es un factor determinante en la efectividad del proceso. Con un incremento en la concentración de nanopartículas, se registró una disminución más pronunciada en el COT, siendo la concentración de 1000 ppm y un tiempo de tratamiento de 60 minutos los más efectivos. Este punto óptimo de tratamiento es respaldado por los trabajos de (Vasistha et al., 2021), quienes encontraron que una concentración elevada de nanopartículas resulta en una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes. Por lo tanto, estos resultados subrayan la relevancia de ajustar adecuadamente la concentración de nanopartículas y el tiempo de tratamiento para maximizar la remoción de materia orgánica en aguas residuales, reafirmando la importancia de una estrategia de tratamiento personalizada para lograr la mayor eficacia, tal como sugieren estudios anteriores en este campo (Martínez & Hernández, F, 2022). Este enfoque integrado y optimizado promete mejorar significativamente los métodos actuales de tratamiento de aguas residuales.

3.4.2. REMOCIÓN DE COT A DIFERENTES TAMAÑOS DE PORO DE FILTROS DE NITROCELULOSA

Figura 10. Variación de tamaño de poro

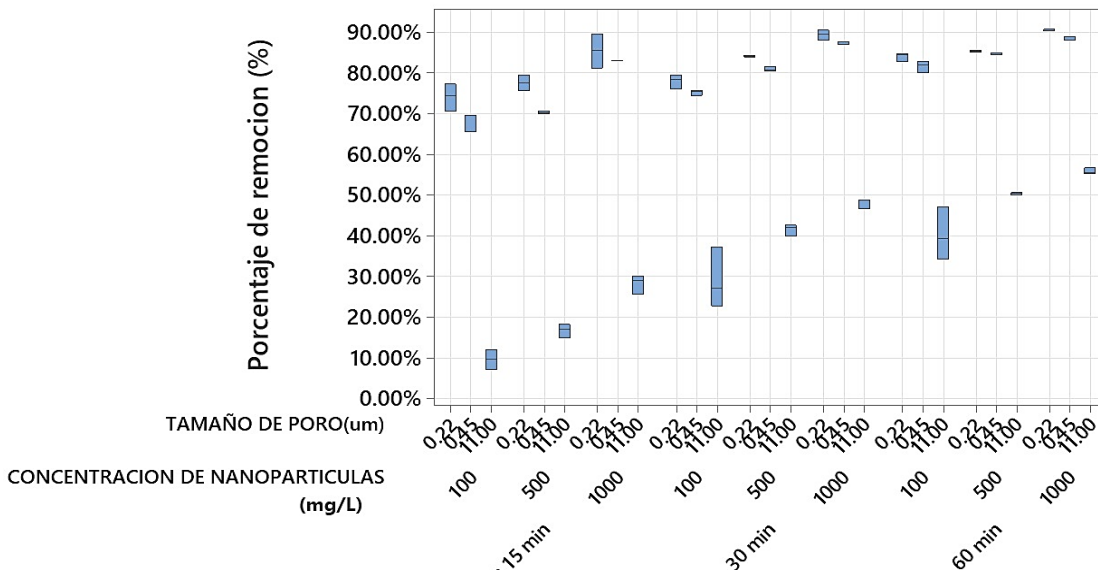


En la Figura 10, se presentan los resultados que examinan la relación entre el tamaño de poro de los filtros de nitrocelulosa y la eficiencia en la reducción del carbono orgánico total (COT) en aguas residuales. Esta investigación aporta una perspectiva fundamental sobre la dinámica de filtración, complementando estudios previos como los de (Liu et al., 2021), que enfatizan la importancia del tamaño de poro en los procesos de filtración. Los datos revelan que, aunque la concentración de COT disminuye con el tiempo, el grado de reducción varía significativamente con el tamaño de poro del filtro. Los filtros con diámetros de poro menores, como 0,22 y 0,45 micrómetros, muestran una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes, un hallazgo que está en consonancia con las observaciones de (Nasir et al., 2022), quienes informaron una correlación similar en sus estudios. Por el contrario, los filtros con un tamaño de poro de 11 micrómetros resultaron ser los menos eficientes, indicando que los poros más grandes permiten el paso de una mayor cantidad de partículas contaminantes, lo que resulta en una menor reducción del COT. Este fenómeno puede explicarse por la teoría de filtración, que sugiere que los filtros con poros más pequeños ofrecen una mayor superficie de interacción y un mejor atrapamiento de partículas, como lo demuestra la investigación de (Suteerapongpun & Hanamura, 2023). La diferencia significativa en la eficiencia de filtración entre los diámetros de poro de 0,22 y 0,45 micrómetros en comparación con los de 11 micrómetros destaca la crítica importancia de seleccionar el tamaño de poro adecuado para optimizar la remoción de contaminantes. Estos resultados subrayan la necesidad de una selección cuidadosa del tamaño de poro en función del tipo y la concentración de los contaminantes presentes, tal como sugieren los estudios previos en este campo (Johnson & Lewandowski, 2023).

3.4.3. REMOCIÓN DE COT MULTIVARIABLE

Figura 11. Efecto multivariable de remoción

Remocion de COT a diferentes concentraciones y tamaños de poro



La Figura 11 proporciona una visión integral de cómo la combinación de dos variables críticas, la concentración de nanopartículas de ZnO y el tamaño de poro de los filtros de nitrocelulosa, afecta el porcentaje de remoción de carbono orgánico total (COT) en el tratamiento de aguas residuales. Los resultados obtenidos son consistentes con estudios anteriores, como los de Shami et al. (2023), que también observaron interacciones complejas entre las propiedades del material filtrante y la eficiencia de remoción de contaminantes. Se observa que el tamaño de poro es inversamente proporcional a la eficiencia de remoción de COT, con tamaños de poro más grandes (11 micrómetros) que resultan en una menor remoción. Esta tendencia se alinea con las conclusiones de B. Gupta et al., (2020), quienes señalaron la importancia crítica del tamaño de poro en los procesos de filtración. Por otro lado, la concentración de nanopartículas de ZnO muestra una relación directamente proporcional con la remoción de COT, corroborando los hallazgos de Cevallos-Mendoza et al. (2022) sobre la eficacia de las nanopartículas en la mejora de la calidad del agua. En la gráfica, se distinguen claramente dos series: la serie superior, que muestra mayores porcentajes de remoción, corresponde a tamaños de poro menores (0,22 y 0,45 micrómetros), mientras que la serie inferior, con porcentajes de

remoción más bajos, está asociada a filtros con un tamaño de poro de 11 micrómetros. Esta diferenciación visual respalda las investigaciones de Nasir et al. (2022), que destacaron la influencia del tamaño de poro en la eficiencia de los filtros.

El tiempo también juega un papel favorable en la remoción de COT, siendo más notorio en los filtros de 11 micrómetros, aunque en menor medida en comparación con los filtros de menor tamaño de poro. La mejor remoción se alcanzó a los 60 minutos con una concentración de 1000 ppm de nanopartículas y un filtro de 0,22 micrómetros, lo que coincide con las observaciones de Suteerapongpun & Hanamura (2023) sobre la optimización de las condiciones de tratamiento. Estos resultados demuestran la importancia de un diseño cuidadoso y la selección de materiales en los sistemas de filtración para aguas residuales, sugiriendo que una combinación óptima de nanopartículas y tamaño de poro puede mejorar significativamente la eficiencia de remoción de contaminantes.

3.4.3. COMPARACIÓN PAREADA DE TUKEY

Tabla 3. Comparación en parejas de Tukey

Remoción a 15 minutos							
TRATAMIENTO	Repeticiones	Promedio de Remoción	Clasificación				
NPs1000 ppm – Poro 0.22	3	0.8537	A				
NPs1000 ppm – Poro 0.45	3	0.830000	A	B			
NPs500 ppm – Poro 0.22	3	0.7748		B	C		
NPs100 ppm – Poro 0.22	3	0.7402			C	D	
NPs500 ppm – Poro 0.45	3	0.70217				D	E
NPs100ppm - Poro 0.45	3	0.6690					E
NPs1000ppm - Poro 11	3	0.2830					F
NPs500ppm - Poro 11	3	0.16800					G
NPs100ppm - Poro 11	3	0.0972					H
Remoción a 30 minutos							
Tratamiento	Repeticiones	Promedio de Remoción	Clasificación				
NPs1000ppm – Poro 0.22	3	0.89300	A				
NPs1000ppm – Poro 0.45	3	0.87367	A	B			
NPs500ppm – Poro 0.22	3	0.84083	A	B	C		
NPs500ppm – Poro 0.45	3	0.80817		B	C	D	
NPs100ppm – Poro 0.22	3	0.7793			C	D	
NPs100ppm – Poro 0.45	3	0.75133				D	
NPs1000ppm – Poro 11	3	0.48017					E
NPs500ppm – Poro 11	3	0.41550					E
NPs100ppm – Poro 11	3	0.2907					F
Remoción a 60 minutos							
Tratamiento	Repeticiones	Promedio de Remoción	Clasificación				
NPs1000ppm – Poro 0.22	3	0.90433	A				
NPs1000ppm – Poro 0.45	3	0.88550	A	B			
NPs500ppm – Poro 0.22	3	0.85300	A	B	C		
NPs500ppm – Poro 0.45	3	0.84717	A	B	C		
NPs100ppm – Poro 0.22	3	0.83967		B	C		
NPs100ppm – Poro 0.45	3	0.81550			C		
NPs1000ppm – Poro 11	3	0.55783				D	
NPs500ppm – Poro 11	3	0.50367				D	
NPs100ppm – Poro 11	3	0.4022					E

"En la tabla, las clasificaciones (A, B, C, etc.) representan niveles de eficacia en la remoción de materia orgánica. Una clasificación más alta indica una mayor eficacia en el tratamiento."

Los resultados de la comparación por pares según el método de Tukey para dos factores clave, la concentración de nanopartículas de ZnO y el tamaño de poro, evaluados en tres intervalos de tiempo, proporcionan insights valiosos en la optimización del proceso de remoción de materia orgánica utilizando filtros de poro específicos. Para un período de remoción de 15 minutos, los tratamientos con 1000 ppm de nanopartículas de ZnO y tamaños de poro de 0.22

micrómetros y 0.45 micrómetros, muestran promedios de remoción de 0.8537 y 0.83, respectivamente. Estadísticamente, no se observan diferencias significativas entre ambos métodos, sugiriendo que, para este intervalo de tiempo, la selección del tamaño de poro podría basarse en consideraciones de coste, inclinando la balanza a favor del uso de filtros de 0.45 micrómetros por ser más económicos que los de 0.22 micrómetros.

Para el intervalo de 30 minutos, se identifican como tratamientos destacados aquellos con 1000 ppm y tamaños de poro de 0.22 y 0.45 micrómetros, además de una configuración con 500 ppm y 0.22 micrómetros. Estas configuraciones también resultaron ser estadísticamente equivalentes en términos de eficacia. Dada la paridad en la eficacia de remoción, se recomendaría optar por el tratamiento de 500 ppm y 0.22 micrómetros, pues implica un menor consumo de nanopartículas, un factor relevante dado el mayor costo asociado a las nanopartículas en comparación con los filtros.

En la evaluación a 60 minutos, cuatro tratamientos sobresalen. Siguiendo la lógica de análisis previa, la configuración más aconsejable sería la de 500 ppm y un tamaño de poro de 0.45 micrómetros, debido a que esta combinación representa la opción de menor coste sin comprometer significativamente la eficiencia de remoción. Comparando todos los intervalos de tiempo evaluados, se concluye que para una estrategia de remoción de materia orgánica económicamente viable con estos filtros, la configuración óptima sería a los 60 minutos con 500 ppm de nanopartículas de ZnO en filtros de 0.45 micrómetros, logrando una eficiencia de remoción promedio de 0.84717.

En términos más sencillos, esto significa que si estamos buscando una manera eficaz y al mismo tiempo económica de eliminar materia orgánica utilizando estos filtros, lo mejor sería operar durante 60 minutos con una concentración de 500 ppm de nanopartículas de ZnO en filtros de 0.45 micrómetros. Esta configuración no solo es efectiva, con un promedio de eficiencia de remoción bastante alto, sino que también es la más amigable con el presupuesto, ya que utiliza menos nanopartículas y aprovecha los filtros más económicos.

4. CONCLUSIONES

Se logró caracterizar adecuadamente el contenido de materia orgánica contaminante en el agua residual avícola proveniente de la industria en la ciudad de Huancayo, Junín. Los análisis realizados revelaron una concentración promedio de carbono orgánico total (COT) relativamente alta de 1023.33 mg/L de Carbono Orgánico Total, lo que evidencia la necesidad de implementar métodos efectivos de tratamiento para mitigar la contaminación.

Las nanopartículas de óxido de zinc (ZnO) utilizadas en este estudio fueron caracterizadas con éxito, demostrando un diámetro hidrodinámico promedio de 20.5 nm. A pesar de algunas discrepancias en los resultados de tamaño de partícula entre diferentes técnicas de análisis, se confirmó la idoneidad de las nanopartículas de ZnO para su aplicación en el tratamiento de aguas residuales.

Los filtros biogénicos de nitrocelulosa utilizados en el estudio mostraron una estructura porosa adecuada para la retención de materia orgánica. La microscopía estereoscópica y de campo claro permitió una visualización detallada de los poros del filtro, destacando su capacidad para atrapar partículas y microorganismos presentes en el agua residual.

La evaluación de la eficacia de los filtros cargados con nanopartículas de ZnO en la remoción de materia orgánica reveló resultados prometedores, alcanzando un máximo de 90.65% a 1000mg/L de Nanopartículas, filtro de 0,22 um de diámetro de poro y a 60 minutos de evaluación temporal. Se observó una disminución significativa en la concentración de COT en las muestras tratadas, siendo más notable con concentraciones más altas de nanopartículas y con filtros de porosidad más pequeña.

La combinación de diferentes concentraciones de nanopartículas de ZnO y tamaños de poro de los filtros permitió identificar condiciones óptimas para la remoción de materia orgánica en aguas residuales avícolas. Se encontró que una concentración de 1000 ppm de nanopartículas y un tamaño de poro de 0.22 micrómetros fueron los más efectivos en la reducción del COT.

Además, se identificó una configuración particularmente efectiva y rentable para la remoción de materia orgánica en las aguas residuales avícolas. Operar durante 60 minutos con una concentración de 500 ppm de nanopartículas de ZnO en filtros de 0.45 micrómetros mostró una alta eficiencia de remoción promedio del 84.7%. Esta configuración no solo se destacó por su efectividad, sino también por su eficiencia económica, al utilizar menos nanopartículas y aprovechar los filtros más económicos disponibles. Estos hallazgos destacan la importancia de considerar tanto la eficacia como la viabilidad económica al diseñar sistemas de tratamiento de aguas residuales en la industria avícola.

5. REFERENCIAS

- Anjum, M., Miandad, R., Waqas, M., Gehany, F., & Barakat, M. A. (2019). Remediation of wastewater using various nano-materials. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 4897–4919. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2016.10.004>
- Baker, B., Radin Mohamed, R. M. S., Al-Gheethi, E. Ing. A., & Aziz, H. (2020). Advanced technologies for poultry slaughterhouse wastewater treatment: A systematic review. *Journal of Dispersion Science and Technology*, 42. <https://doi.org/10.1080/01932691.2020.1721007>
- Cevallos-Mendoza, J., Amorim, C. G., Rodríguez-Díaz, J. M., & Montenegro, M. da C. B. S. M. (2022). Removal of Contaminants from Water by Membrane Filtration: A Review. In *Membranes* (Vol. 12, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/membranes12060570>
- Dimapilis, E. A. S., Hsu, C. S., Mendoza, R. M. O., & Lu, M. C. (2018). Zinc oxide nanoparticles for water disinfection. In *Sustainable Environment Research* (Vol. 28, Issue 2, pp. 47–56). Chinese Institute of Environmental Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2017.10.001>
- Dinesha, B. L., Hiregoudar, S., Nidoni, U., Ramappa, K. T., Dandekar, A. T., & Sankalpa, K. B. (2023). A Chitosan Zinc-Oxide Nano-adsorbent Coated with Sand Filter Bed: Characterization and Efficiency Evaluation for Treating Milk Processing Industry Wastewater. *Journal of Polymers and the Environment*, 31(3), 1173–1190. <https://doi.org/10.1007/s10924-022-02669-x>
- Fesenko, O., & Yatsenko, L. (Eds.). (2023). 10th International Research and Practice Conference on Nanotechnology and Nanomaterials, NANO 2021. In *Springer Proceedings in Physics* (Vol. 279). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85152526888&partnerID=40&md5=6283aff7df898eb53d880c86563033f8>
- González Rodríguez, J. (2019). *Estudio de catalizadores nanoestructurados como sistemas de oxidación avanzada para la eliminación de microcontaminantes en aguas residuales*.
- Gupta, B., Gupta, A. K., Ghosal, P. S., & Tiwary, C. S. (2020). Photo-induced degradation of bio-toxic Ciprofloxacin using the porous 3D hybrid architecture of an atomically thin sulfur-doped g-C₃N₄/ZnO nanosheet. *Environmental Research*, 183. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109154>
- Gupta, S., Ravikant, C., & Kaur, A. (2021). One-pot wet chemical synthesis of reduced graphene oxide-zinc oxide nanocomposites for fast and selective ammonia sensing at room temperature. *Sensors and Actuators, A: Physical*, 331. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2021.112965>
- Jave Concepción, H. G., Rascón, J., Pinedo Gómez, K. J. L., Guzmán Trujillo, F. Z., & Troya Paredes, D. (2021). Eficiencia de la remoción de materia orgánica mediante electrocoagulación para tratar aguas residuales procedentes de mataderos. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 5(2), 1. <https://doi.org/10.25127/aps.20212.763>
- Li, M., Gao, X., Tang, X., Zhang, H., Duan, H., & Chen, Y. (2021). Effects of Zinc Salts on Antibacterial Properties of Nano ZnO-Corn Stalk Core Composite Filter | 锌盐种类对纳米ZnO-玉米秸稈复合滤柱抗菌性能的影响. *Xiyou Jinshu Cailiao Yu Gongcheng/Rare Metal Materials and Engineering*, 50(11), 4037–4044.
- Li, M., Tang, X., Gao, X., Zhang, H., Cai, S., & Shan, S. (2021). Nano ZnO-decorated corn stalk for three-dimensional composite filter with efficiently antimicrobial action. *Journal of Materials Research and Technology*, 12, 444–454. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.03.004>
- Liu, Y., Liu, H., & Shen, Z. (2021). Nanocellulose based filtration membrane in industrial waste water treatment: A review. *Materials*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/ma14185398>
- Moreno-Rodríguez, D., Lovera-Dávila, D., & Villaca-Chipana, J. (2023). Tratamiento de aguas residuales de un centro de beneficio avícola usando moringa oleífera. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Minas, Metalurgia y Ciencias Geográficas*, 26(51), e25459. <https://doi.org/10.15381/iigeo.v26i51.25459>

- Muduli, S., Champati, A., Popalghat, H. K., Patel, P., & Sneha, K. R. (2021). Poultry waste management: An approach for sustainable development. *International Journal of Advanced Scientific Research*, 8. www.allscientificjournal.com
- Nasir, A. M., Adam, M. R., Mohamad Kamal, S. N. E. A., Jaafar, J., Othman, M. H. D., Ismail, A. F., Aziz, F., Yusof, N., Bilad, M. R., Mohamud, R., A. Rahman, M., & Wan Salleh, W. N. (2022). A review of the potential of conventional and advanced membrane technology in the removal of pathogens from wastewater. In *Separation and Purification Technology* (Vol. 286). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2022.120454>
- Shami, R., Sabir, A., Iqbal, S. S., Gull, N., Zohra, R., & Khan, S. M. (2023). Synergistic effect of GO/ZnO loading on the performance of cellulose acetate/chitosan blended reverse osmosis membranes for NOM rejection. *Heliyon*, 9(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13736>
- Suteerapongpun, T., & Hanamura, K. (2023). Numerical Design of Granular Support for Three-Way Catalyzed Solid- and Porous-Particles Membrane Filters. *Membranes*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/membranes13070644>
- Tan, D., Lee, W., Kim, Y. E., Ko, Y. N., Youn, M. H., Jeon, Y. E., Hong, J., Jeong, S. K., & Park, K. T. (2020). SnO₂/ZnO Composite Hollow Nanofiber Electrocatalyst for Efficient CO₂ Reduction to Formate. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 8(29), 10639–10645. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.0c03481>
- Terán Hilaes, R., Atoche-Garay, D. F., Pinto Pagaza, D. A., Ahmed, M. A., Colina Andrade, G. J., & Santos, J. C. (2021). Promising physicochemical technologies for poultry slaughterhouse wastewater treatment: A critical review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(2), 105174. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105174>
- Vasistha, S., Khanra, A., & Rai, M. P. (2021). Influence of microalgae-ZnO nanoparticle association on sewage wastewater towards efficient nutrient removal and improved biodiesel application: An integrated approach. *Journal of Water Process Engineering*, 39, 101711. <https://doi.org/10.1016/J.JWPE.2020.101711>
- Waalewijn-Kool, P. L., Rupp, S., Lofts, S., & Svendsen, C. (2014). *Effect of soil organic matter content and pH on the toxicity of ZnO nanoparticles to Folsomia candida*. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.06.031> www.elsevier.com/Article
- Zhai, Y., Liu, G., & van der Meer, W. G. J. (2022). One-Step Reverse Osmosis Based on Riverbank Filtration for Future Drinking Water Purification. *Engineering*, 9, 27–34. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2021.02.015>
- Zodrow, K. R., Li, Q., Buono, R. M., Chen, W., Daigger, G., Dueñas-Osorio, L., Elimelech, M., Huang, X., Jiang, G., Kim, J. H., Logan, B. E., Sedlak, D. L., Westerhoff, P., & Alvarez, P. J. J. (2017). Advanced Materials, Technologies, and Complex Systems Analyses: Emerging Opportunities to Enhance Urban Water Security. *Environmental Science and Technology*, 51(18), 10274–10281. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b01679>

6. ANEXOS

6.1. EVIDENCIA DE SUMISIÓN

The screenshot shows the submission form for the journal DYNIA. The page header includes navigation links for various research areas and a search bar. The main content area is titled "Envío de artículos" and contains a form for author information. The author's name is Selomith Ithamar Pariachi Jimenez, and their affiliation is UPEU. The form also includes fields for contact information, a curriculum vitae, and a summary of the article. A green notification bar at the bottom of the form states: "La solicitud N°0068/2024 ha sido enviada correctamente." On the right side of the page, there are promotional banners for "Crossref Content Registration" and "ARE YOU READY? CALL FOR PAPERS, Additive Manufacturing".

This screenshot displays the details of the submitted article. The title is "REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA CONTAMINANTE EN AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA MEDIANTE EL USO DE FILTROS BIO". The article is categorized under "Nanopartículas de ZnO, materia orgánica, remoción, filtros de celulosa, industria Avícola". The summary describes the experimental setup and results, mentioning the use of 27 experiments and the removal of organic matter from wastewater. A green notification bar at the bottom of the form states: "La solicitud N°0068/2024 ha sido enviada correctamente." On the right side, there are promotional banners for "Crossref Content Registration" and "ARE YOU READY? CALL FOR PAPERS, Additive Manufacturing".

The screenshot shows an Outlook email interface. The email is from "dyna@revistadyna.com" and is titled "[DYNIA Ingeniería e Industria] Envío de Artículos". The email content includes a confirmation message: "Parte del contenido de este mensaje se ha bloqueado porque el remitente no está en la lista de remitentes seguros." Below the message, there are two attachments: "CV-Selomith Ithamar.docx" (53 KB) and "ARTICULO FINAL.docx" (3 MB). The email also contains a summary of the article submission details, including the author's name, affiliation, and contact information. A green notification bar at the bottom of the email states: "La solicitud N°0068/2024 ha sido enviada correctamente." On the right side, there are promotional banners for "Crossref Content Registration" and "ARE YOU READY? CALL FOR PAPERS, Additive Manufacturing".

CV-Selomith Ithamar.doc
53 KB

ARTICULO FINAL.docx
3 MB

2 archivos adjuntos (3 MB) Guardar todo en OneDrive - Universidad Peruana Unión Descargar todo

Solicitud N° 0066/2024

Datos del Autor

Nombre y Apellidos: Selomith Ithamar Pariachi jimenez
Colegio / Asociación: 12003
Dirección: Avenida alameda de las flores #1569
Código Postal: 12003
Teléfono: 935838830
ORCID: 0000-0002-2461-1944
Curriculum: CV-Selomith Ithamar.doc

Títulos Académicos: Bachiller
Institución / Afiliación: UPEU
Población: Huancayo
Provincia: Junín
Email: pariachijimenez@upeu.edu.pe

Datos del Artículo

Título: REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA CONTAMINANTE EN AGUA RESIDUAL DE LA INDUSTRIA AVÍCOLA MEDIANTE EL USO DE FILTROS BIOGÉNICOS DE CELULOSA CARGADOS CON NANOPARTÍCULAS DE ZNO A DIFERENTES CONCENTRACIONES Y TAMAÑOS DE PORO

Disciplina / Subdisciplina:

Palabras Clave: Nanopartículas de ZnO, materia orgánica, remoción, filtros de celulosa, industria Avícola

Resumen:

Artículo: ARTICULO FINAL.docx


Observaciones:

En la industria avícola se genera grandes volúmenes de materia orgánica, esto viene ocasionando grandes impactos significativos en recurso hídrico. Este estudio se centró en la remoción de materia orgánica contaminante en agua residual de la industria avícola mediante el uso de filtros biogénicos de celulosa cargados con nanopartículas de ZnO a diferentes concentraciones y tamaños de poro. Se caracterizó el Carbono Orgánico Total (COT) de las aguas residuales de la industria avícola mediante técnicas de combustión a alta temperatura (SPC) y espectrometría de Infrarrojo no dispersiva (NIR). Las nanopartículas de ZnO se caracterizaron mediante Dispersión de Luz Dinámica y por Microscopía Electrónica de Barrido. Los filtros se caracterizaron con estereoscopio y microscopio óptico de campo claro. Se diseñó un módulo experimental para evaluar la remoción de materia orgánica, realizando 27 experimentos, con diseño de pre-pos prueba. Los resultados mostraron una concentración promedio de COT en agua residual avícola de 1023.33 mg/L, indicando una contaminación relativamente alta. Las nanopartículas de ZnO se caracterizaron a concentraciones de 100, 500 y 1000 ppm, y los filtros biogénicos de nitrocelulosa se caracterizaron a 0,22, 0,45 y 11 um. La mayor remoción de materia orgánica (90,65%) se logró con una concentración de 1000 mg/L de ZnO-NPs, un filtro de 0,22 um de diámetro de poro y 60 minutos. En conclusión, se observó una disminución significativa en la concentración de COT en las muestras tratadas, siendo más notable con concentraciones más altas de nanopartículas y con filtros de porosidad más pequeña.

Monográfico:

© Revista de Ingeniería Dyma 2006
Revista científica de Publicaciones DYNA SL

6.2. INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

EQUIPAMIENTO DISPONIBLE	UBICACIÓN	OBJETIVO	IMAGEN
Agitador Vortex	Laboratorio de bioprocesos - Facultad de Ingeniería Química – UNCP	Homogeneización de muestras	

<p>Centrifuga 15000 rpm</p>	<p>Laboratorio de bioprocesos - Facultad de Ingeniería Química – UNCP</p>	<p>Preparación de muestras orgánicas para microscopía electrónica de barrido</p>	
<p>Sonicador – Homogeneizador ultrasónico de alta frecuencia 48KHz</p>	<p>Laboratorio de bioprocesos - Facultad de Ingeniería Química – UNCP</p>	<p>Homogenización de soluciones de nanopartículas</p>	
<p>Incubadora</p>	<p>Laboratorio de bioprocesos - Facultad de Ingeniería Química – UNCP</p>	<p>Crecimiento de inóculo Bacteriano de E. Coli ATCC 25922</p>	
<p>Densitómetro McFarland</p>	<p>Laboratorio de bioprocesos - Facultad de Ingeniería Química – UNCP</p>	<p>Estandarización del inóculo Bacteriano de E. Coli ATCC 25922</p>	
<p>Cabina de aislamiento bacteriano</p>	<p>Laboratorio de bioprocesos - Facultad de Ingeniería Química – UNCP</p>	<p>Preparación de inóculo Bacteriano de E. Coli ATCC 25922</p>	
<p>Congeladora Vertical con control de temperatura</p>	<p>Laboratorio de bioprocesos - Facultad de Ingeniería Química – UNCP</p>	<p>Preservación de cepas bacterianas certificadas para ensayo de laboratorio E. Coli ATCC 25922</p>	

Autoclave	Laboratorio de Bioprocesos - Facultad de Ingeniería Química - UNCP	Esterilización de materiales y reactivos para preparación de inóculo bacteriano	
Secador de Punto Crítico (CPD)	Laboratorio de nanotecnología - Facultad de Ingeniería Química - UNCP	Secado necesario de muestras bacterianas para observación por Microscopía Electrónica de Barrido	
Metalizador por pulverización Catódica	Laboratorio de nanotecnología - Facultad de Ingeniería Química - UNCP	Recubrimiento con capa de Oro (99.99%) para muestras bacterianas antes de Microscopía Electrónica de barrido	
Microscopio Electrónico de Barrido (SEM)	Laboratorio de nanotecnología - Facultad de Ingeniería Química - UNCP	Caracterización morfológica de nanopartículas	
Dispersión Dinámica de Luz (DLS)	Laboratorio de nanotecnología - Facultad de Ingeniería Química - UNCP	Caracterización - Diámetro hidrodinámico y potencial Z de nanopartículas	
Espectroscopia de Rayos X de Energía Dispersa (EDX)	Laboratorio de nanotecnología - Facultad de Ingeniería Química - UNCP	Composición elemental de nanopartículas	