

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN
ACUICULTURA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA

**Eficiencia de Biofiltros elaborados con semillas de *Moringa oleífera*,
Caesalpinia spinosa (Tara) y *Persea americana* (Palta) en la remoción
de compuestos nitrogenados y fosfatados y su efecto sobre el
crecimiento y supervivencia en alevinos de *Oreochromis niloticus***

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
BIÓLOGO ACUICULTOR**

Autores:

Peña Coello, María Francisca

Zavaleta Matos, Alejandro Eleodoro

Asesor:

Blgo. Torres Cabrera, Luis Fernando

ORCID 0000-0003-4662-5412

NUEVO CHIMBOTE-PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE CIENCIAS


ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA



Eficiencia de Biofiltros elaborados con semillas de *Moringa oleífera*, *Caesalpinia spinosa* (Tara) y *Persea americana* (Palta) en la remoción de compuestos nitrogenados y fosfatados y su efecto sobre el crecimiento y supervivencia en alevinos de *Oreochromis niloticus*

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO
ACUICULTOR**

Revisado y aprobado por el asesor



Dr. Torres Cabrera Luis Fernando
ORCID: 0000-0003-4662-5412
DNI: 26690133

NUEVO CHIMBOTE-PERÚ

2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA EN ACUICULTURA



UNS
UNIVERSIDAD
NACIONAL DEL SANTA


Eficiencia de Biofiltros elaborados con semillas de *Moringa oleífera*, *Caesalpinia spinosa* (Tara) y *Persea americana* (Palta) en la remoción de compuestos nitrogenados y fosfatados y su efecto sobre el crecimiento y supervivencia en alevinos de *Oreochromis niloticus*

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE BIÓLOGO
ACUICULTOR**

Revisado y aprobado por el jurado evaluador


Dr. Merino Moya, Juan Fernando
Presidente
ORCID: 0000-0002-4848-3190
DNI: 17909299


Blga. Acuic. Carmen Yzasiga Barrera
Integrante
DNI: 32739703
ORCID: 0000-0003-2430-9945


Dr. Torres Cabreza Luis Fernando
ORCID: 0000-0003-4662-5412
DNI: 26690133

NUEVO CHIMBOTE-PERÚ

2025

ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA SUTENTACIÓN DE LA TESIS

En el Distrito de Nuevo Chimbote, en la Universidad Nacional de Santa, en el Laboratorio de Impacto Ambiental, siendo las 18:05 horas del día 29-12-2025, dando cumplimiento a la Resolución N° 300-2025-UNS-FC se reunió el Jurado Evaluador presidido por Dr. Fernando Herme Hoja, teniendo como miembros a Ms. Carmen Yzquierdo Barrera (secretario) (a), y Dr. Luis Torres Cabrer (integrante), para la sustentación de tesis a fin de optar el título de Biólogo Acuicultor realizado por el, (la), (los) tesista (as) María Francisca Peña Cosello y Alejandro Eledoro Zaralita Matos, quien (es) sustentó (aron) la tesis intitulada:

Eficiencia de lecho filtrante elaborado con semillas de *Horning* *oliveria*, *Caesalpinia spinosa* y *Guera americana* en la remoción de nutrientes nitrogenados y fosforados y su efecto sobre el crecimiento y supervivencia de *Oreochromis niloticus*.

Terminada la sustentación, el (la), (los) tesista (as) respondió (ieron) a las preguntas formuladas por los miembros del jurado.

El Jurado después de deliberar sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como Aprobada asignándole un calificativo de 28 (19) puntos, según artículo 111° del Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional del Santa, vigente (Resolución N° 337-2024-CU-R-UNS)

Siendo las 20:00 horas del mismo día se dio por terminado el acto de sustentación firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad

Nombre: Dr. Fernando Herme Hoja
Presidente

Nombre: Ms. Carmen Yzquierdo Barrera
Secretario

Nombre: Dr. Luis Torres Cabrer
Integrante

Distribución: Integrantes J.E (), tesistas () y archivo (02).



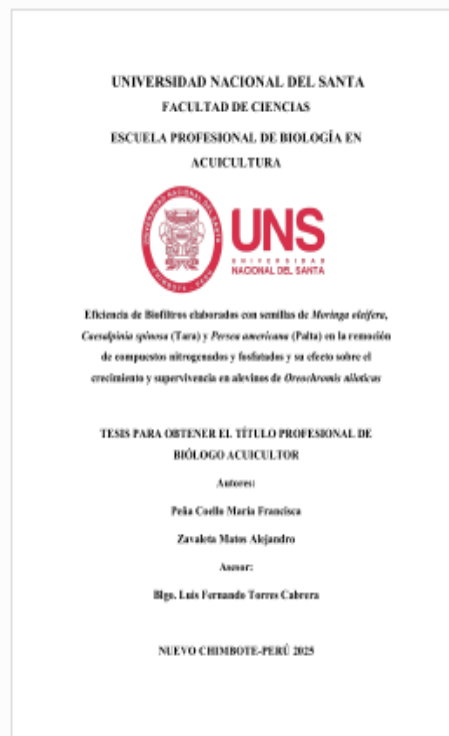


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega:	Alejandro Zavaleta Matos
Título del ejercicio:	INFORME INVESTIGACIÓN ANUAL UNS
Título de la entrega:	Eficiencia de Biofiltros elaborados con semillas de Moringa ole...
Nombre del archivo:	INFORME_DE_TESIS_FINAL_3_.pdf
Tamaño del archivo:	1.51M
Total páginas:	53
Total de palabras:	17,795
Total de caracteres:	106,461
Fecha de entrega:	30-ene-2026 03:39p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega:	2867259115



Eficiencia de Biofiltros elaborados con semillas de Moringa oleífera, Caesalpinia spinosa (Tara) y Persea americana (Palta) en la remoción de compuestos nitrogenados y fosfatados y su efecto sobre el

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	4%
2	distancia.udh.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Nacional del Santa Trabajo del estudiante	1%
6	repositorio.espam.edu.ec Fuente de Internet	<1%
7	up-rid.up.ac.pa Fuente de Internet	<1%
8	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
9	revistas.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	www.conftool.pro Fuente de Internet	<1%
11	www.cienciayeducacion.com	

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con profundo amor y gratitud a mis padres, por su apoyo incondicional, por sus consejos sabios y por enseñarme que el verdadero éxito se alcanza con humildad y dedicación. A mis amigos, quienes estuvieron a mi lado en cada etapa de este proceso, brindándome su comprensión, ánimo y alegría incluso en los momentos más difíciles. Su compañía hizo más llevadero este camino. Y, especialmente, a mi hija, mi mayor motivación y razón para continuar. Su sonrisa y amor me impulsaron a superar cada desafío y a culminar esta meta con orgullo. Este logro también es suyo.

A mi familia, mi pilar fundamental de amor y apoyo. Por acompañarme en cada paso, celebrar mis logros y alentarme en los momentos difíciles.

Especialmente a mi tía, por su cariño incondicional, sus sabios consejos y por creer siempre en mí. Su ejemplo de fortaleza y dedicación ha sido una inspiración constante en mi formación personal y profesional.

Este logro es también suyo, porque sin ustedes nada de esto habría sido posible.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios, por darnos la fortaleza y sabiduría para culminar con éxito esta etapa de nuestra formación profesional. A nuestra familia, por su apoyo incondicional, comprensión y por inculcarnos el valor del esfuerzo y la perseverancia. Su amor y sacrificio han sido el motor que nos impulsó a alcanzar esta meta.

A nuestro asesor de tesis Luis Torres Cabrera, por su invaluable orientación, paciencia y valiosos aportes durante el desarrollo de esta investigación. Su experiencia y dedicación fueron fundamentales para la culminación de este trabajo.

A los docentes de la Escuela Profesional de Biología en Acuicultura, por compartir sus conocimientos y contribuir significativamente en nuestra formación como futuros biólogos.

A nuestros compañeros y amigos, por acompañarnos en este proceso académico, brindando su colaboración y motivación en cada etapa.

Finalmente, agradecemos a todas las personas que, de manera directa o indirecta, contribuyeron al logro de este importante objetivo académico.

A todos ustedes, nuestro más profundo agradecimiento.

INDICE

Resumen

Abstract

I.	Introducción	1
1.1.	Objetivos de la investigación.....	2
1.2.	Formulación de hipótesis	3
1.3.	Justificación de la investigación	3
II.	Marco Teórico.....	4
2.1.	Antecedentes de investigación.....	4
2.2.	Bases teóricas.....	5
III.	Materiales y métodos	9
3.1.	Localización del experimento.....	9
3.2.	Material experimental.....	9
3.2.1.	Material biológico	9
3.2.2.	Elaboración de harina de las semillas de <i>M. oleífera</i> , <i>C. spinosa</i> y <i>P. americana</i>	9
3.3.	Diseño experimental de investigación	10
3.4.	Preparación de las unidades experimentales.....	10
3.4.1.	Diseño del biofiltro.....	10
3.4.2.	Sistema de biofiltración.....	11
3.5.	Evaluación de la calidad del agua de los diferentes tratamientos de cultivo de <i>O. niloticus</i> con biofiltros a base de semillas	12
3.6.	Biometría de <i>O. niloticus</i>	12
3.7.	Análisis estadísticos.....	13
IV.	Resultados	13
4.1.	Calidad física y química del agua antes y después del tratamiento con el biofiltro elaborado con semillas	13
4.1.1.	Parámetros físicos.....	13
4.1.2.	Parámetros químicos	15
4.2.	Crecimiento de alevinos de <i>O. niloticus</i> con biofiltros elaborados con semillas de <i>M. oleífera</i> , <i>C. spinosa</i> y <i>P. americana</i>	20

4.3.	Eficiencia de los biofiltros mediante la concentración de los parámetros físico y químicos	21
4.4.	Prueba de normalidad de los parámetros físico y químico	21
4.5.	Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas de los parámetros físico y químicos	22
4.6.	Análisis de varianza de los parámetros físico, químico y biológicos	23
4.7.	Análisis del crecimiento en peso y talla de <i>Oreochromis niloticus</i> bajo diferentes tratamientos de biofiltros mediante análisis de varianza (ANOVA).....	23
V.	Discusión.....	24
5.1.	Calidad física y química del agua antes y después del tratamiento con el biofiltro elaborado con semillas	24
5.2.	Crecimiento de alevinos de <i>O. niloticus</i> en biofiltros con semillas de <i>M. oleífera</i> , <i>C. spinosa</i> y <i>P. americana</i>	27
5.3.	Eficiencia de los biofiltros mediante la concentración de los parámetros físico y químicos	28
VI.	Conclusiones	31
VII.	Recomendaciones.....	31
VIII.	Referencias Bibliográficas	32
IX.	Anexo	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Diseño experimental de los sistemas de biofiltración	10
Tabla 2 Eficiencia de remoción de los parámetros en los diferentes tratamientos con lechos filtrantes a base de semillas	21
Tabla 3 Prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov de los parámetros físico y químicos.....	22
Tabla 4 Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas de parámetros fisicoquímicos del agua en biofiltros con semillas de Moringa oleífera, Caesalpinia spinosa y Persea americana ..	22
Tabla 5 Análisis de varianza (ANOVA) de la eficiencia de remoción en la calidad de agua del cultivo de Oreochromis niloticus	23
Tabla 6 Crecimiento en peso y talla de alevines de O. niloticus	24
Tabla 7 Pruebas de Chi-cuadrado para asociación entre tratamiento y supervivencia de Oreochromis niloticus	24

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Prototipo del diseño del Biofiltro elaborado con semillas	11
Figura 2 Unidades experimentales	12
Figura 3 Variación de temperatura con lechos filtrantes elaborados con semillas.....	14
Figura 4 Variación de turbidez con lechos filtrantes elaborados con semillas.....	15
Figura 5 Variación del oxígeno disuelto con el lecho filtrante elaborado con semillas.....	16
Figura 6 Variación del pH con el lecho filtrante elaborado con semillas	17
Figura 7 Variación de Solidos totales disueltos con el lecho filtrante elaborado con semillas..	17
Figura 8 Variación de nitrito con el lecho filtrante elaborado con semillas.....	18
Figura 9 Variación de nitrato con el lecho filtrante	19
Figura 10 Variación de fosfato con el lecho filtrante.....	20
Figura 11 Crecimiento de alevinos de <i>O. niloticus</i>	20
Figura 12 Supervivencia de alevinos de <i>Oreochromis niloticus</i>	21

Resumen

La presente investigación evaluó la eficiencia de biofiltros elaborados con semillas en la remoción de compuestos nitrogenados y fosfatados, y su efecto sobre el crecimiento y supervivencia en alevinos de *Oreochromis niloticus*. En la metodología se utilizaron 12 acuarios de 30 L distribuidos aleatoriamente, con tres repeticiones cada uno. Los biofiltros fueron elaborados con 120 g de semillas molidas, 50 g de piedras pequeñas y 30 g de espuma sintética. Los resultados mostraron que T1 con semilla de *M. oleifera*, presentó mayor eficiencia en remoción de turbidez (94.6%) y nitrito (97%), T2 con semilla de *C. spinosa* (Tara) destacó en nitrato (82.4%) y fosfato (87.3%), mientras que T3 con semilla de *P. americana* (palta) mostró eficiencias balanceadas con 90% en nitrato y 85% en fosfato. El análisis de varianza (ANOVA) reveló diferencias significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos para siete parámetros fisicoquímicos. En cuanto al crecimiento, T3 registró mayor valor (9.44 g; 8.35 cm), mientras que T1 obtuvo la mayor supervivencia (97%). La prueba de chi-cuadrado confirmó asociación significativa entre tratamiento y supervivencia ($\chi^2 = 122.995$; $p < 0.001$), en conclusión, los biofiltros elaborados con semillas naturales son eficientes en la remoción de compuestos nitrogenados y fosfatados, mejorando la calidad del agua y los parámetros productivos del cultivo de *O. niloticus*.

Palabras clave: Biofiltración, coagulantes naturales, calidad de agua, acuicultura sostenible, tilapia del Nilo

Abstract

The present research evaluated the efficiency of biofilters made with seeds in the removal of nitrogenous and phosphate compounds, and their effect on the growth and survival of *Oreochromis niloticus fingerlings*. The methodology used 12 randomly distributed 30 L aquariums, with three replications each. The biofilters were made with 120 g of ground seeds, 50 g of small stones and 30 g of synthetic foam. The results showed that T1 with *M. oil* seed, presented greater efficiency in removal of turbidity (94.6%) and nitrite (97%), T2 with *C. spinosa* (Tara) stood out in nitrate (82.4%) and phosphate (87.3%), while T3 with *P. Americana* (avocado) showed balanced efficiencies with 90% in nitrate and 85% in phosphate. The analysis of variance (ANOVA) revealed significant differences ($p < 0.05$) between treatments for seven physicochemical parameters. Regarding growth, T3 registered the highest value (9.44 g; 8.35 cm), while T1 obtained the highest survival (97%). The chi-square test confirmed a significant association between treatment and survival ($\chi^2 = 122.995$; $p < 0.001$), in conclusion, biofilters made with natural seeds are efficient in the removal of nitrogenous and phosphate compounds, improving water quality and the productive parameters of the *O. niloticus* crop.

Keywords: Biofiltration, natural coagulants, water quality, sustainable aquaculture, Nile tilapia

I. Introducción

La acuicultura enfrenta desafíos en la gestión de la calidad del agua debido al exceso de alimentación y la sobrepoblación (Aljehani & Laleg, 2023). Esta actividad ha experimentado un crecimiento en los últimos años, convirtiéndose en una fuente de proteína a nivel mundial, con una tasa de crecimiento anual promedio de 5.3% (Silva et al., 2020). Sin embargo, durante el cultivo, se generan aguas residuales que tienen impacto directo en la calidad del agua, siendo un problema de eutrofización el resultado del vertido de los efluentes (Martelli et al., 2024).

La eutrofización, genera alteraciones físicas y químicas del medio acuático, caracterizado por un incremento en las concentraciones de fósforo y nitrógeno (Martelli et al., 2024). Este proceso desencadena modificaciones en el ecosistema acuático, como la disminución de oxígeno, el aumento de la turbidez y la proliferación excesiva de algas (Pallavi & Kumari, 2024).

La calidad del agua constituye un factor crítico y determinante en el cultivo de *O. niloticus*, debido a que proporciona el medio en el cual los organismos realizan funciones vitales como la respiración, la osmorregulación, la eliminación de desechos metabólicos y la obtención de alimento (Delgado et al., 2025). En este contexto, esta especie presenta una alta sensibilidad a las variaciones en los parámetros fisicoquímicos y biológicos del medio acuático, lo cual influye directamente en su crecimiento, supervivencia y desempeño fisiológico (Flores et al., 2025).

Los niveles elevados de nutrientes influyen directamente en los procesos metabólicos, la tasa de conversión alimenticia y la respuesta inmunológica del organismo. Particularmente niveles de nitrito superiores a 0,75 ppm provocan estrés en los peces, mientras que valores mayores a 5 ppm pueden ser letales (Sabwa et al., 2022). De manera similar, los nitratos, cuando superan los 80 ppm son altamente tóxicos y alteran la composición química de los sedimentos, generando estrés fisiológico y disminuyendo la eficiencia alimentaria, como consecuencia de ello favorecen la aparición de enfermedades bacterianas (Sabit & Bayram, 2023). De igual modo el incremento de fósforo genera crecimiento algal en aguas superficiales, intensificando el proceso de eutrofización (Alonso et al., 2023). De igual manera, Motamedi et al., (2025) refiere que niveles de oxígeno disuelto inferiores a 3 mg/L reducen significativamente el crecimiento e incrementan la mortalidad.

Los efluentes de la acuicultura se pueden tratar utilizando tecnologías como la biorremediación, la aireación, la biocoagulación y la biofiltración a través de sistemas de producción como sistema de recirculación de acuicultura, IMTA (acuicultura multitrofica integrada) y acuaponía (García et al., 2024). Estos sistemas emplean procesos de metabolización y absorción de compuestos nitrogenados, en los cuales bacterias quimioautotróficas y heterotróficas consumen el NAT excretado por los peces, transformándolo en compuestos menos tóxicos y mejorando la calidad del agua (Silva et al., 2021).

La búsqueda de tecnologías sostenibles, que minimicen el impacto de los efluentes acuícolas ha llevado a explorar alternativas innovadoras, como el uso de semillas de *Moringa*

oleífera, *Caesalpinia spinosa* y *Persea americana*. Estas semillas poseen propiedades coagulantes, adsorbentes y antimicrobianas naturales que pueden ser útiles en el tratamiento del agua (Bravo et al., 2023). Respecto a *M. oleífera*, Marinho et al., (2022) demostraron que sus semillas pueden reducir hasta un 92% la turbidez y un 85% la DBO₅ en aguas residuales domésticas, evidenciando su potencial como biocoagulante natural. Por su parte, Seijas et al., (2022) refieren que los taninos y polifenoles presentes en *C. spinosa* poseen capacidad de adsorción de metales pesados y compuestos nitrogenados, con eficiencia de remoción superior al 70% para amonio y fosfatos, actuando mediante mecanismos de quelación e intercambio iónico.

En cuanto a *P. americana*, Lip (2023) identificaron que los compuestos polifenólicos de sus semillas presentan propiedades antimicrobianas que ayudan al control de patógenos en tratamiento de agua residual, además de su capacidad como agente coagulante natural. La combinación de estos mecanismos ofrece un tratamiento integral que aborda tanto la remoción de nutrientes como el control microbiológico.

En este contexto, el uso de coagulantes de origen natural se presenta como una alternativa tecnológica sostenible para abordar los desafíos ambientales y económicos asociados con los efluentes acuícolas. Las ventajas de estos coagulantes incluyen su biodegradabilidad, baja toxicidad residual, reducción de costos del tratamiento y disminución el impacto ambiental asociado con el uso de productos químicos (Trokhymenko & Chestnykh, 2024).

Aunque existen estudios sobre las propiedades de cada una de estas semillas, no se ha evaluado científicamente la eficiencia de Biofiltros a base de semillas el tratamiento de efluentes acuícolas, además no se ha determinado el impacto directo de estos sistemas de biofiltración sobre los parámetros de crecimiento y supervivencia de *O. niloticus*. Por ello, se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la eficiencia de los biofiltros elaborados con semillas de *Moringa oleífera*, *Caesalpinia spinosa* y *Persea americana* en la remoción de compuestos nitrogenados y fosfatados y su efecto sobre el crecimiento y supervivencia de alevinos de *Oreochromis niloticus*?

1.1. Objetivos de la investigación

Objetivo general

Evaluar la eficiencia de los biofiltros elaborados con semillas de *Moringa oleífera*, *Caesalpinia spinosa* (tara) y *Persea americana* (palta) en la remoción de compuestos nitrogenados y fosfatados y su efecto sobre el crecimiento y supervivencia en alevinos de *Oreochromis niloticus*.

Objetivo específico

Evaluar la calidad física y química del agua antes y después del tratamiento con el biofiltro elaborado con semillas de *Moringa oleífera*, *Caesalpinia spinosa* (tara) y *Persea americana* (palta).

Evaluar el crecimiento en alevinos de *O. niloticus* en biofiltros con semillas de *Moringa oleífera*, *Caesalpinia spinosa* (tara) y *Persea americana* (palta).

Determinar la eficiencia de los biofiltros mediante la concentración de los parámetros físico y químicos.

1.2. Formulación de hipótesis

Los biofiltros elaborados con semillas de *Moringa oleífera*, *Caesalpinia spinosa* (tara) y *Persea americana* (palta) marcaran diferentes niveles de eficiencia en la remoción de compuestos nitrogenados y fosfatados, influenciando en el crecimiento y supervivencia en alevinos de *Oreochromis niloticus*

1.3. Justificación de la investigación

La acuicultura presenta una serie de problemas relacionado con el uso ineficiente del agua, la acumulación de materia orgánica, nitrógeno y fósforo que, mal gestionados, terminan contaminando diversas fuentes hídricas (Chaverra & Garces, 2022). La presente investigación se justifica teóricamente por la necesidad de ampliar el conocimiento científico sobre métodos alternativos de biorremediación aplicados a sistemas acuícolas. Esta investigación contribuirá al desarrollo teórico específicamente en la caracterización de las propiedades adsorbentes y coagulantes de semillas nativas en sistemas acuáticos; comprensión de los mecanismos de remoción de nutrientes mediante bioadsorbente orgánicos; y la evaluación de la respuesta fisiológica de *O. niloticus* ante cambios en la calidad del agua mediados por biofiltración natural (Galves et al., 2020). Los resultados permitirán contrastar y ampliar las teorías existentes sobre tratamiento de aguas residuales acuícolas

La justificación metodológica de esta investigación se fundamenta en la selección de métodos que garantizan la validez científica y aplicabilidad de los resultados. El diseño experimental al azar permite establecer relaciones causales entre los biofiltros y su efecto sobre la calidad del agua y el comportamiento de *O. niloticus*, mientras que la elección de las semillas responde a criterios de disponibilidad regional, propiedades bioadsorbente y costos accesibles, asegurando así la replicabilidad del estudio. Por lo tanto, estos biofiltros constituyen una alternativa tecnológica que reduce los costos operativos de filtración convencional al eliminar la dependencia de equipos importados y productos químicos sintéticos. Por consiguiente, los resultados generaran información técnica sobre dosis efectivas, tiempos de contacto y eficiencias de remoción, información fundamental para el diseño e implementación de protocolos estandarizados de biofiltración.

La justificación social radica en su potencial para beneficiar directamente a pequeños y medianos acuicultores, que enfrentan limitaciones económicas para acceder a tecnologías convencionales de tratamiento de agua. La implementación de biofiltros naturales elaborados con semillas locales permitirá acceder a sistemas de filtración eficientes y de bajo costo, contribuyendo al fortalecimiento de la acuicultura. Esta tecnología sostenible facilitará la mejora

de la productividad en cultivos de *O. niloticus*, incrementando la disponibilidad de proteína animal de calidad a precios accesibles para la población (Garlok et al., 2024). De igual modo, al promover prácticas acuícolas ambientalmente responsables y económicamente viables, esta investigación contribuirá la generación de empleo, fortaleciendo el desarrollo socioeconómico local. Por consiguiente, la transferencia de este conocimiento científico al sector productivo impulsará la adopción de innovaciones tecnológicas accesibles que mejoran la calidad de vida de los acuicultores y sus familias, consolidando la acuicultura como una actividad productiva socialmente inclusiva y ambientalmente sostenible (Massi et al., 2024).

II. Marco Teórico

2.1. Antecedentes de investigación

Ynofuente & Flores (2020) encontró que, usando coagulantes a base de semilla de *M. oleífera*, la *O. ficus-indica* (tuna), la caña fistula, el *Cedrela odorata*, el durazno y el quitosano presentan una alta eficiencia en la remoción de turbidez, alcanzando porcentajes de reducción entre 84% y 100%, dependiendo de las condiciones iniciales del agua y la dosis aplicada. En conclusión, se verificó que moringa, tuna, caña fistula, el *Cedrela odorata*, durazno y el quitosano como coagulantes naturales utilizados en la reducción de la turbidez con 90-100% de eficiencia, luego el quitosano con 99.9% de eficiencia y la *Opuntia ficus-índica* con 98-99.8% de eficiencia.

Duran, (2021) en el análisis físico químico del agua obtuvo concentraciones de coagulante natural (Penca de Tuna y Moringa) al 0,5g/L; 1g/L y 1,5 g/L muestran que la concentración de 0,5 g/L de tuna obtuvo una turbidez de 3.32; asimismo a la muestra 3 la misma concentración de moringa con una turbidez de 3.53 con un pH dentro de los LMP. Finalmente, con la misma concentración de 0,5 g/L, pero distribuidos en la penca de tuna y moringa se aplica a la muestra 4 obteniéndose una turbidez de 1.84. En conclusión, cuando se realizó el análisis físico químico del agua con concentraciones de coagulante natural al 0,5 g/L, se identificó que, la turbidez alcanzó un mayor porcentaje de reducción al usar la Penca de Tuna y Moringa en la misma muestra, mientras que al usar solo Moringa obtuvo el menor porcentaje de reducción.

Alvares et al., (2023) obtuvo la mayor remoción de turbidez con 20 g/L de extracto crudo y tiempos de agitación de 35 y 60 minutos. La dosis de 125 mg/L fue la más efectiva, alcanzando una reducción de turbidez de hasta 82%. Se evidenció que dosis muy bajas o muy altas disminuyen la eficiencia, confirmando la necesidad de determinar una concentración óptima. En conclusión, la efectividad de la torta de semillas de “moringa” en remover la turbidez el tratamiento que proporciona mejor resultado es 20g/l de torta de semillas de “moringa”, con un tiempo de agitación de 35 minutos; mientras que, las dosis de 125 mg/l del extracto es la más adecuada para remover la mayor cantidad de aquellos sometidos a 30 y 60 minutos.

Avelares & López, (2020) identificó que el tratamiento T1 fue el más eficiente, logrando reducir la turbidez de 289 NTU a 81 NTU, evidenciando así el potencial de *M. oleífera* como agente floculante para el tratamiento de aguas residuales acuícolas.

Sáenz, (2019) observo que con la dosificación de 0.75 g, logro una reducción significativa en turbidez de 60 NTU hasta 9.6 NTU, mientras que la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se redujo desde 682 mg/L hasta 437 mg/L. Por otro lado, para las semillas de *C. spinosa*, se usó dosificaciones de 0.75 g, 1.0 g y 1.25 g. La concentración de 1.0 g demostró ser la más eficiente con reducción de turbidez de 60 a 17 UNT, disminución de sólidos suspendidos totales (SST) de 895 ppm a 676 ppm con una eficiencia del 24.5%.

Cutipa, (2024) obtuvo una remoción de turbiedad del 62.56% con una dosis óptima de 100 mg/l de semillas de durazno y del 62.03% con una dosis óptima de 59.22 mg/l de semillas de *P. americana* en condiciones de turbiedad alta. En condiciones de baja turbiedad, la remoción fue del 41.05% con 43.14 mg/l de durazno y del 36.78% con 43.44 mg/l de palta.

Jojoa et al., (2025) encontró que el tratamiento T3 (carga hidráulica de 300 m³/m²/día y 6 capas de GNT) presentó el mejor desempeño, con concentraciones de amonio de 0,43 ± 0,11 mg/L, nitrito de 0,021 ± 0,048 mg/L y nitrato de 67,8 ± 18,3 mg/L, valores adecuados para mantener la calidad del agua en la producción de tilapia roja. En conclusión, el mejor comportamiento de T3 se relaciona con el mayor flujo de circulación del agua en el sistema, proporcionado por la CH 300 m/h, que equivale al doble de la CH 150 m/h.

Leiva et al., (2024) encontró diferencias significativas en el peso final de *O. niloticus*, de 4.8±0.02, asimismo observo que el consumo de agua/biomasa y rendimiento de filete, fueron superiores en el SRA. La supervivencia fue de 95% en el SRA frente a 84% en el SAT. El consumo de agua fue considerablemente menor en el SRA (0.07 m³/kg) comparado con el SAT (1.04 m³/kg). La calidad del agua se mantuvo dentro de parámetros adecuados en ambos sistemas, aunque el SAT presentó mayores concentraciones de amoníaco y nitritos.

2.2. Bases teóricas

Los sistemas de biofiltración constituyen una técnica de purificación que emplea organismos biológicos vivos para eliminar impurezas presentes en el agua proveniente de diversas actividades antropogénicas, utilizando medios de filtración biológicos o materiales granulares tales como arena y antracita (Jojoa et al., 2025). Estructuralmente, un biofiltro se define como un conducto con paredes impermeabilizadas que alberga un lecho filtrante conformado por piedra volcánica, grava, arena u otros materiales de características similares (Carrillo et al., 2023). Dentro de este lecho se desarrollan procesos biológicos llevados a cabo por bacterias presentes en materiales orgánicos, las cuales se adhieren formando biopelículas sobre los materiales porosos, este método se caracteriza por promover la remoción de contaminantes mediante la acción de microorganismos encargados de fijar y degradar los nutrientes contenidos tanto en el agua como en el suelo (Agudelo et al., 2022).

En cuanto al funcionamiento de los medios filtrantes, es importante señalar que los poros pueden presentar dimensiones mayores que las partículas a separar, permitiendo que estas últimas

se desplacen a través del medio junto con el fluido, sin embargo, dichas partículas terminan siendo retenidas en los poros que se forman entre las partículas constituyentes del medio filtrante. Consecuentemente, el medio filtrante tiende a obstruirse por la acumulación de partículas, razón por la cual resulta necesario realizar lavados periódicos para restaurar su capacidad de filtración y garantizar la continuidad del proceso (Pabon et al., 2020). Entre las principales ventajas que ofrecen los biofiltros destacan los bajos costos operacionales, reducidos requerimientos energéticos, alta eficiencia en la eliminación de contaminantes y ausencia de generación de contaminantes secundarios (Brandao et al., 2024).

La semilla de *M. oleifera* ha sido ampliamente estudiada por su alto potencial como coagulante natural en el tratamiento de aguas residuales, destacando por contener proteínas solubles en agua con carga positiva que actúan como agentes coagulantes eficaces (Vera et al., 2023). Debido a que sus moléculas poliméricas presentan una carga positiva neta, este coagulante se clasifica como catiónico, característica que lo hace particularmente eficaz para la remoción de contaminantes presentes en aguas residuales (Ortega et al., 2025). En cuanto a su composición química, la semilla de *M. oleifera* está constituida principalmente por proteínas tipo globulinas y albúminas, las cuales representan el 53% y 44% de las proteínas totales respectivamente. Estas proteínas, a su vez, se encuentran formadas por aminoácidos, compuestos nitrogenados que contienen carbono, hidrógeno, oxígeno, azufre, fósforo, hierro y cobre, entre otros elementos (Vivas et al., 2022). Estas semillas contienen un compuesto activo conocido como péptido catiónico, el cual presenta un peso molecular aproximado de 13 kDa (Kilodalton) y un punto isoeléctrico entre 10 y 11. Respecto a los mecanismos de coagulación, se han identificado cuatro procesos principales: puente de polímero, neutralización de carga, compresión de doble capa y coagulación de barrido. De estos mecanismos, el puente de polímero y la neutralización de carga resultan ser los más relevantes para el empleo de coagulantes naturales (Calizaya et al., 2024).

C. spinosa está compuesta por polisacáridos que actúan como hidrocoloides, los cuales se encuentran principalmente en la semilla. Su composición química corresponde a un galactomanano conformado por galactosa y manosa, siendo un polímero biodegradable que actúa como clarificador, el endospermo de la semilla contiene aproximadamente 80% de galactomananos, lo cual le confiere propiedades para aplicaciones en tratamiento de agua (Del Castillo, 2022). Asimismo, este polímero presenta un elevado peso molecular de aproximadamente 351,400, además de poseer propiedades gelificantes y aglutinantes. Estas características resultan fundamentales en polímeros utilizados como coagulantes en el tratamiento de agua para consumo humano (Saquina, 2024). Por otra parte, los taninos de *C. spinosa* constituyen otro tipo de polímero encontrado dentro de sus semillas, vainas y tallo que, al ser extraídos, se utilizan como floculantes naturales (Monje & Acero, 2024)

La semilla de *P. americana* presenta un material celular que contiene taninos hidrolizables derivados de la familia del ácido gálico, los cuales ejercen diversos efectos en sistemas biológicos, tales como el atrapamiento y encapsulación de metales, actividad antioxidante y acción coadyuvante en procesos de precipitación (Barreto et al., 2020). Asimismo, las proteínas liberadas por esta semilla se enlazan con las partículas y bacterias suspendidas en el medio acuático, formando aglomerados que posteriormente son removidos mediante sedimentación (López & Chico, 2017). Respecto a su composición química, estas semillas poseen una gran variedad de compuestos bioactivos, entre los que destacan compuestos fenólicos, ácidos orgánicos, ácidos fenólicos, derivados de alcoholes fenólicos, flavonoides, catequinas y taninos condensados, así como otros compuestos polares. Entre todos ellos, los más representativos corresponden a los taninos condensados, los ácidos fenólicos y los flavonoides los cuales confieren a la semilla sus propiedades filtradoras y de adsorción de contaminantes (Cumpa, 2023).

La remoción de compuestos nitrogenados y fosfatados en agua residual involucra la utilización de métodos de tratamiento físico, químico, biológico o la combinación de varios de ellos (Nava et al., 2024). Dentro de los procesos físicos, los nitratos pueden ser eliminados fundamentalmente mediante ósmosis inversa, proceso que se basa en el paso de un solvente a través de una membrana semipermeable que retiene el soluto, requiriendo el uso de membranas especializadas según el tipo de contaminante presente (Cardenas & Sanches, 2020). Por otro lado, los métodos biológicos comprenden diversos mecanismos de transformación del nitrógeno. En primer lugar, la asimilación permite incorporar el nitrógeno amoniacal (NA) en la biomasa celular, especialmente en la síntesis de proteínas necesarias para el desarrollo de nuevas bacterias, en un proceso que no requiere consumo de oxígeno (Avendaño, 2021).

Complementariamente, la nitrificación constituye un proceso aerobio que convierte el NA en nitrato mediante la acción de bacterias quimio autótrofas que obtienen energía de la oxidación de compuestos inorgánicos; este proceso ocurre principalmente por la actividad de Nitrosomonas y Nitrobacter, las cuales transforman secuencialmente el amonio en nitrito y posteriormente el nitrito en nitrato (Martinez et al., 2024). Finalmente, la desnitrificación completa el ciclo al permitir la conversión biológica desde nitrato hasta nitrógeno molecular (N_2), liberándolo a la atmósfera; estas reacciones son catalizadas por la acción metabólica de microorganismos, tanto aerobios como anóxicos (Ramirez et al., 2023).

La remoción del fósforo de aguas residuales constituye un factor crítico para prevenir la eutrofización de los cuerpos de agua superficiales, proceso que desencadena floraciones algales nocivas, incrementa los costos de purificación del agua, disminuye el valor recreativo y de conservación de los ecosistemas acuáticos, provoca la pérdida de poblaciones naturales y representa un riesgo potencial para la salud humana debido a la producción de toxinas que pueden

contaminar las fuentes de agua potable (Alonso et al., 2023). Entre los métodos disponibles, la eliminación biológica representa la técnica más utilizada, la cual se fundamenta en la asimilación de fosfatos mediante su incorporación en biomasa microbiana o por precipitación química, requiriendo posteriormente procesos de clarificación y filtración para remover los sólidos generados (Carrasquero & Díaz, 2025). Cuando este tratamiento se realiza eficientemente, las plantas depuradoras logran controlar las floraciones algales, asegurando así ecosistemas acuáticos más saludables, agua potable de mejor calidad y condiciones óptimas para uso recreativo (Avila & Argueta, 2024).

El crecimiento en *O. niloticus* se define como el incremento progresivo en las dimensiones corporales (longitud y peso) a lo largo del tiempo, resultado del balance entre los procesos anabólicos y catabólicos del organismo (Sanchez et al., 2022). Esta especie se caracteriza por presentar un crecimiento acelerado, elevada tolerancia a altas densidades poblacionales, notable adaptación al cautiverio y capacidad de consumir una amplia gama de alimentos (Kaneshima et al., 2022).

Este proceso biológico está regulado por factores intrínsecos (genética, edad, sexo) y extrínsecos (temperatura, alimentación, calidad del agua). Dentro de los factores intrínsecos, el sexo desempeña un rol determinante, ya que los machos de tilapia presentan un crecimiento significativamente superior al de las hembras, pudiendo crecer al doble de velocidad (Garcia et al., 2024). Para cuantificar el desempeño productivo, se emplea la Tasa Específica de Crecimiento (TEC), la cual representa el porcentaje de aumento de biomasa por unidad de tiempo. En juveniles de tilapia cultivados durante 60 días, se han registrado valores entre 46.7% y 71.6%, dependiendo de las condiciones de cultivo. Este parámetro está directamente influenciado por la temperatura del agua, siendo 28°C la temperatura óptima para alcanzar el máximo crecimiento (Sanabia et al., 2025).

La tasa de supervivencia en alevines de *O. niloticus* varía dependiendo del sistema de cultivo empleado y las condiciones ambientales del medio. Durante 60 días de crianza, los valores fluctúan entre 85.3% y 96.3%, considerándose normales aquellos iguales o superiores a 87.7%, mientras que porcentajes de 80% o inferiores denotan fragilidad en el lote y deficiencias en el manejo (Estrada et al., 2024). Respecto a los sistemas de producción, en cultivos intensivos como los raceway en estanques se han reportado tasas entre 82% y 84%, mientras que en sistemas de monocultivo las tasas promedio oscilan entre 75% y 78%, estos valores demuestran que, aunque los sistemas intensivos pueden alcanzar mayores densidades de siembra, no necesariamente garantizan tasas de supervivencia superiores a los sistemas menos intensivos cuando el manejo es adecuado (Valdez et al., 2025).

Sin embargo, las etapas tempranas del desarrollo (larvas y alevines) representan el periodo más crítico en el ciclo productivo, donde la nutrición y la calidad de la semilla juegan un rol determinante, las hembras reproductoras bien alimentadas producen huevos más grandes y con mayores reservas de nutrientes, incrementando significativamente las probabilidades de supervivencia de los alevines, sin embargo, cuando no se cubren los requerimientos nutricionales de las crías (50% de proteína en su primera fase), se producen mortalidades del 50% al 60%, evidenciando la importancia crítica de la nutrición adecuada desde las etapas iniciales (Maetinez et al., 2022). Dado que la supervivencia está determinada por múltiples factores ambientales, de manejo y biológicos que interactúan de manera compleja, resulta fundamental implementar estrategias de manejo como prácticas de alimentación óptimas adaptadas a las necesidades de cada etapa de desarrollo, monitoreo de la calidad del agua asegurando que los parámetros permanezcan dentro de los rangos aceptables para la especie, y la aplicación de medidas preventivas de enfermedades que incluyan protocolos de bioseguridad y, cuando sea necesario, programas de vacunación (Hernandez et al., 2025).

III. Materiales y métodos

3.1. Localización del experimento

El trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Limnología e Impacto ambiental de la Escuela Profesional de Biología en Acuicultura de la Universidad Nacional del Santa, departamento de Ancash, Provincia del Santa, Distrito de Nuevo Chimbote, Perú.

3.2. Material experimental

3.2.1. Material biológico

Los alevinos de *O. niloticus* fueron adquiridos del Distrito de Casma (9°28'27"S 78°18'38"O), departamento de Ancash, provincia del Santa.

3.2.2. Elaboración de harina de las semillas de *M. oleífera*, *C. espinosa* y *P. americana*

Las semillas fueron recolectadas, verificando su estado de maduración mediante inspección visual. Posteriormente, se retiró la cascara de cada semilla, luego se procedió a lavar con agua durante un 1 minuto, con el propósito de eliminar residuos adheridos a la semilla. Una vez completado el lavado, las semillas fueron secadas utilizando papel absorbente para remover el exceso de humedad. Posterior a ello, las semillas de *P. americana* fueron cortadas para un mejor secado, después, las semillas fueron distribuidas uniformemente sobre bandejas, y fueron introducidas en una estufa a 60°C durante un período de dos horas, con el objetivo de reducir el contenido de humedad.

Después del secado se procedió a moler las semillas utilizando un molino de mano, hasta obtener el tamaño adecuado. Posteriormente, las semillas fueron tamizadas utilizando un tamiz de 5 mm. Una vez obtenido el tamaño apropiado, el material fue envasado en bolsas herméticas

tipo ziploc y almacenada en ambiente seco a temperatura ambiente hasta su utilización en los experimentos.

3.3. Diseño experimental de investigación

Tabla 1

Diseño experimental de los sistemas de biofiltración

Tratamientos	Material filtrante	Repeticiones
T1	Piedras pequeñas	3
	Semilla de <i>M. oleífera</i>	
	Espuma sintética	
T2	Piedras pequeñas	3
	Semilla de <i>C. spinosa</i>	
	Espuma sintética	
T3	Piedras pequeñas	3
	Semilla de <i>P. americana</i>	
	Espuma sintética	

3.4. Preparación de las unidades experimentales

3.4.1. Diseño del biofiltro

La Figura 1 muestra el diseño funcional del sistema de biofiltración, elaborado a partir de botellas plásticas de 500 ml cada uno con tres capas. Para asegurar su operatividad, se realizó un orificio de 0.5 cm en la parte superior de la botella el cual permite el ingreso de aireación, mientras que en la parte superior del recipiente se incorporaron orificios de 0.25 cm destinados a facilitar la recirculación del agua, de igual modo se incorporó un paliglobo de 4 cm. Cada biofiltro fue estructurado en tres capas: la capa 1 (fondo) contiene 50 gramos de piedras pequeñas que actúan como soporte físico de flujo; la capa 2 estuvo compuesta por 120 gramos de semillas, cuya función principal es la retención de contaminantes y la adsorción de compuestos orgánicos; y la capa 3 incluyó 30 gramos de espuma sintética de poro abierto, que contribuye a la filtración superficial y evita el paso de partículas gruesas. Este sistema fue diseñado para mantener las condiciones ambientales óptimas requeridas por los organismos acuáticos durante el proceso experimental.

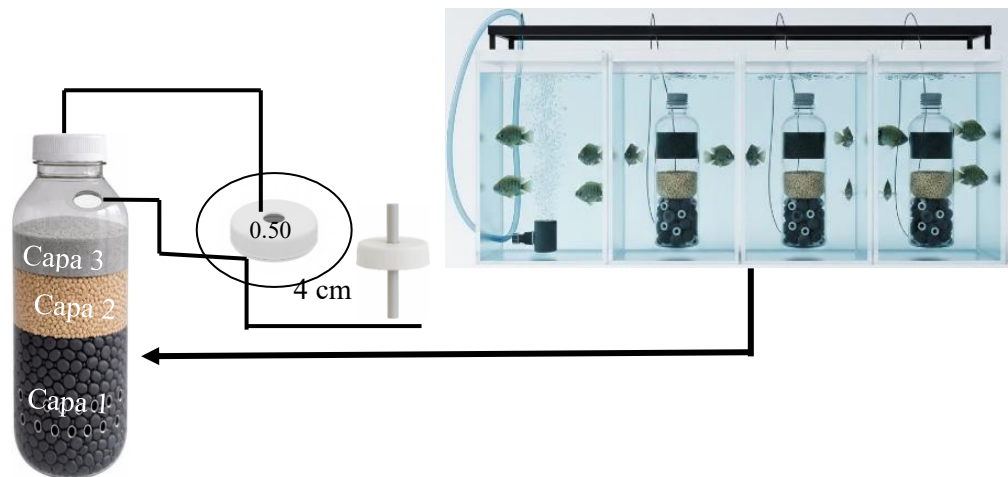


Figura 1. Prototipo del diseño del Biofiltro elaborado con semillas de *M. oleifera*, *C. spinosa* y semilla de *P. americana*

3.4.2. Sistema de biofiltración

El acondicionamiento se realizó en 12 recipientes de plástico con capacidad de 30 L cada uno, distribuidos aleatoriamente en el área experimental, cada recipiente conto con un volumen efectivo de 25 L de agua.

La figura 3, muestra un diseño experimental para evaluar el efecto de diferentes biofiltros sobre la calidad del agua en el crecimiento y supervivencia de *O. niloticus*. Los recipientes estuvieron organizados en cuatro tratamientos experimentales: TC (sin biofiltro), T1 (semilla de *M. oleifera*), T2 (semilla de *C. spinosa* “tara”), y T3 (semilla de *P. americana* “palta”). Cada tratamiento tuvo con tres repeticiones (R1, R2, R3), lo que permitió realizar análisis estadísticos y comparar la eficiencia de cada tipo de semilla como biofiltro natural. El tratamiento TC sirvió como referencia para evaluar las condiciones base sin biofiltro, mientras que los tratamientos T1, T2 y T3 permitieron observar el impacto de los biofiltros sobre parámetros fisicoquímicos del agua y el comportamiento de los peces. Además, este sistema estuvo controlado con llaves plásticas; y la aireación fue proporcionado por un blower de ½ HP, cuya distribución fue regulada diariamente, de tal manera que proporcione un flujo de agua para el sistema de cultivo.



Figura 2. Unidades experimentales

Nota: TC: Tratamiento control, T1: Tratamiento uno, T2: Tratamiento dos, T3: Tratamiento tres

3.5. Evaluación de la calidad del agua de los diferentes tratamientos de cultivo de *O. niloticus* con biofiltros a base de semillas

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos del agua se realizó cada ocho días durante el período experimental, la evaluación de la temperatura se realizará con Termómetro digital con sonda (precisión $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$), la turbidez con Turbidímetro digital 2100Q marca HACH (rango: 0-4000 NTU, precisión $\pm 2\%$), oxígeno disuelto y sólidos totales disueltos con Multiparámetro HANNA HI9828 (precisión ± 0.01 mg/L, rango: 0-50 mg/L), pH con pHmetro OAKTON (precisión ± 0.01 , rango: 0-14), nitrato, nitrato y fosfato con Colorímetro HACH con kit de reactivos PERMACHEM REAGENTS.

3.6. Biometría de *O. niloticus*

El peso de los alevines se determinó con una balanza analítica (Adam AQT600 $\pm 0,1$ g), la longitud se realizó con un Ictiometro (± 1 mm). La biometría se realizó antes de la siembra y cada 15 días después de la siembra. Para determinar el crecimiento en peso y talla usó las siguientes formulas.

Velocidad de crecimiento en peso (VCP)

$$VCP = \frac{(\text{peso final} - \text{peso inicial})}{\text{Tiempo (días)}}$$

Velocidad de crecimiento en talla (VCT)

$$VCT = \frac{(\text{talla final} - \text{talla inicial})}{\text{Tiempo (días)}}$$

Tasa de crecimiento en peso (TCP)

$$\%TCP = \frac{\ln(\text{peso final}) - \ln(\text{peso inicial})}{\text{Tiempo (días)}} \times 100$$

Tasa de crecimiento en talla (TCT)

$$\%TCT = \frac{\ln(\text{peso final}) - \ln(\text{peso inicial})}{\text{Tiempo (días)}} \times 100$$

Supervivencia

$$S (\%) = \frac{N_i \times 100}{N_0}$$

Donde: N_0 = Numero inicial de alevines

N_i = Numero final de alevines

3.7. Análisis estadísticos

Para evaluar la eficiencia de los biofiltros elaborados con semillas, se realizó un análisis estadístico utilizando el software IBM SPSS Statistics versión 27 para Windows.

Inicialmente, se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk para determinar si los datos seguían una distribución normal. Posteriormente, se empleó la prueba de Levene para verificar el supuesto de homogeneidad de varianzas entre los grupos de tratamiento. Con el fin de determinar si existían diferencias significativas entre los tratamientos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía. Adicionalmente, para evaluar el efecto de los tratamientos sobre el crecimiento en peso y talla de *O. niloticus*, se aplicó un ANOVA factorial mixto.

IV. Resultados

4.1. Calidad física y química del agua antes y después del tratamiento con el biofiltro elaborado con semillas

4.1.1. Parámetros físicos

a. Temperatura (°C)

Los valores iniciales de temperatura oscilaron entre 22.7°C y 22.9°C, observándose una disminución progresiva a lo largo del experimento hasta alcanzar valores finales de 19.6°C a 19.9°C. El tratamiento control (TC), sin presencia de biofiltro, presentó una temperatura final de 19.9°C, mientras que el tratamiento T1 registró 19.7°C. Los tratamientos T2 y T3 mostraron los valores más bajos, ambos con 19.6°C al finalizar el periodo de evaluación.

La variación térmica observada ($\Delta 3^{\circ}\text{C}$) se mantuvo dentro de los rangos establecidos por los estándares de calidad ambiental para la conservación del ambiente acuático (Categoría 4), cumpliendo con los criterios para ecosistemas lénticos (E1: lagos y lagunas) y lóticos (E2: ríos, costa y sierra). La disminución de temperatura en el tratamiento control (TC), a pesar de no contar con biofiltros está relacionado con la pérdida natural de calor en sistemas abiertos, la ausencia de actividad biológica que genere calor metabólico. En cambio, los tratamientos con biofiltros mostraron mayor eficiencia en la disipación térmica, debido a la actividad microbiana asociada a las semillas, la mayor superficie de contacto y la capacidad de los lechos filtrantes para estabilizar las condiciones físico-químicas del agua, lo cual favorece un entorno más adecuado para el desarrollo de los alevinos de *O. niloticus*.

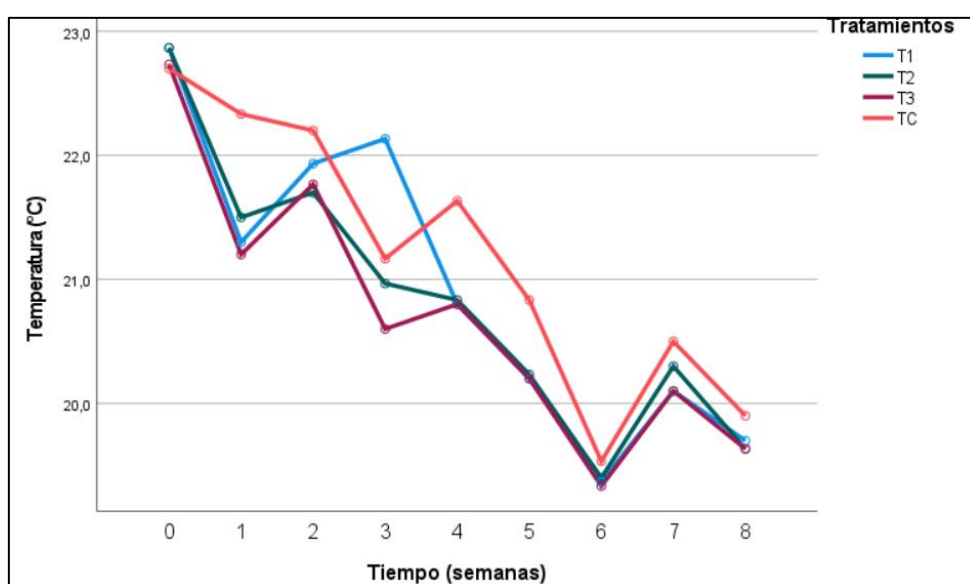


Figura 3. Variación de temperatura con diferente tratamiento de biofiltros elaborados con semillas de *M. oleífera* (T1), *C. spinosa* (T2) y semilla de *P. americana* (T3)

b. Turbidez (NTU)

La turbidez inicial osciló entre 9.697 y 15.067 NTU en la semana 0. Al finalizar el experimento (semana 8), se observó una disminución significativa en todos los tratamientos con biofiltros. El tratamiento T1 presentó la mayor eficiencia, reduciendo la turbidez de 13.533 NTU hasta 0.730 NTU, lo que representa una eficiencia del 94.6%. El tratamiento T3 mostró una reducción de 9.697 NTU hasta 0.997 NTU, alcanzando una eficiencia del 89.7%. Por su parte, el tratamiento T2, a pesar de presentar el valor inicial más alto (15.067 NTU), logró una reducción hasta 4.270 NTU, con una eficiencia del 71.7%.

En contraste, el tratamiento control (TC), sin presencia de biofiltro, mostró un comportamiento irregular con fluctuaciones pronunciadas, incrementándose desde 0.943 NTU hasta 12.787 NTU al finalizar el experimento. Este incremento se relaciona con la incorporación del alimento, la acumulación progresiva de materia orgánica, sólidos suspendidos, debido a la

ausencia de un medio filtrante que regule la calidad del agua. La falta de retención física y de actividad biológica en el TC favoreció el aumento de partículas en suspensión, lo que se traduce en un deterioro de las condiciones ópticas del medio.

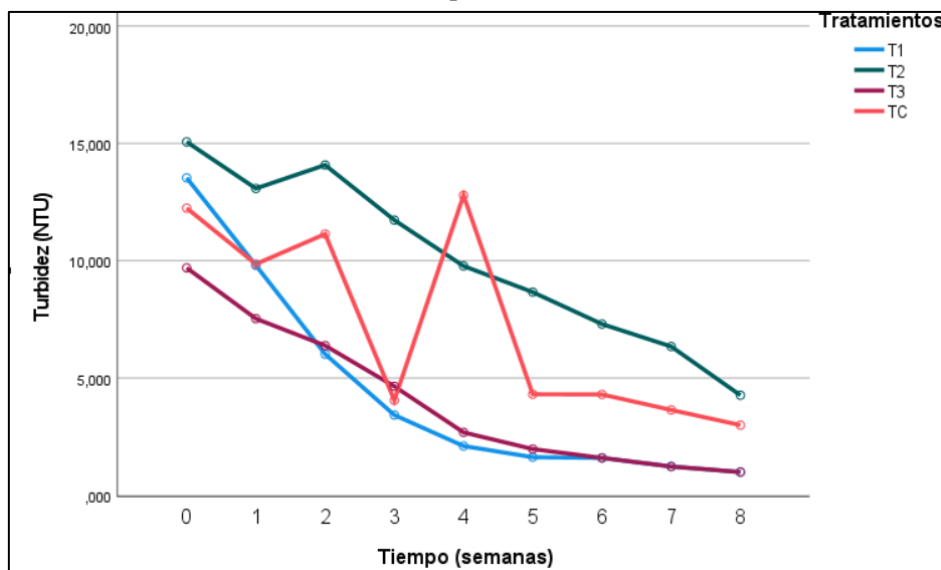


Figura 4. Variación de turbidez con diferente tratamiento de biofiltros elaborados con semillas de *M. oleífera* (T1), *C. spinosa* (T2) y semilla de *P. americana* (T3)

4.1.2. Parámetros químicos

a. Oxígeno disuelto (mg/l)

Los TC y T2 permanecieron por debajo del estándar de calidad ambiental, sugiriendo que los lechos filtrantes elaborados con semillas de moringa y palta proporcionaron condiciones de oxigenaciones superiores.

Los valores iniciales de oxígeno disuelto fueron: TC 4.9 mg/L, T1 4.2 mg/L, T2 4.3 mg/L y T3 5.6 mg/L, de los cuales tres tratamientos estuvieron por debajo del valor mínimo establecido por los Límites Máximos Permisibles Acuícolas de Estados Unidos (5 mg/L). Durante el experimento se observaron fluctuaciones significativas con una caída crítica en la semana 3 (2.5-3.5 mg/L) seguida de recuperación progresiva. Los valores finales fueron: TC 6.4 mg/L, T1 5.7 mg/L, T2 4.6 mg/L y T3 6.3 mg/L. Los tratamientos T1 y T3 cumplieron con los estándares de calidad ambiental para la conservación del ambiente acuático (Categoría 4, E1 y E2: ≥ 5 mg/L), mientras que T2 permaneció por debajo del estándar.

El incremento de oxígeno en el tratamiento control se atribuye a la aireación generado por el blower y menor consumo de oxígeno al carecer de comunidad microbiana en los biofiltros. No obstante, las fluctuaciones observadas en todos los tratamientos se relacionan con el suministro de alimento dos veces al día, que incrementa temporalmente la demanda bioquímica de oxígeno por descomposición de materia orgánica. Los tratamientos T1 y T3 mostraron mayor eficiencia en la oxigenación del sistema debido a la actividad de bacterias nitrificantes colonizadas en las semillas y su estructura porosa que favorece el intercambio gaseoso.

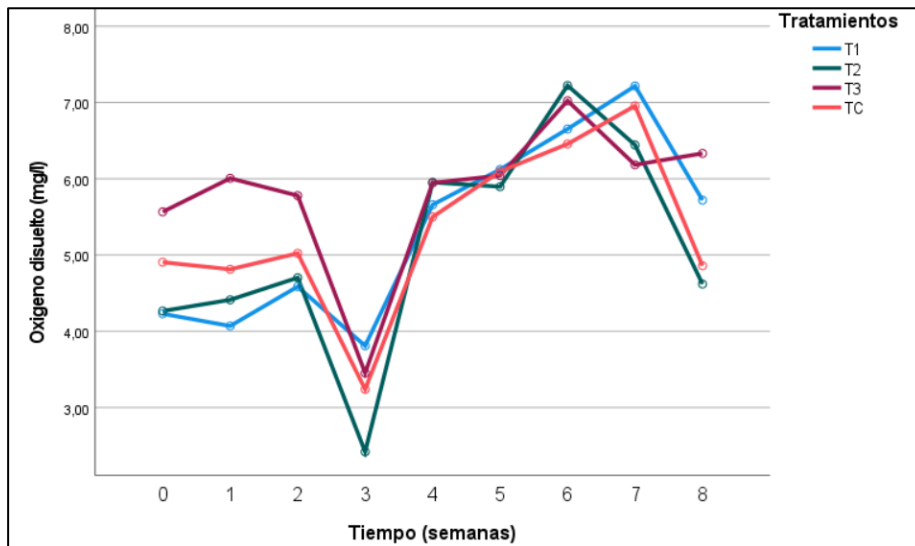


Figura 5. Variación del oxígeno disuelto con diferente tratamiento de biofiltros elaborados con semillas de *M. oleífera* (T1), *C. spinosa* (T2) y semilla de *P. americana* (T3)

b. pH (unidades)

Los valores iniciales de pH fueron: TC 6.25, T1 6.58, T2 6.72 y T3 6.73, cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles Acuícolas establecidos por México y Estados Unidos (rango: 6-9 unidades). Durante el experimento se observó una estabilización durante la semana 4 y 7 con valores cercanos a 8.0 unidades. Los valores finales (tiempo 8) fueron: TC 7.78, T1 7.71, T2 7.67 y T3 7.79. Todos los tratamientos cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental (Categoría 4, E1 y E2: rango 6.5-9.0 unidades), manteniéndose por encima de 7.5 unidades a partir de la segunda semana de evaluación.

El incremento del pH en el tratamiento control se relaciona con la actividad fotosintética del fitoplancton presente en el sistema, que consume CO₂ disuelto durante las horas de luz, reduciendo la concentración de ácido carbónico y elevando el pH del agua. La estabilización del pH en todos los tratamientos evidencia que los biofiltros contribuyeron eficientemente en el mantenimiento de condiciones óptimas para el cultivo de alevinos de *O. niloticus*, especie que requiere pH neutro a ligeramente alcalino para su adecuado crecimiento y supervivencia.

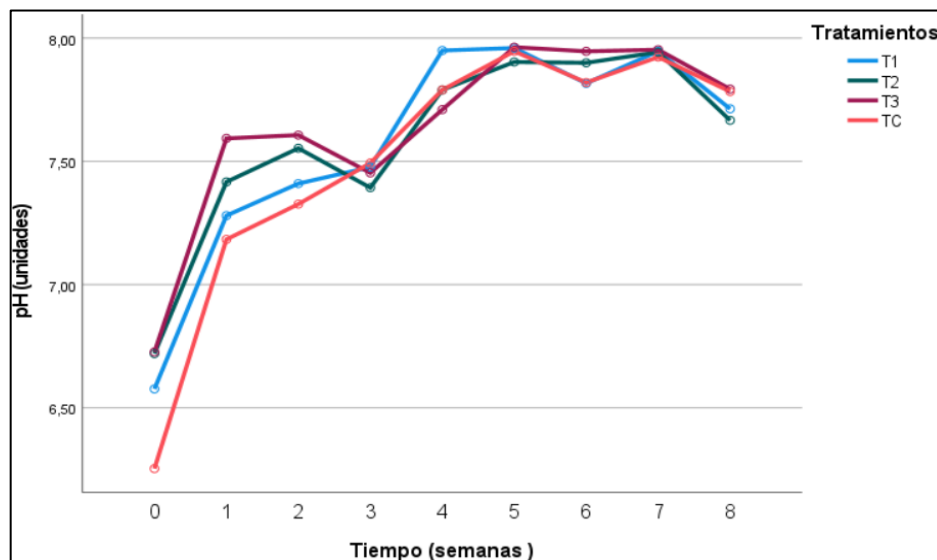


Figura 6. Variación del pH con diferente tratamiento de biofiltros elaborados con semillas de *M. oleifera* (T1), *C. spinosa* (T2) y semilla de *P. americana* (T3)

c. Sólidos totales disueltos (mg/l)

Los valores iniciales de sólidos totales disueltos fueron: TC 314 mg/L, T1 318 mg/L, T2 316 mg/L y T3 330 mg/L, superando los Límites Máximos Permisibles Acuícolas establecidos por México y Estados Unidos (50-60 mg/L). Al finalizar el experimento (semana 8), se observó un comportamiento diferenciado entre tratamientos: el TC incrementó significativamente a 504 mg/L, mientras que los tratamientos con biofiltros redujeron sus concentraciones a T1 235 mg/L, T2 210 mg/L y T3 243 mg/L, demostrando eficiencias de remoción del 26.1%, 33.5% y 26.4%. A pesar de las reducciones observadas, todos los valores finales excedieron los Estándares de Calidad Ambiental (Categoría 4, E1 y E2: ≤ 25 -100 mg/L).

El incremento de sólidos totales disueltos en el tratamiento control (60.5% de aumento) se explica por la acumulación de materia orgánica disuelta por descomposición de restos alimenticios y la ausencia de un sistema de filtración que remueva estos compuestos del agua. Sin embargo, las concentraciones elevadas de sólidos totales disueltos afectan la osmorregulación de los alevinos de *O. niloticus*, incrementando el estrés fisiológico y reduciendo la eficiencia de intercambio gaseoso a nivel branquial, por lo que los lechos filtrantes, particularmente T2, contribuyeron a mitigar el problema.

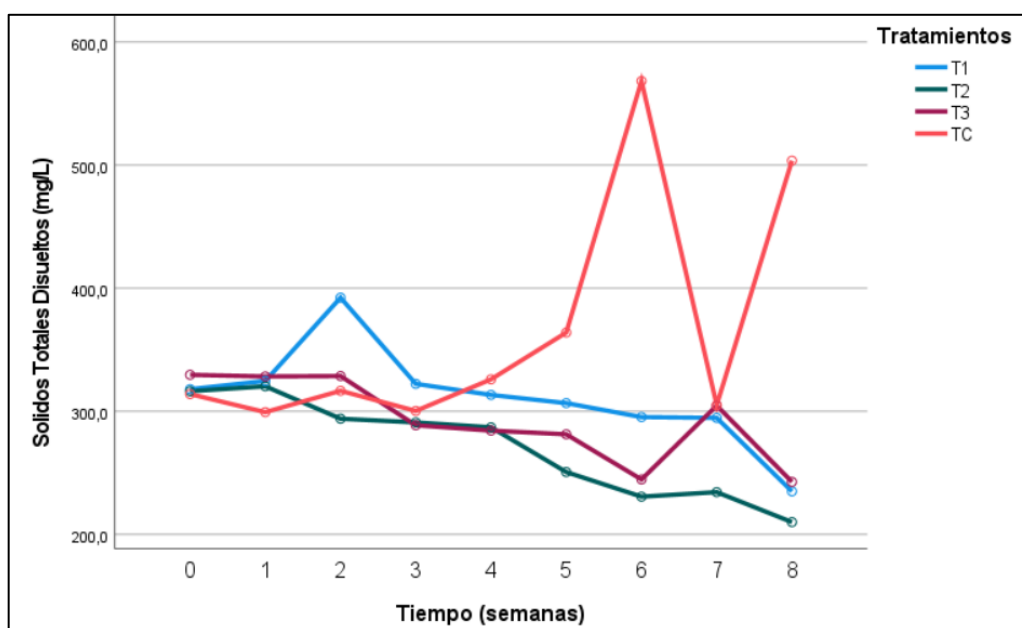


Figura 7. Variación de Sólidos totales disueltos con diferente tratamiento de biofiltros elaborados con semillas de *M. oleifera* (T1), *C. spinosa* (T2) y semilla de *P. americana* (T3)

d. Nitrito (NO_2^-)

Los valores iniciales de nitrito fueron: TC 0.025 mg/L, T1 0.296 mg/L, T2 0.119 mg/L y T3 0.093 mg/L. Al finalizar el experimento (semana 8), se observaron variaciones: el TC incrementó a 0.374 mg/L, mientras que los tratamientos con biofiltros redujeron

significativamente sus concentraciones a T1 0.008 mg/L, T2 0.037 mg/L y T3 0.007 mg/L. Los tratamientos T1 y T3 mostraron mayores eficiencias de remoción con 97.3% y 92.5%, mientras que T2 registró 68.9%.

El incremento de nitrito en el tratamiento control (96% de aumento) se debe a la acumulación progresiva de este compuesto como producto intermedio de la oxidación del amonio excretado por los peces, proceso que ocurre parcialmente por bacterias nitrificantes presentes naturalmente en el agua, pero sin un sistema de filtración eficiente que complete la conversión a nitrato, generando acumulación tóxica en el medio. El nitrito es altamente tóxico para los alevinos de *O. niloticus* ya que interfiere con el transporte de oxígeno en la sangre al oxidar la hemoglobina a metahemoglobina, causando hipoxia tisular, estrés respiratorio y mortalidad, por lo que los lechos filtrantes con semillas de moringa y palta demostraron ser eficientes para mantener concentraciones eficientes para garantizar la supervivencia de los organismos cultivados.

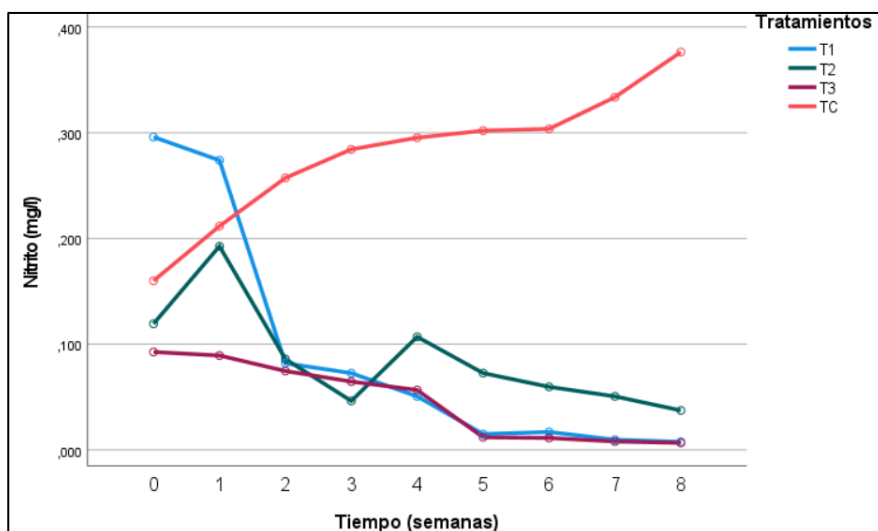


Figura 8. Variación de nitrito con diferente tratamiento de biofiltros elaborados con semillas de *M. oleifera* (T1), *C. spinosa* (T2) y semilla de *P. americana* (T3)

e. Nitrato (NO_3^-)

Los valores iniciales de nitrato fueron: TC 1.033 mg/, T1 1.033 mg/L, T2 1.367 mg/L y T3 0.967 mg/L. Al finalizar el experimento (semana 8), se registraron concentraciones de: TC 0.867 mg/L, T1 0.867 mg/L, T2 0.240 mg/L y T3 0.100 mg/L, representando eficiencias de remoción de 16.0% para T1, 82.4% para T2 y 90% para T3. Todos los valores finales cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental (Categoría 4, E1 y E2: ≤ 13 mg/L). Los resultados evidencian que los biofiltros con semillas de *C. spinosa* y *P. americana* fueron particularmente efectivos en la remoción de nitratos.

El tratamiento control presentó valores elevados durante el experimento (hasta 4.5 mg/L en la semana 4), lo que se explica por la conversión no controlada de nitrito a nitrato mediante bacterias nitrificantes presentes naturalmente en el agua, generando acumulación temporal de este

compuesto como producto final de la oxidación del amonio, sin un sistema que regule o remueva eficientemente estos compuestos del medio.

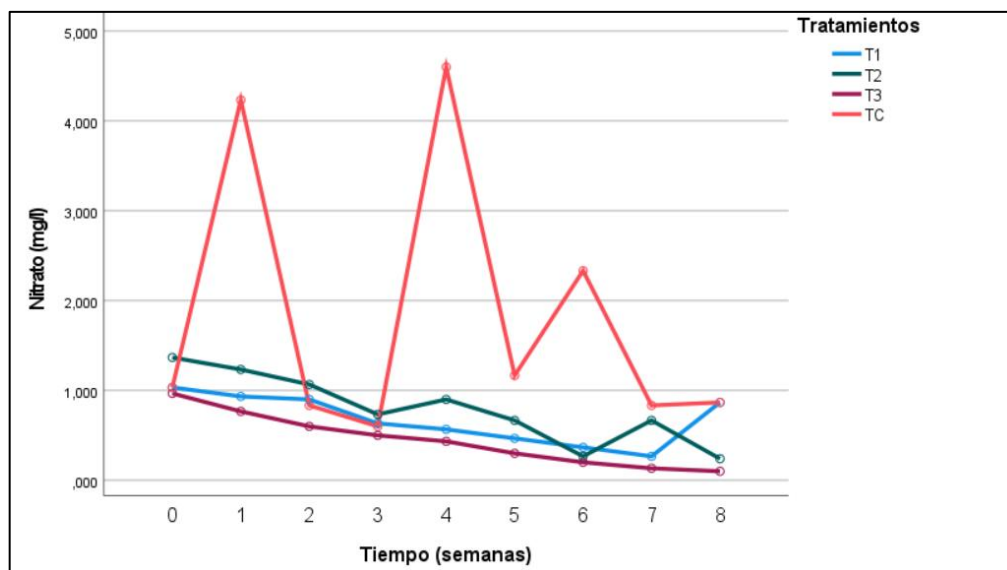


Figura 9. Variación de nitrato con diferente tratamiento de biofiltros elaborados con semillas de *M. oleifera* (T1), *C. spinosa* (T2) y semilla de *P. americana* (T3)

f. Fósforo (PO_4^{3-})

Los valores iniciales de fosfato fueron: TC 0.344 mg/L, T1 8.067 mg/L, T2 7.767 mg/L y T3 6.567 mg/L, los tratamientos con biofiltros superaron los Límites Máximos Permisibles Acuícolas establecidos por México (0.2 mg/L) y Estados Unidos (<0.3 mg/L). Al finalizar el experimento (semana 8), se registraron concentraciones de: TC 5.367 mg/L, T1 1.260 mg/L, T2 0.990 mg/L y T3 0.963 mg/L, representando eficiencias de remoción de 84.4% para T1, 87.3% para T2 y 85.3% para T3. A pesar de las reducciones significativas, ningún tratamiento cumplió con los Estándares de Calidad Ambiental (Categoría 4, E1: 0.035 mg/L; E2: 0.05 mg/L), aunque T2 y T3 alcanzaron los niveles más bajos al final del experimento. Sin embargo, el incremento del fósforo en el tratamiento control (59% de aumento) se explica por la acumulación progresiva de este nutriente proveniente de los metabolitos excretados por los peces, la descomposición de alimento, y la ausencia de un sistema de filtración que remueva estos compuestos mediante procesos biológicos.

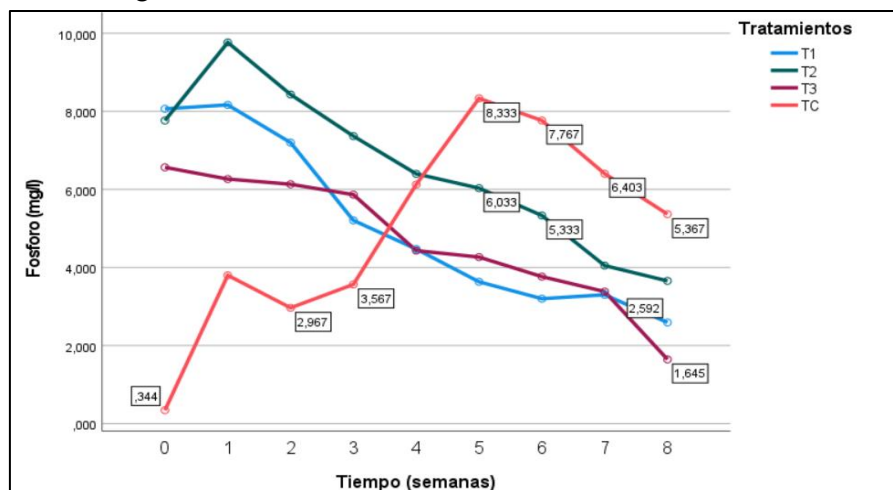


Figura 10. Variación de fosfato con diferente tratamiento de biofiltros elaborados con semillas de *M. oleífera* (T1), *C. spinosa* (T2) y semilla de *P. americana* (T3)

4.2. Crecimiento de alevinos de *O. niloticus* con biofiltros elaborados con semillas de *M. oleífera*, *C. spinosa* y *P. americana*

El tratamiento T3 presentó un mayor crecimiento, alcanzando hasta 5.6 cm, seguido de T1 con valores de 5.3 cm. El T2 mostró un crecimiento de 5.1 cm, mientras que el tratamiento control (TC) presentó los valores más bajos, con un crecimiento máximo de 4.9 cm. Esta diferencia sugiere que los biofiltros favorecieron un ambiente óptimo para el crecimiento de los organismos, por la capacidad de mejorar la calidad del agua mediante la remoción de compuestos tóxicos y la estabilización de parámetros fisicoquímicos.

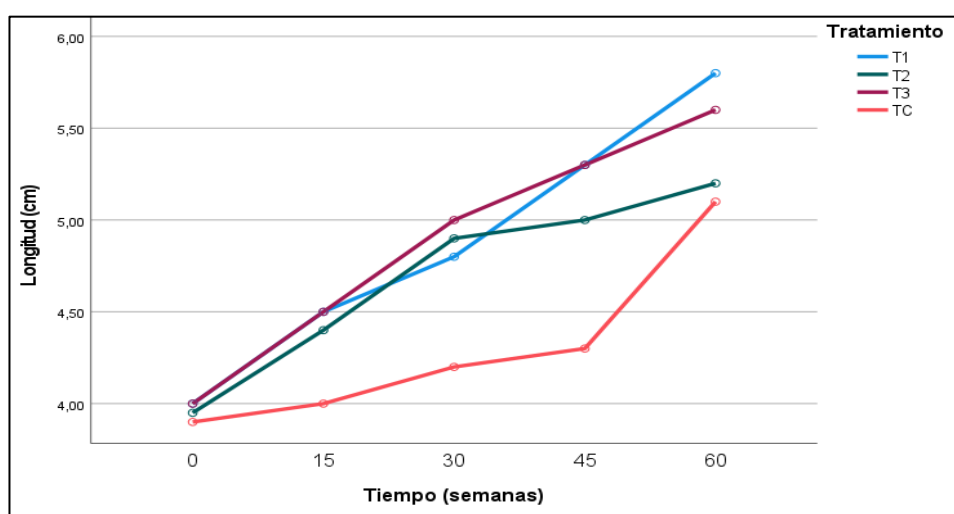


Figura 11. Crecimiento de alevinos de *O. niloticus*

Respecto a la supervivencia, durante el periodo experimental en los diferentes tratamientos: TC (control), T1 (Moringa), T2 (tara) y T3 (Palta). Los porcentajes de supervivencia obtenidos fueron: T1 con 97%, T2 con 90%, T3 con 83% y TC con 87%. El tratamiento T1 presentó el mayor porcentaje de supervivencia, seguido por T2 y T3, mientras que el tratamiento control (TC) mostró un valor intermedio. Estos resultados evidencian que los biofiltros elaborados con semillas de moringa y tara proporcionaron condiciones favorables para la supervivencia de los organismos, debido a su capacidad para mejorar la calidad del agua mediante la remoción de compuestos tóxicos, reducción de turbidez y estabilización de parámetros fisicoquímicos. No obstante, aunque el tratamiento control fue inferior al de los biofiltros, indicando que la ausencia de filtración biológica limita la capacidad del sistema para mantener condiciones óptimas de cultivo.

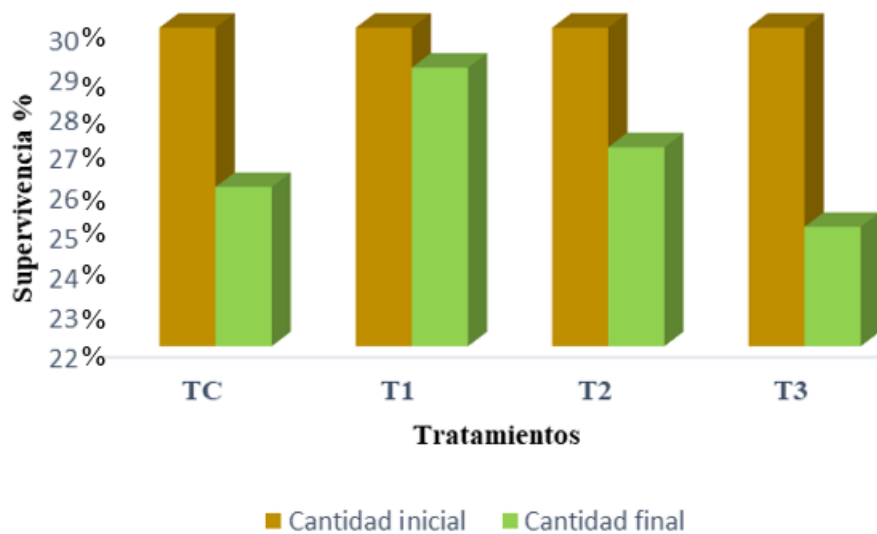


Figura 12. Supervivencia de alevinos de *Oreochromis niloticus*

4.3. Eficiencia de los biofiltros mediante la concentración de los parámetros físico y químicos

El T1 presentó mayor eficiencia en la remoción de nitrito, alcanzando un 97%; sin embargo, registró la menor eficiencia en nitrato (16%), sugiriendo limitaciones específicas en la transformación de este compuesto nitrogenado. El T2 presentó mayor eficiencia en la remoción de fosfato (87%); no obstante, este tratamiento presentó menor eficiencia en la remoción de sólidos totales disueltos (33.54%), evidenciando limitaciones en la capacidad de filtración física de partículas disueltas. Por su parte, el tratamiento T3 presentó mayor eficiencia en la remoción de nitrato (92%); sin embargo, registró menor eficiencia en la remoción de sólidos totales disueltos (26.36%), demostrando que este tratamiento presenta limitaciones en la filtración de compuestos disueltos.

Tabla 2

Eficiencia de remoción de los parámetros en los diferentes tratamientos con biofiltros a base de semillas

Tratamientos	NTU	STD mg/l	No ₂ mg/l	No ₃ mg/l	Po ₄ ³ mg/l
T1	94.60%	26%	97%	16%	84%
T2	71.65%	33.54%	69%	82%	87%
T3	89.71%	26.36%	92%	90%	85%

4.4. Prueba de normalidad de los parámetros físico y químico

Para determinar si los datos de cada tratamiento siguen una distribución normal, se aplicó la prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov. El criterio utilizado fue que sí, $p > 0.05$, no hay evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula; por lo tanto, los datos siguen una distribución

normal. Los resultados indicaron que, los valores de significancia fueron mayores a 0.05. Por lo tanto, podemos concluir que los datos presentan una distribución normal, lo que permite la aplicación de pruebas paramétricas en el análisis estadístico posterior.

Tabla 3

Prueba de normalidad Kolmogórov-Smirnov de los parámetros físico y químicos

Kolmogórov-Smirnov			
	Estadístico	gl	Sig.
Temperatura	0.120	108	0.135
Turbidez	0.183	108	0.173
Oxígeno	0.128	108	0.200
pH	0.135	108	0.200
Sólidos totales	0.245	108	0.138
Nitrito	0.189	108	0.132
Nitrato	0.239	108	0.200
Fosfato	0.083	108	0.123

4.5. Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas de los parámetros físico y químicos

Previo a la aplicación de pruebas paramétricas, se evaluó el supuesto de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Levene para los parámetros fisicoquímicos. Los resultados indicaron que todas las variables evaluadas cumplieron con el supuesto de homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$).

Todos los valores p fueron superiores al nivel de significancia α ($\alpha = 0.05$), por lo tanto, se acepta la hipótesis nula (H_0) que establece que las varianzas entre los grupos de tratamiento son homogéneas. Este resultado confirma que se cumple el supuesto de homogeneidad, lo cual valida la aplicación posterior de análisis de varianza (ANOVA) para evaluar las diferencias entre los tratamientos.

Tabla 4

*Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas de parámetros fisicoquímicos del agua en biofiltros con semillas de *Moringa oleifera*, *Caesalpinia spinosa* y *Persea americana**

	Estadístico de Levene	gl 1	gl 2	Sig.
Temperatura	0.149	2	105	0.862
Turbidez	0.406	2	105	0.667
Oxígeno	0.774	2	105	0.464
pH	0.207	2	105	0.813
Sólidos totales	0.412	2	105	0.663
Nitrito	0.601	2	105	0.550
Nitrato	1.616	2	105	0.204
Fosfato	0.883	2	105	0.417

4.6. Análisis de varianza de los parámetros físico, químico y biológicos

Los resultados del ANOVA revelaron que siete parámetros fisicoquímicos presentaron diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$) entre tratamientos. Sin embargo, los sólidos totales disueltos no mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($p > 0.05$).

Para los siete parámetros que presentaron valores $p < 0.05$, se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alternativa (H_1), confirmando que al menos uno de los tratamientos presenta diferencias significativas en la remoción de parámetros fisicoquímicos del agua. En contraste, para los sólidos totales disueltos ($p > 0.05$), se acepta la hipótesis nula (H_0) y se rechaza la hipótesis alternativa (H_1), indicando que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para este parámetro.

Tabla 5

*Análisis de varianza (ANOVA) de la eficiencia de remoción en la calidad de agua del cultivo de *Oreochromis niloticus**

Variables	SC	GL	Media cuadrática	F	Sig.
Temperatura	0.032	2	0.016	0.013	0.000
Turbidez	4.850	2	2.425	0.094	0.031
Oxígeno	0.042	2	0.021	0.012	0.001
pH	0.009	2	0.005	0.024	0.001
STD	304,500	2	152,750	0.231	0.842
Nitrito	0.026	2	0.013	2.215	0.037
Nitrato	0.782	2	0.391	0.272	0.036
Fosfato	2.937	2	1.468	0.200	0.045

Nota: SC = Suma de cuadrados; GL = Grados de libertad. Nivel de significancia $p < 0,05$.

4.7. Análisis del crecimiento en peso y talla de *Oreochromis niloticus* bajo diferentes tratamientos de biofiltros mediante análisis de varianza (ANOVA)

El análisis de varianza (ANOVA) realizado para evaluar el crecimiento en peso y talla de los alevines de *Oreochromis niloticus* evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. En relación con el peso, se obtuvo un nivel de significancia de $p = 0,001$, lo que indica que existen diferencias significativas en el incremento de peso de los alevines atribuibles a los tratamientos aplicados. De manera similar, para la variable talla se registró un valor de significancia de $p = 0,023$, confirmando que los tratamientos influyeron significativamente en el crecimiento en longitud de los alevines de *O. niloticus*.

Tabla 6*Crecimiento en peso y talla de alevines de O. niloticus*

Variables	SC	GL	Media cuadrática	F	Sig.
Peso	10,310	12	0.859	0.003	0.001
Talla	2,807	12	0.234	0.018	0.023

Nota: SC = Suma de cuadrados; GL = Grados de libertad. Nivel de significancia $p < 0,05$

Tabla 7*Pruebas de Chi-cuadrado para asociación entre tratamiento y supervivencia de Oreochromis niloticus*

Prueba estadística	Valor	gl	Significación asintótica
Chi-cuadrado de Pearson	122.995	9	0.000
Razón de verosimilitud	139.443	9	0.000
N de casos válidos	120		

La aplicación de la prueba de chi-cuadrado de Pearson reveló una asociación estadísticamente significativa entre los tratamientos y la supervivencia de los alevinos de *Oreochromis niloticus* ($\chi^2 = 122,995$; $gl = 9$; $p < 0,001$). La significancia altamente estadística permite rechazar la hipótesis nula, confirmando que los diferentes tipos de tratamientos ejercen efectos diferenciados sobre la tasa de supervivencia observado.

V. Discusión

5.1. Calidad física y química del agua antes y después del tratamiento con el biofiltro elaborado con semillas

Los resultados mostraron que la temperatura disminuyó en todos los tratamientos desde valores iniciales de 22.7-22.9°C hasta 19.6-19.9°C, manteniéndose dentro de los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para ecosistemas acuáticos. Esta variación térmica no comprometió las condiciones de cultivo, ya que *O. niloticus* presenta tolerancia a rangos amplios de temperatura (20-30°C) (Kelany et al., 2024). Los tratamientos con biofiltros (T1, T2, T3) registraron temperaturas inferiores al control, lo cual se atribuye a la mayor actividad microbiana en los lechos filtrantes que genera procesos metabólicos endotérmicos y mayor superficie de contacto para intercambio térmico (Delgado R. , 2024). Este hallazgo coincide con Jojoa et al., (2025), quienes reportaron que los biofiltros en sistemas de recirculación acuícola mantienen temperaturas estables mediante la regulación de procesos biogeoquímicos.

La turbidez inicial varió entre 9.697 y 15.067 NTU, observándose una reducción significativa en todos los tratamientos con biofiltros al finalizar el experimento. La eficiencia se fundamenta en las proteínas catiónicas de bajo peso molecular presentes en las semillas, particularmente el péptido catiónico de aproximadamente 13 kDa identificado en *M. oleífera* (Guzman et al., 2023). Los resultados obtenidos son consistentes con los reportados por Alvares

et al. (2023) quienes encontraron eficiencias de remoción de turbidez de hasta 82% utilizando semillas de *M. oleífera*, y con Avelares & López (2020), quienes lograron reducir la turbidez de 289 NTU a 81 NTU en agua residual de cultivo de tilapia. Por otro lado, el tratamiento control mostró un comportamiento irregular con incremento progresivo de la turbidez hasta alcanzar 12.787 NTU al finalizar el experimento, evidenciando que la ausencia de un medio filtrante favorece la acumulación de partículas en suspensión provenientes del alimento suministrado y los metabolitos de los peces. Este fenómeno ha sido documentado por Martelli et al. (2024) quienes señalan que los sistemas acuícolas sin tratamiento de efluentes experimentan deterioro continuo de las condiciones ópticas del medio, afectando negativamente la penetración de luz y el bienestar de los organismos cultivados.

Los valores finales de oxígeno disuelto fueron: TC 6.4 mg/L, T1 5.7 mg/L, T2 4.6 mg/L y T3 6.3 mg/L. Los tratamientos T1 y T3 cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental (≥ 5 mg/L). Las fluctuaciones observadas durante el experimento, en la semana 3 (2.5-3.5 mg/L), se relacionan con el establecimiento de comunidades bacterianas nitrificantes en los biofiltros. Durante las etapas iniciales, las bacterias oxidantes de amonio consumen oxígeno para convertir el NH_3 en nitrito, incrementando temporalmente la demanda bioquímica de oxígeno (Martinez et al., 2024). Estos hallazgos concuerdan con Jojoa et al. (2025) quienes reportaron que los biofiltros mantienen condiciones adecuadas de oxígeno disuelto (>5 mg/L) en sistemas de recirculación acuícola, valores considerados óptimos para el cultivo de tilapia. El incremento de oxígeno observado en el tratamiento control (6.4 mg/L) se debe a la aireación proporcionada por el blower y al menor consumo biológico de oxígeno al carecer de comunidad microbiana asociada a biofiltros (Leiva et al., 2024). No obstante, Motamedi et al. (2025) advierten que niveles de oxígeno disuelto inferiores a 3 mg/L, como los registrados en la semana 3, reducen significativamente el crecimiento y aumentan la mortalidad en *O. niloticus*, evidenciando la importancia crítica de mantener valores adecuados durante todo el periodo de cultivo.

Los valores de pH incrementaron en todos los tratamientos, iniciando entre 6.25 y 6.73 unidades y finalizando entre 7.67 y 7.79 unidades. Todos los tratamientos cumplieron con los Estándares de Calidad Ambiental (Categoría 4: rango 6.5-9.0 unidades). La estabilización del pH en valores ligeramente alcalinos se atribuye a la actividad fotosintética del fitoplancton presente en el sistema, que consume CO_2 disuelto durante las horas de luz, reduciendo la concentración de ácido carbónico y elevando el pH del agua; así mismo por los procesos de nitrificación llevados a cabo por bacterias quimioautótrofas en los biofiltros, que consumen iones H^+ durante la oxidación del amonio, incrementando la alcalinidad del medio (Kuffo et al., 2024). Este comportamiento es consistente con lo reportado por Silva et al. (2021), quienes observaron que los sistemas de biofiltración tienden a estabilizar el pH en rangos neutros a ligeramente alcalinos (7.0-8.0), condiciones consideradas óptimas para el cultivo de tilapia.

Los sólidos totales disueltos presentaron valores iniciales entre 314 y 330 mg/L, posteriormente los tratamientos con biofiltros redujeron sus concentraciones: T1 a 235 mg/L (26.1% de remoción), T2 a 210 mg/L (33.5%) y T3 a 243 mg/L (26.4%). El incremento durante las primeras semanas, se explica por el proceso de acondicionamiento de los lechos filtrantes, donde las semillas liberan partículas finas y material orgánico que contribuyen transitoriamente al aumento de sólidos disueltos (Kitekha et al., 2022). Posteriormente, una vez establecida la biopelícula microbiana sobre las semillas, comienza el proceso de remoción efectiva mediante mecanismos de adsorción física, precipitación química y metabolización bacteriana. Los compuestos bioactivos presentes en las semillas, especialmente los taninos de *C. spinosa* y los galactomananos, intervienen en los mecanismos de coagulación mediante neutralización de cargas y formación de puentes, facilitando la sedimentación de partículas (Heredia et al., 2020). Sin embargo, a pesar de las reducciones logradas, todos los valores finales excedieron los Estándares de Calidad Ambiental (Categoría 4, E1 y E2: $\leq 25-100$ mg/L), lo cual se atribuye al suministro continuo de alimento y a la acumulación progresiva de metabolitos en el sistema.

Los valores iniciales de nitrito: TC 0.025 mg/L, T1 0.296 mg/L, T2 0.119 mg/L y T3 0.093 mg/L. Estos resultados son superiores a los reportados por Avelares & López (2020), quienes obtuvieron reducciones del 85% utilizando *M. oleifera* en aguas residuales de cultivo de tilapia. La eficiencia de T1 se atribuye a las proteínas catiónicas de 6.5 kDa que estabilizan intermediarios de reacción y facilitan la oxidación biológica del nitrito a nitrato mediante bacterias nitrificantes del género *Nitrobacter* y *Nitrospira* colonizadas en el biofilm del lecho filtrante (Miranda et al., 2024). Sin embargo, el tratamiento control incrementó su concentración a 0.374 mg/L, nivel que, aunque inferior al umbral tóxico agudo (5 mg/L), que genera estrés crónico en los alevinos. La reducción del nitrito es importante ya que oxida la hemoglobina a metahemoglobina, reduciendo la capacidad de transporte de oxígeno en sangre y causando hipoxia tisular, estrés respiratorio y, en concentraciones superiores a 0.75 ppm, mortalidad (Sabwa et al., 2022). Por lo tanto, valores finales del T1 (0.008 mg/L) y T3 (0.007 mg/L) propiciaron condiciones óptimas para el cultivo de *O. niloticus*.

Respecto al nitrato, al finalizar el experimento (semana 8), se registraron concentraciones de: TC 0.867 mg/L, T1 0.867 mg/L, T2 0.240 mg/L y T3 0.100 mg/L. La eficiencia de T3 se explica por la presencia de compuestos fenólicos, taninos y polisacáridos (celulosa y hemicelulosa) en las semillas de *P. americana*, que absorben nitratos mediante puentes de hidrógeno, quelación y favorecen procesos de desnitrificación bacteriana (Getahun et al., 2023). El desempeño de T2 se relaciona con las bacterias desnitrificantes que se establecen en zonas anóxicas del lecho filtrante, utilizando el nitrato como aceptor final de electrones en ausencia de oxígeno (Dehghani & Rezaee, 2020). Aunque todos los valores finales cumplieron con los ECA (≤ 13 mg/L), la acumulación progresiva de nitrato representa un riesgo significativo a largo plazo,

ya que concentraciones superiores a 80 ppm generan estrés fisiológico, reducen la eficiencia alimentaria y favorecen enfermedades bacterianas (Sabit & Bayram, 2023).

En cuanto al fósforo, obtuvo valores finales de 0.963-1.260 mg/L. Estos resultados superan los reportados por Correia et al. (2020), quienes obtuvieron remociones del 70% mediante reactores aeróbicos de lecho fluidizado. La eficiencia de T2 se atribuye a los galactomananos de *C. spinosa*, cuyos grupos hidroxilo (-OH) facilitan el intercambio iónico con fosfatos, y a la colonización de bacterias solubilizadoras de fósforo como *Acinetobacter spp.*, *Pseudomonas spp.* y *Bacillus spp.* que metabolizan fosfatos para su crecimiento (Franco et al., 2020). A pesar de las reducciones significativas, ningún tratamiento alcanzó los ECA (0.035-0.05 mg/L). Sin embargo, el incremento en el tratamiento control confirma la importancia de los biofiltros, ya que la acumulación genera eutrofización, favoreciendo floraciones algales que consumen oxígeno y producen toxinas perjudiciales para los peces (Alonso et al., 2023).

5.2. Crecimiento de alevinos de *O. niloticus* en biofiltros con semillas de *M. oleífera*, *C. spinosa* y *P. americana*

Los resultados de crecimiento revelaron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$). El tratamiento T3 presentó el mayor crecimiento con 9.44 g de peso y 8.35 cm de longitud. El crecimiento se atribuye a la calidad del agua mantenida por el biofiltro, particularmente a los bajos niveles de nitrito (0.007 mg/L) y nitrato (0.100 mg/L), así como a la eficiente remoción de fósforo (85.3%) que minimiza la proliferación algal y mantiene niveles adecuados de oxígeno disuelto (6.3 mg/L). García et al. (2024) señalan que el crecimiento de *O. niloticus* está directamente influenciado por la calidad del agua, especialmente por las concentraciones de compuestos nitrogenados que, cuando se mantienen en rangos óptimos, favorecen el metabolismo, la conversión alimenticia y el desarrollo fisiológico de los organismos.

Los resultados obtenidos son consistentes con los reportados por Leiva et al. (2024), quienes encontraron que los Sistemas de Recirculación Acuícola (RAS) con biofiltración eficiente producen mejores tasas de crecimiento en tilapia debido al control de parámetros críticos de calidad del agua. Asimismo, Kaneshima et al. (2022) demostraron que la estabilidad de los parámetros fisicoquímicos, particularmente temperatura y oxígeno disuelto, incrementa significativamente la tasa específica de crecimiento en juveniles de *O. niloticus*. El análisis ANOVA confirmó que los tratamientos influyen significativamente sobre el peso y la talla de los alevinos ($p < 0.05$), validando la hipótesis de que los biofiltros generan condiciones ambientales diferenciadas que impactan directamente el desempeño productivo.

En cuanto a la supervivencia, el T1 alcanzó 97%, T2 obtuvo 90%, T3 registró 83% y el control 87%. La prueba de chi-cuadrado confirmó una asociación estadísticamente significativa entre el tratamiento y la supervivencia ($\chi^2 = 122.995$; $p < 0.001$), evidenciando que el tipo de

biofiltro influye directamente sobre la viabilidad de los organismos. La mayor supervivencia en T1 se atribuye a la elevada eficiencia en la remoción de nitrito (97.3%), compuesto altamente tóxico que interfiere con el transporte de oxígeno en la sangre al oxidar la hemoglobina a metahemoglobina, causando hipoxia tisular y mortalidad (Sabwa et al., 2022). De igual manera, los resultados de la presente investigación son superiores a los reportados en sistemas tradicionales Leiva et al. (2024) encontraron supervivencias de 84% en sistemas acuícolas tradicionales frente a 95% en sistemas de recirculación acuícola con biofiltración. Asimismo, Estrada et al. (2025) reportaron supervivencias entre 75% y 85% en cultivos de tilapia en estanques de tierra, valores comparables al tratamiento control de esta investigación (87%). De manera complementaria, Valdez et al. (2025) señalan que las etapas tempranas del desarrollo representan el periodo más crítico en el ciclo productivo de tilapia, donde la calidad del agua y la nutrición adecuada determinan la supervivencia final. Por lo tanto, los resultados confirman que los biofiltros naturales representan una alternativa tecnológica viable para reducir la mortalidad en etapas tempranas del cultivo de tilapia.

5.3. Eficiencia de los biofiltros mediante la concentración de los parámetros físico y químicos.

El análisis comparativo de eficiencias reveló que cada tratamiento presentó ventajas específicas en la remoción de diferentes parámetros. El tratamiento T1 M. *Oleífera* destacó en la remoción de turbidez (94.6%) y nitrito (97.3%), pero mostró menor eficiencia en nitrato (16.0%) y sólidos totales disueltos (26.1%). Esta eficiencia se explica por la predominancia de proteínas catiónicas de 6.5 kDa en las semillas de M. oleífera, las cuales son altamente efectivas en procesos de coagulación-floculación y oxidación de nitrito, pero presentan limitaciones para la transformación completa de nitratos (Nordmark et al., 2018). Las proteínas catiónicas interactúan electrostáticamente con partículas coloidales de carga negativa, neutralizando su carga superficial y promoviendo la agregación en flóculos sedimentables (Carrillo et al., 2023). Así mismo, estas proteínas favorecen el establecimiento de bacterias oxidantes de nitrito (*Nitrobacter* y *Nitrospira*) que convierten eficientemente el NO_2^- en NO_3^- , explicando la elevada eficiencia en remoción de nitrito, pero la acumulación relativa de nitrato como producto final del proceso (Daims et al., 2022).

El tratamiento T2 C. *spinosa* mostró la mayor eficiencia en remoción de nitrato (82.4%), fosfato (87.3%) y sólidos totales disueltos (33.5%), pero presentó menor desempeño en turbidez (71.7%). Esta eficiencia se fundamenta en los galactomananos y taninos presentes en las semillas de tara, los galactomananos son polímeros de alto peso molecular (aproximadamente 351,400 Da) que poseen grupos funcionales ionizables capaces de neutralizar cargas y formar puentes poliméricos, facilitando la coagulación de partículas suspendidas (Gomez, 2020). Por su parte, los taninos intervienen mediante neutralización de cargas y formación de puentes, favoreciendo

la adsorción de compuestos nitrogenados y fosfatados (Heredia et al., 2020). Adicionalmente, la estructura porosa de las semillas de *C. spinosa* proporciona un sustrato adecuado para el establecimiento de comunidades bacterianas desnitrificantes (*Pseudomonas* spp. y *Bacillus* spp.) que metabolizan el nitrato en condiciones anóxicas, convirtiéndolo en nitrógeno molecular (Lee et al., 2023). Los resultados obtenidos son consistentes con Sáenz, (2019), quien reportó eficiencias de remoción de turbidez de 71.7% y reducción de DBO de 24.5% utilizando semillas de *C. spinosa* en aguas residuales del dren 2000.

El tratamiento T3 *P. americana* presentó remoción en: turbidez (89.7%), nitrito (92.5%), nitrato (90.0%) y fosfato (85.3%). Esta remoción se atribuye a los compuestos bioactivos presentes en las semillas de *P. americana*, incluyendo celulosa y hemicelulosa que forman una matriz porosa con abundantes grupos hidroxilo (-OH) que facilitan la adsorción física de partículas y compuestos disueltos; taninos y compuestos fenólicos que actúan como agentes quelantes y coagulantes mediante formación de enlaces iónicos y puentes de hidrógeno; y proantocianidinas que poseen propiedades antimicrobianas y favorecen el control de patógenos en el sistema (Sjol & Sadowska, 2023). La combinación de estos mecanismos fisicoquímicos con procesos biológicos de nitrificación y desnitrificación explica la capacidad integral de remoción observada en T3. Los compuestos fenólicos facilitan tanto la adsorción química de nitritos y nitratos como el establecimiento de bacterias desnitrificantes, permitiendo la transformación completa del nitrógeno hasta N_2 (Gonzales et al., 2023). Resultados similares fueron reportados por Cutipa (2024) quien encontró eficiencias de remoción de turbidez de 62.0% utilizando semillas de *P. americana* en condiciones de alta turbidez.

Durante las primeras semanas del experimento se observó un incremento temporal de sólidos totales disueltos y nitrato en los tratamientos con biofiltros, fenómeno atribuido al proceso de acondicionamiento del medio filtrante. Durante esta fase, las semillas liberan gradualmente compuestos orgánicos, fitatos y polisacáridos hacia el medio acuoso, lo cual incrementa transitoriamente la concentración de solutos (Rodríguez et al., 2020). Al mismo tiempo, se produce la colonización microbiana de la superficie de las semillas, donde las bacterias oxidantes de amonio (*Nitrosomonas*) se establecen antes que las bacterias oxidantes de nitrito (*Nitrobacter* y *Nitrospira*), generando acumulación temporal de nitrito durante esta fase de maduración (Ma et al., 2021). Una vez completado el establecimiento de la biopelícula después de 2-3 semanas, el sistema alcanza su máxima eficiencia de remoción y estabilidad operacional.

Los resultados de esta investigación tienen implicaciones significativas para el desarrollo de la acuicultura sostenible, particularmente para pequeños y medianos productores. Los biofiltros elaborados con semillas naturales representan una alternativa tecnológica que reduce costos operativos al eliminar la dependencia de coagulantes químicos sintéticos (sulfato de

aluminio, cloruro férrico) que tienen efectos residuales y costos de adquisición elevados Trokhymenko y Chestnykh (2024). La implementación de estos sistemas contribuye en la reducción del impacto ambiental mediante la prevención de eutrofización de cuerpos de agua receptores de efluentes acuícolas; mejora de la bioseguridad al reducir compuestos tóxicos que predisponen a enfermedades; incremento de la productividad mediante mejores condiciones de cultivo; y valorización de residuos agroindustriales locales, promoviendo la economía circular. Massi et al. (2024) enfatizan que la transición hacia la economía circular en acuicultura requiere innovaciones que integren principios de sostenibilidad ambiental, viabilidad económica y responsabilidad social, criterios que los biofiltros naturales cumplen satisfactoriamente.

Los resultados presentados aportan evidencia relevante; no obstante, el estudio presenta limitaciones que deben considerarse para interpretar adecuadamente su alcance y orientar futuras investigaciones. En primer lugar, el período experimental de 60 días limita la evaluación de la estabilidad a largo plazo y vida útil de los biofiltros, así como la caracterización de su desempeño a lo largo de ciclos productivos completos (120–150 días), lo cual es crítico para aplicaciones ambientales y productivas sostenibles. Estudios posteriores deberían expandir el horizonte temporal del experimento para captar tendencias y posibles cambios funcionales asociados con la maduración del biofiltro.

Una segunda limitación es la ausencia de caracterización microbiológica de las comunidades bacterianas establecidas en cada tipo de biofiltro. El conocimiento detallado de la composición y dinámica de estos consorcios microbianos es esencial para conocer los mecanismos biológicos que subyacen a la eficiencia de cada tratamiento y comprender cómo las condiciones ambientales modulan estas comunidades.

Asimismo, este estudio no abordó el efecto de variables operacionales clave, como el flujo de recirculación y la dosis óptima de siembra, cuya optimización puede influir sobre la eficiencia del sistema de biofiltración. Investigaciones futuras deberían integrar el análisis de estas variables para proponer condiciones operativas óptimas que potencien la eficiencia y aplicabilidad de los biofiltros en contextos reales de producción y manejo ambiental.

VI. Conclusiones

Los resultados mostraron que los tratamientos mejoraron significativamente la calidad del agua en comparación con el tratamiento control. Las pruebas de normalidad (Kolmogórov-Smirnov) y homogeneidad de varianzas (Levene) confirmaron que los datos cumplieron los supuestos estadísticos necesarios para la aplicación del ANOVA. El tratamiento T1 alcanzó la mayor eficiencia en la remoción de turbidez (94,6%) y nitrito (97%), mientras que T2 y T3 destacaron en la remoción de nitrato y fosfato, con diferencias significativas ($p < 0,05$) respecto al tratamiento control.

El tratamiento T3 registró los mayores valores de crecimiento (9.44 g de peso y 8.35 cm de longitud), seguido por T1 (8.20 g; 7.83 cm) y T2 (7.33 g; 7.42 cm), mientras que el control presentó menor crecimiento (5.67 g; 6.90 cm). El análisis de varianza reveló que los tratamientos influyeron significativamente ($p < 0.05$) sobre el crecimiento en peso y talla de los alevinos.

El análisis comparativo de eficiencias mediante concentraciones de parámetros fisicoquímicos reveló que el T1 presentó superioridad en la eliminación de turbidez y nitrito, con eficiencias de 94.6% y 97%, aunque presentó menor desempeño en nitrato (16%) T2 destacó en la remoción de nitrato (82.4%), fosfato (87.3%) y sólidos totales disueltos (33.5%), consolidándose como el tratamiento más eficiente para compuestos fosfatados. Finalmente, el T3 presentó remoción en turbidez 89.7%, nitrito 92.5%, nitrato 90%, fosfato 85.3%.

VII. Recomendaciones

Realizar estudios adicionales para establecer la dosis óptima de semillas de *P. americana*, *C. spinosa* y *M. oleifera* que maximicen la eficiencia de remoción de compuestos nitrogenados y fosfatados sin comprometer los parámetros físico-químicos del agua.

Realizar ensayos con mezclas de *M. oleifera*, *C. spinosa* y *P. americana* en diferentes cantidades para aprovechar las propiedades de coagulación, adsorción y control microbiológico.

Estandarizar un protocolo del tratamiento de las semillas, antes de colocar en el sistema; y establecer un periodo de acondicionamiento del biofiltro previo al inicio del experimento.

Caracterizar las comunidades bacterianas establecidas en cada tipo de biofiltro y determinar factores que favorezcan el establecimiento de comunidades microbianas beneficiosas.

VIII. Referencias Bibliográficas

- Adelodun, B., Segun, M., Odedishemi, F., Abdulkadir, T., Olalekan, H., & Sook, K. (2020). Cinéticos y Estudios de Modelización Predictiva de Orgánico Contaminantes Extracción de aguas residuales municipales usando Moringa oleifera Biomasa Coagulante. *Agua*. https://doi.org/https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.3390%2Fw12072052?_tp=eyJjb250ZXh0Ijpb7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmXPY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmXPY2F0aW9uIn19
- Agudelo, G., Mosquera, A., Peñuela, A., & Molina, F. (2022). Remoción de sulfuro de hidrógeno del biogás: comparación entre un sistema de biofiltro y de adsorción química. *Información Tecnológica*, 34(5), 37-46. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642023000500037>
- Aljehani, I., & Laleg, T. (2023). Feeding control and water quality monitoring in aquaculture systems : Opportunities and challenges . *Instituto Nacional de Investigación en Ciencia y Tecnología Digital, Paris-Saclay, Francia*. <https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.09920>
- Alonso, A., Palacios, D., & Guadalupe, N. (2023). Biorremediación en Aguas Residuales Acuícolas: Una Revisión. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 7(4), 8538-8568. https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7577
- Alvares, H., Juscamaita, J., Monteghirfo, M., De Mendiburu, F., Silva, M., Carrion, G., & Alvarez, J. (2023). Uso de la torta de semilla de Moringa oleifera Lam. en la clarificación de aguas residuales. *Manglar*, 20(4), 389-395. <https://doi.org/http://doi.org/10.57188/manglar.2023.045>
- Avelares, C., & Lopez, E. (2020). *Implementación de semilla de marango (Moringa oleífera) como floculante natural para el tratamiento de agua residual proveniente del cultivo de tilapia de la Estación Experimental Acuícola Leon [Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE NICARAGUA*. Repositorio Institucional. <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/handle/123456789/8251>
- Avendaño, E. (2021). orpoelimator: un recorrido por el patrón de eliminación en los organismos. *I*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8283625>
- Avila, M., & Argueta, D. (2024). El Cambio Climático y los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 8(1). https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i1.10420
- Barrera. (2020). *Nitratos y nitritos*. Obtenido de Nitratos y nitritos: <https://www.lenntech.es/nitratos-y-nitritos.htm>
- Barreto, J., Vargas, D., & Gomez, S. (2020). Evaluación de coagulantes Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. *Revista De Investigacion Agraria Ambiental*. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7319508>
- Benalia, A., Derbal, K., Amrouci, Z., Baatache, O., Khalfaoui, A., & Pizzi, A. (2024). Application of Plant-Based Coagulants and Their Mechanisms in Water Treatment: A Review. *Journal of Renewable*, 12(04). <https://doi.org/10.32604/jrm.2024.048306>
- Bessa, R., Simoes, J., Barbosa, S., Ferreira, L., Silva, L., Barbosa, M., & SEgio, P. (2022). El oxígeno disuelto, la materia orgánica y los nutrientes en los sistemas pecitiles combinados con la bioadición de microorganismos amigables. *Investigacion, Sociedad Y Desarrollo*, 11(4). <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27382>

- Brandao, A., Cordeiro, E., Borges, A., Freire, K., Da Silva, S., Marinho, T., & Sagratzki, B. (2024). Tambaqui e RAS: viabilidade de biofiltros com LECA para a piscicultura intensiva em sistema de recirculação de água. *Revista Observatorio De La Economia Latinoamericana*, 22(3). doi.org/10.55905/oelv22n3-102
- Bravo, f., Azabache, y., Rodriguez, R., Guerrero, A., Lopez, J., Ruiz, A., . . . Azabache, R. (2023). USE OF MORINGA SEED (Moringa oleifera Lam.) AS A BIOCOAGULANT TO IMPROVE SURFACE WATER QUALITY. *Journal of Engineering Science and Technology*, 18(3). https://repositorio.autonoma.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13067/2760/48_2023.pdf?sequence=1
- Breaut, R., & Weber, J. (2021). Capacidad de carga de saturación para partículas del grupo A en un lecho fluidizado circulante. *Energies*, 14(10). <https://doi.org/10.3390/en14102809>
- Budy, S., Sheikh, S., Fauzul, M., Mohd, N., Izzati, N., Abu, H., & Razi, A. (2020). Challenges and Opportunities of Biocoagulant/Bioflocculant Application for Drinking Water and Wastewater Treatment and Its Potential for Sludge Recovery. *Environmental Research and Public Health*, 17(24). <https://doi.org/10.3390/ijerph17249312>
- Calizaya, R., Atensio, C., Alferez, D., Huaycani, J., & Gomez, L. (2024). Evaluación comparativa del efecto de las semillas de Moringa Oleífera y sulfato de aluminio sobre la remoción de turbidez del agua del río Caplina. *Scienceevolution*, 3(11), 28-37. <https://doi.org/10.61325/ser.v3i11.94>
- Camacho, J., galindo, D., valdez, D., & Hernandez, P. (2025). Evaluación de la eficiencia en remoción de nitrógeno amoniacal total de distintos biofiltros en sistemas acuapónicos como alternativa sustentable. *Universidad Autónoma de Occidente, Los Mochis-Sinaloa-México*. <https://doi.org/10.61728/AE20254056>
- Cardenas, G., & Sanches, I. (2020). Nitrógeno en aguas residuales: orígenes, efectos y mecanismos de remoción para preservar el ambiente y la salud pública. *Univ. Salud*, 5(1).http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-71072013000100007
- Carillo, Collantes, Torrs, & Valdivieso. (2020). Evaluación de la Moringa oleifera en el tratamiento de aguas con alta turbidez y carga orgánica. *Ingeniera Del Agua*, 24(2), 119-127. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7382935>
- Carrasquero, S., & Díaz, A. (2025). Tratamiento de efluentes de la matanza de cerdos por remoción de nitrógeno y fósforo usando reactores biológicos secuenciales. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 16(3), 37-87. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2025-03-02>
- Carrillo, W., Osorio, M., & Haro, J. (2023). Reducción de la concentración de cromo en muestra de lixiviados de ladrillos utilizando biofiltros. *Revista Multidisciplinar de innovacion y estudios aplicados*, 8(3). <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/5295>
- Castro, L. (2023). *ESTUDIO COMPARATIVO DE UN SISTEMA DE RECIRCULACIÓN DE AGUA (RAS) Y UN SISTEMA TRADICIONAL SOBRE EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE TILAPIA DEL NILO, Panama [Tesis de Pregrado, Universidad De panama]*. Repositorio Institucional. https://up-rid.up.ac.pa/7498/1/luis_castro.pdf
- Chaverra, S., & Garces. (2022). Acumulación de sólidos, un aspecto crítico en los sistemas acuícolas intensivos. 26(1). <https://doi.org/10.22579/20112629.731>

- Clarka, G., Geislerb, D., Coeya, E., Pollitza, L., & Zakic, F. (2024). Influencia del fosfato en la liberación bacteriana de filtros de carbón activado en el punto de uso y en las características de la biopelícula. *Ciencia del Medio Ambiente Total*, 914. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.169932>
- Correia, T., Sanchez, I., & Guebara, D. (2020). Remoción de fósforo de diferentes aguas residuales en reactores aeróbios de lecho fluidizado trifásico con circulación interna. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, 67, 172-182. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/430/43029146015.pdf>
- Cosme, F., Aires, A., Pinto, T., Oliveira, I., Vilela, A., & Goncalves, B. (2025). Revisión exhaustiva de los taninos bioactivos en alimentos y bebidas: propiedades funcionales, beneficios para la salud y cualidades sensoriales. *Molecules*, 30(4). <https://doi.org/10.3390/molecules30040800>
- Cumpa, L. (2023). *Determinación de compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y antimicrobiana y composición proximal de residuos de la agroindustria peruana, Lima.* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/5980>
- Cutipa, M. (2024). *Obtención de coagulante natural a partir de las semillas de durazno (Prunus Persica) y palta (Persea Americana) para remoción de turbiedad en la planta de tratamiento Emsapuno S.A, Puno* [Tesis de Pregrado, UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/22616>
- Daebeler, A., Guelt, Q., Mooshammer, M., Zechmeister, T., Herbold, C., Richter, A., . . . Daims, H. (2023). Nitrificación rápida que involucra comammox y Nitrospira canónica a pH extremo en lagos salino-alcálinos. *Environmental Microbiology*, 25(5), 1055-1067. <https://doi.org/10.1111/1462-2920.16337>
- Daims, H., Lebedeva, E., Pjevac, P., Han, C., Mads, H., Jehmlich, N., . . . Nielsen, M. (2022). Nitrificación completa por bacterias Nitrospira. *Naturaleza*, 504–509. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/nature16461>
- Dehghani, S., & Rezaee, A. (2020). Desnitrificación biológica mediante tecnología electroquímica microbiana: una perspectiva de los materiales, la disposición de los electrodos y el consumo energético. *Desalination and Water Treatment*, 178, 155-162. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.24994>
- Del Castillo, M. (2022). *Diseño de biofiltro con mucilago de Caesalpinia spinosa para reducir la turbidez de las aguas superficiales del río pollo, Otuzco.* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada Del Norte]. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/11537/31488>
- Delgado, R. (2024). *Desempeño de un filtro percolador a escala de laboratorio en condiciones psicrófilas, para el tratamiento de aguas residuales urbanas del municipio de Pasto, Colombia.* [Universidad San Juan De Pasto, Tesis de Pregrado]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.14112/28409>
- Delgado, S., Trigos, M., Mamani, G., Mendoza, L., & De La Cruz, R. (2025). Calidad de agua y parámetros productivos del cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*) gris en estanque de tierra. *Agrociense Research*, 3(1), 27-38. <https://doi.org/10.17268/agrosci.2025.003>
- Desta, W., & Ebba, M. (2021). Tratamiento de aguas residuales utilizando un coagulante natural (semillas de Moringa oleifera): optimización mediante metodología de superficie de

- respuesta. *journal homepage*, 7. <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2405-8440%2821%2902554-8>
- Duan, S., Zhang, Y., & Shaokui, Z. (2022). Bacterias nitrificantes heterotróficas en sistemas de eliminación biológica de nitrógeno en aguas residuales. *Ciencia y Tecnología Ambiental*, 52(13). <https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1877976>
- Duran, D. (2021). “EFECTO DE PENCA DE TUNA (*Opuntia ficus indica*) CON SEMILLA DE MORINGA (*Moringa oleifera*) COMO COAGULANTE NATURAL PARA DISMINUIR LA TURBIDEZ DEL AGUA EN EL RESERVORIO DE LA JASS DEL CENTRO POBLADO DE VICHAYCOTO, HUÁNUCO [Tesis Pregrado, Universidad Huanuco]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.udh.edu.pe/handle/123456789/2949?show=full>
- Estrada, J., Abdo, M., Bañuelos, M., & Rodriguez, G. (2024). Masculinización, crecimiento y supervivencia de tilapia *Oreochromis niloticus* con inhibidores de aromataza naturales y sintéticos. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 11(1). <https://doi.org/10.19136/era.a11n1.3795>
- Estrada, N., Lopez, G., Solis, R., & Bautista, R. (2025). Remoción de nutrientes de aguas residuales domésticas con *Sagittaria latifolia* y *Sagittaria lancifolia* en humedales artificiales de flujo libre. *Revista Iberoamericana De Las Ciencias Biológicas Y Agropecuarias*, 14(27). <https://doi.org/10.23913/ciba.v14i27.128>
- Flores, M., Guadalupe, G., Pachas, M., Chapas, S., Mori, R., & Guerrero, J. (2025). Sensores del Internet de las Cosas (IoT) para el monitoreo de la calidad del agua en sistemas acuícolas: una revisión sistemática y análisis bibliométrico. *Instituto de Investigación en Negocios Agropecuarios (INNA)*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/agriengineering7030078>
- Franco, R., Marulanda, M., De la Fe, S., Díaz, Y., de la Osa, A., Baldani, L., . . . Rodríguez, A. (2020). Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 46(1), 63-76. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181238817006>
- Galves, A., Chambi, N., & Campos, D. (2020). Potencial de los galotaninos e hidrolizados de tara (*Caesalpinia spinosa*) como compuestos antibacterianos naturales. *Química alimentaria*, 156(1). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.01.110>
- García, N., Villamil, L., Cobo, M., & Montes, C. (2024). Modelo de crecimiento de tilapia en sistemas de recirculación para acuicultura. *Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería ACOFI*. <https://doi.org/10.26507/paper.3828>
- Garlok, T., Asche, F., James, A., Eggert, H., Anderson, T., Chavez, C., . . . Ragnar, T. (2024). Sostenibilidad ambiental, económica y social en la acuicultura: los indicadores de rendimiento acuícola. *Comunicaciones de la naturaleza*, 15. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49556-8>
- Getahun, M., Asaithambi, Perumal, Befekadu, A., & Alemayeu, E. (2023). Optimization of indigenous natural coagulants process for nitrate and phosphate removal from wet coffee processing wastewater using response surface methodology: In the case of Jimma Zone Mana district. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 8. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100370>
- Gomez. (2020). *Por qué es importante el oxígeno disuelto en el agua*. Obtenido de *Por qué es importante el oxígeno disuelto en el agua*: <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar->

ayacucho/archivos/public/docs/por_que_es_importante_el_oxigeno_disuelto_en_el_agua.pdf

- Gomez, G., Lizardi, J., Argueles, W., Alvares, O., & Lopez, Yolanda. (2023). Chemical modifications of galactomannans synthesis and structure-function analysis: Chemical modifications of galactomannans. *Biotecnologia*, 25(2), 126-135. <https://doi.org/10.18633/biotecnologia.v25i2.1883>
- Gomez, J., Laines, J., Solis, R., & Hernandez, J. (2023). Cultivo de *Oreochromis niloticus* y *Tradescantia zebrina* en Sistema Acuapónico, una Evaluación de Coliformes Fecales. 1(2). [/https://doi.org/10.19136/ta.a1n2.5724](https://doi.org/10.19136/ta.a1n2.5724)
- Gonzales, C., Lopez, A., Gusman, M., Hilares, T., Briceño, Aviles, Q., . . . Salas, V. (2023). Residuos de polvo de semilla de aguacate como bioadsorbente prometedor para la eliminación del color de las aguas residuales textiles. *Revista Mexicana De Ingeniería Química*, 22(3). <https://doi.org/10.24275/rmiq/IA2370>
- Gupta, A., Srivastava, A., & Agarwal, V. (2023). Desapego de biopelícula y su implicación en infecciones relacionadas con biofilm. *Departamento de Biotecnología, Instituto Nacional de Tecnología Motilal Nehru, Allahabad (Prayagraj) 211004, Uttar Pradesh, India*, 3–13. https://doi.org/https://www.researchgate.net/deref/https%3A%2F%2Fdoi.org%2F10.2991%2F978-94-6463-020-6_2?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19
- Guzman, L., Angel, V., Tejada, C., & Rafael, G. (2023). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales. *Revista U.D.C.A.*, 16(1). <https://doi.org/10.31910/rudca.v16.n1.2013.881>
- Heredia, B., Martin, S., & Davila, A. (2020). Optimization of the synthesis of a new coagulant from a tannin extract. *Journal of Hazardous Materials*, 186, 1704–1712. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.12.075>
- Hernandez, I., Salazar, M., & Pereira, L. (2025). Comparación de la Eficiencia Productiva de Tilapia Roja en Sistemas de Geomembrana con Tecnología Biofloc y Raceways. *Revista Científica Indexada BISTUA*, 23(1). <https://doi.org/10.24054/bistua.v23i1.2936>
- Ibieta, G., Bustos, A., Ortiz, J., Sempértugi, J., Linas, a., & Peñarrieta, M. (2023). Caracterización molecular de un galactomanano extraído de semillas de Tara (*Caesalpinia spinosa*). *Scientific Reports*, 13. Retrieved from <https://www.nature.com/articles/s41598-023-49149-3>
- Intagri. (13 de 01 de 2020). *Requerimientos del Cultivo de Tilapia: Calidad del Agua*. Obtenido de *Requerimientos del Cultivo de Tilapia: Calidad del Agua*: <https://www.intagri.com/articulos/ganaderia/requerimientos-del-cultivo-de-tilapia>
- Jayadipraja, E., Purnama, I., Teguh, R., Od, L., Taufik, M., Alamsyah, R., & Rauf, R. (2024). The Effectiveness of Moringa Oleifera Seed Powder and Mixing Time (Fast-Low Speed) Using Jartest in Reducing Nitrate Levels in River Water. *Public Health of Indonesia*, 10(3). <https://doi.org/10.36685/phi.v10i3.826>
- Jojoa, G., Hoyos, J., & Fernandez, J. (2025). Uso de geotextil no tejido (GNT) como medio de soporte en un biofiltro percolador para sistemas de recirculación acuícola (SRA). *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 35(2). <https://doi.org/10.18359/rcin.7636>

- Kaneshima, K., De La Cruz, K., Ponciano, M., Toledp, N., & Culquichicon, Z. (2022). Efecto de la temperatura en el crecimiento de juveniles de *Oreochromis niloticus* tilapia en un sistema de recambio acuícola (RAS). *19*(1), 39-44. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2022.005>
- Kathrin, A., Schuster, C., Torres, J., Kain, S., Pertl, H., Petutchingg, A., & Husing, N. (2020). Materiales híbridos a base de tanino y sus aplicaciones: una revisión. *Molecular*, *25*(21). <https://doi.org/10.3390/molecules25214910>
- Kelany, N., Mohsein, A., Kotb, S., & Moez, I. (2024). Significant impact of physicochemical water parameters in tilapia aquaculture. *Journal of Advanced Veterinary Research*, *14*(6), 1060-1064. Retrieved from <https://advetresearch.com/index.php/AVR/article/view/1926>
- Kitekha, J., Njogu, I., Muluvi, G., Hunja, C., Mutiso, F., & Kimatu, J. (2022). La eficacia del coagulante de semillas de Moringa Oleifera para reducir la turbidez y modificar las características fisicoquímicas del agua. *Revista Africana de Ciencia Y Tecnología Ambiental*, *16*(4), 126-145. <https://doi.org/10.5897/AJEST2022.3093>
- Kuffo, G., Piguave, J., Mendoza, J., Bazurto, J., & Macias, J. (2024). Efectos de la luz y la temperatura en la fotosíntesis y la productividad primaria en ecosistemas marinos. *Revista Científica Multidisciplinar*, *5*(2), 388. <https://doi.org/10.60100/rcmg.v5i2.279>
- Ledo, P., Lima, R., Paulo, J., & Duarte, M. (2019). Estudio Comparativo de Sulfato de Aluminio y Semillas de Moringa oleifera para la Depuración de Aguas con Baja Turbiedad. *Información Tecnológica*, *20*(5), 3-12. Retrieved from https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642009000500002
- Lee, M., Seow, C., Fairus, M., & Mohd, A. (2023). Estudio piloto del proceso óxico-anóxico bajo bajo oxígeno disuelto para la eliminación de nitrógeno de aguas residuales tropicales con bajo COD/N. *Agua*, *15*(11). https://doi.org/10.3390/w15112070?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle
- Leiva, H., Romero, J., Espinoza, C., Valenzuelam, P., Arciniega, M., Luna, J., & Hernandez, P. (2024). Evaluación de variables productivas de *Oreochromis niloticus* en sistema de recirculación acuícola y acuícola tradicional. *Revista Ciencias del Mar UAS*, *1*(3). Retrieved from <https://revistas.uas.edu.mx/index.php/CIMAR/article/view/587>
- Lip, M. (2023). *Obtención de filtrantes a partir de semilla de palta (Persea americana Mill.) como valorización del residuo, Lima. [Tesis de Pos grado, Universidad Nacional Agraria La Molina]*. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/6151>
- López, J., & Chico, J. (2017). REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD DE AGUA CON COAGULANTES NATURALES OBTENIDOS DE SEMILLAS DE DURAZNO (*Prunus persica*) Y PALTA (*Persea americana*). *Revista Científica En Ciencias Biológicas*, *5*(1), 7-16. <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/REVSAGAS/article/view/2611>
- López, K., & Bejar, k. (2024). Remoción de turbidez mediante aplicación de coagulantes naturales de papaya y pitahaya en aguas residuales. *Revista de Investigación Científica E Interdisciplinaria*, *4*(12). <https://doi.org/10.61325/ser.v4i12.138>
- Lwasa, Mdee, Ntalikwa, & Sadiki. (2024). Performance analysis of plant-based coagulants in water purification. *Discover Water*, *4*(108). <https://doi.org/10.1007/s43832-024-00171-0>

- Ma, Y., Du, X., Liu, Y., Zhang, T., Wang, Y., & Zhang, S. (2021). Caracterización de las comunidades bacterianas asociadas a biofiltros en dos sistemas acuícolas de recirculación a escala real. *Revista de Oceanología y Limnología*, 39, 1143–1150. <https://doi.org/10.1007/s00343-020-0120-8>
- Maetinez, A., Martinez, J., Nuñez, L., Arana, F., Vasquez, G., Diaz, J., & Cabrera, R. (2022). Efecto del aceite esencial de orégano mexicano *Lippia graveolens* en el crecimiento y supervivencia de crías de la tilapia *Oreochromis niloticus*. *Revista Brasileña de Ciencias Aplicadas*, 6(6), 1558–1573. <https://doi.org/10.34115/basrv6n6-009>
- Manessco, R., Reck, I., Gutierrez, R., Bergamasco, R., Fernandes, M., & Marquetotti, A. (2028). Descontaminación de agua que contiene nitrato mediante biosorción con *Moringa oleifera* en modo dinámico. *Ciencias Ambientales e Investigación sobre la Contaminación*, 25, 21544–21554. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-018-2289-3>
- Marinho, Y., De Oliveira, A., Oliveira, C., Napoleao, T., Paiva, G., Candida, M., & malafai, C. (2022). Usage of *Moringa oleifera* residual seeds promotes efficient flocculation of *Tetrademus dimorphus* biomass. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15, 21709–21717. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s13399-022-02789-3>
- Martelli, A., Vanina, T., Miras, M., & Rubilar, T. (2024). Fitorremediación de efluentes acuícolas mediante el uso de seis microalgas marinas: contribuciones a la sostenibilidad en la industria acuícola del erizo de mar en Argentina. *Revista De Biología Tropical*, 72((S1)). <https://doi.org/10.15517/rev.biol.trop..v72iS1.58979>
- Martinez, M., Moreno, R., & Martinez, S. (2024). Microorganismos del ciclo del nitrógeno en el tratamiento de lixiviados de residuos orgánicos municipales. *Tendencias En energías Renovables Y Sustentabilidad*, 3(1), 237–242. <https://doi.org/10.56845/terys.v3i1.302>
- Massi, M., Adinolfi, F., Vedecchio, Y., Paolo, Y., & Coluccia, B. (2024). Hacia la economía circular en el sector acuícola: análisis bibliométricos, de redes y de contenido. *Revistas Sostenibilidad*, 16(13). <https://doi.org/10.3390/su16135405>
- Melo, A., Quintela, C., Ferreira, E., & Mesquita, D. (2022). El papel de las sustancias poliméricas extracelulares en la eliminación de microcontaminantes. *Ingeniería Química*, 4. <https://doi.org/10.3389/fceng.2022.778469>
- Miranda, A., Junco, F., & Hinostroza, T. (2024). Efecto de pH, tiempo y dosis de *Moringa oleifera* en la remoción de nitratos en aguas del río Chillón – Lima (#427). *Universidad Privada del Norte, Perú*. <https://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2024.1.1.427>
- Monje, G., & Acero, C. (2024). Determinación de la Dosis Óptima de la Goma de Tara (*Caesalpinia Spinosa*) Como Coadyuvante del Sulfato de Aluminio para la Remoción de Turbidez del Río Caplina. *Ciencias Sociales y Humanas*, 8(6). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15238
- Motamedi, J., Peyghan, R., Shahriari, A., Razijalali, M., & Ebrahimi, E. (2025). Corrigendum to “Combined effects of ammonia-N exposure and salinity changes on hematological and serum biochemical factors and thyroid hormones in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*)”. *journal homepage*, 10(7). Retrieved from [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(24\)05134-X?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS240584402405134X%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)05134-X?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS240584402405134X%3Fshowall%3Dtrue)

- Nava, J., Lango, F., Castañeda, M. D., & Reyes, C. (2024). Remoción de Contaminantes en los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial: Una Revisión. *Terra Latinoam*, 41. <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1715>
- Nordmark, B., Przybycien, T., & Tilton, R. (2018). Efecto de los ácidos húmicos en el rendimiento de la coagulación del caolín de las proteínas Moringa oleifera. *Revista de Ingeniería Química Ambiental*, 6(4), 4564-4572. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2018.06.058>
- Ortega, G., Ramirez, A., Tejada, A., & Zurita, F. (2025). Evaluación preliminar del potencial coagulante de Moringa oleifera en distintas presentaciones para el tratamiento de aguas residuales de lavandería. *Tendencias En energías Renovables Y Sustentabilidad*, 4(3), 108-114. <https://doi.org/10.56845/terys.v4i3.503>
- Pabon, Benitez, & Sarria, G. (2020). Contaminación del agua por metales pesados, métodos de análisis y tecnologías de remoción. Una revisión. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 14(27), 9-18. <https://doi.org/10.31908/19098367.0001>
- Pallavi, & Kumari, S. (2024). Eutrophication: Understanding and Mitigating Eutrophication in Pond Water. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 13(11), 21-25. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2024.1311.003>
- Poot. (2020). *Manual De Crianza De Tilapia*. Obtenido de Manual De Crianza De Tilapia: <https://www.cesaibc.org/pdf/infointeres/peces/cultivotilapia.pdf>
- Punia, S., Dunno, K., Bala, S., Kumar, A., Changal, S., Maqsood, S., & Vasile, A. (2022). Avocado seed discoveries: Chemical composition, biological properties, and industrial food applications. *Journal Chemistry*, 16. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100507>
- Ramirez, j., Oltehua, O., Cuervo, F., & Claire, A. (2023). Diversidad y flexibilidad metabólica de consorcios nitrificantes y desnitrificantes usados en el tratamiento de aguas residuales. *Hidrobiológica*, 33(3). <https://doi.org/10.24275/khra1340>
- Ravelo, A., & Totena, V. (2021). Evaluación de la remoción de materia orgánica en cultivo de peces a escala de laboratorio mediante la aplicación de biofloc producido a partir de subproductos de caña de azúcar. *Ciencia Unisalle*. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1942?utm_source=ciencia.lasalle.edu.co%2Fing_ambiental_sanitaria%2F1942&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- Rodriguez, L., Bernardo, L., Mirands, E., & Guerrero, M. (2020). Contenido de Ácido Fítico y Fósforo Inorgánico en Vigna unguiculata y Phaseolus vulgaris Germinadas a Diferentes Temperaturas. *Información tecnológica*, 29(3), 39-46. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300039>
- Rojas, J. (2020). *Utilización de las semillas de Tara (Caesalpinia spinosa) para la remoción de sólidos, Chiclayo [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/48862>
- Sabit, E., & Bayram, B. (2023). Nitrates in Turkish waters: sources, mechanisms, impacts, and mitigation. *Environ Sci Pollut Res Int*, 30(42), 95250-95271. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-29202-4>
- Sabwa, J., Manyala, J., Msese, F., & Fitzsimmons, K. (2022). Effect of stocking density on growth performance of monosex Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in the aquaponic system

- integrated with lettuce (*Lactuca sativa*). *journal homepage*, 7. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.03.002>
- Saens, G. (2019). *Comparación de la eficiencia de Moringa oleífera y Caesalpinia spinosa para mejorar la calidad del agua residual del dren 2000, Chiclayo [Tesis de Pregrado, Universidad Cesar Vallejo]*. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/44614?show=full>
- Sanabia, K., Valdez, F., Isiordia, E., Gonzales, C., & Cuevas, B. (2025). Identificación de variantes genéticas asociadas al crecimiento en tilapia mediante análisis de SNPs en poblaciones del estado de Nayarit. *REvista de La Unidad Académica*, 11(21). Retrieved from <http://revistas.cimateuan.education/openjs/index.php/aprevista/article/view/146>
- Sanchez, J., Peña, G., Leon, J., & Garcia, J. (2022). Alimentación no tradicional para mejorar el rendimiento del crecimiento de peces en condición sub y supra-óptima de temperatura. *Ciencia y Tecnología*, 5(8). <https://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas/article/view/672>
- Saquina, M. (2024). *ANÁLISIS EXPERIMENTAL SOBRE LA CAPACIDAD DE LAS SEMILLAS DE Caesalpinia Spinosa (GUARANGO ROJO) PARA LA REMOCIÓN DE METALES PESADOS PLOMO Y CADMIO EN AGUAS CONTAMINADAS, Ecuador. [Tesis de Posgrado, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO]*. Repositorio Institucional. <https://dspace.espace.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/c6c628ff-e86a-4ea2-80ee-0531b95d1439/content>
- Seijas, S., Seijas, P., Seijas, N., Salgado, L., Esquivel, C., & Gonzales, J. (2022). Parámetros energéticos en la producción sostenible de taninos de *Caesalpinia spinosa* kuntze (Tara). *Revista CIENCIA Y TECNOLOGÍA*, 18(1), 189 -201. <http://dx.doi.org/10.17268/rev.cyt.2022.01.14>
- Serrano, I., & Zhirzhan, N. (2022). *Diseño de un sistema de recirculación acuícola (RAS) a pequeña escala Diseño de un sistema de recirculación acuícola (RAS) a pequeña escala Paipayales, Ecuador. [Tesis de Pregrado, ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL]*. Repositorio Institucional. <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/56692/1/T-110446%20LEONARDO%20SERRANO%20BASURTO%20%20Y%20NICOLE%20ZHIRZHAN%20PAREDES%20ING.%20QUIMICO.pdf>
- Silva, C., Fragoso, M., & Pantoja, j. (2020). Avaliação do programa de monitoramento ambiental de empreendimentos aquícolas no Estado do Amazonas, Brasil. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, 11(2), 2027-4297. <https://doi.org/10.24188/recia.v11.n2.2019.718>
- Silva, J., Canales, c., & Rodriguez, S. (2021). Fitodepuración mixotrófica en sistemas de recirculación acuícola (RAS) para el manejo sustentable de nutrientes contaminantes. *AquaTechnica*, 3(1). <https://doi.org/10.33936/at.v3i1.3484>
- Siol, M., & Sadowska, A. (2023). Composición química, propiedades fisicoquímicas y bioactivas de la semilla de aguacate (*Persea americana*) y su posible uso en el diseño funcional de alimentos. *Agriculture*, 13(2), 316. <https://doi.org/10.3390/agriculture13020316>
- Tijami, I., ChiaHo, Y., Baloo, L., Keelam, M., Lookeshou, P., & Sujarwo, M. (2023). Revisión Exhaustiva de Modificación, Optimización y Métodos de caracterización aplicados a plantas naturales Coagulantes (PBNCs) para tratamiento de agua y aguas residuales. *Sostenibilidad*, 15(5). https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su15054484?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle

- Trokhymenko, G., & Chestnykh, Y. (2024). Analysis of the efficiency of the application of natural coagulants. *Technology audit and production reserves*, 3(76). <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.303190>
- Valdez, C., Guerra, D., Pinto, L., & Rios, L. (2025). Supervivencia, crecimiento y rendimiento de chía (*Salvia hispanica*), frijol rojo (*Phaseolus vulgaris*) y tilapia (*Oreochromis niloticus*) en cultivo acuapónico. *Revista Minerva*, 8(2), 1-7. <https://doi.org/10.5377/revminerva.v8i2.20942>
- Valeriano, J., & Matos, R. (2019). Influence of Tara (*Caesalpinia spinosa*) Gum as an Aid in the Coagulation-Flocculation Process to Remove the Turbidity of an Artificial Suspension of Bentonite. *Información Tecnológica*, 3(5), 299-308. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500299>
- Venter, P., Pasch, H., & De Villiers, A. (2019). Análisis exhaustivo de taninos tara mediante cromatografía de fase inversa e interacción hidrofílica acoplada a movilidad iónica y espectrometría de masas de alta resolución. *Química Analítica y Bioanalítica*, 411, 6329–6341. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-01931-x>
- Vera, P., Martinez, G., & Vera, L. (2023). Efecto del polvo de semilla de Moringa oleífera sobre la turbidez de las aguas residuales en Cajamarca, Perú. *Revista Amazónica De Ciencias Ambientales Y Ecológicas*, 2(2). <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i2.510>
- Vivas, H., Calderon, J., Mendoza, L., & Cedeño, J. (2022). Remoción de contaminantes en aguas residuales mediante el. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, XLIII(2), 84-96. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382022000200084
- Vivas, H., Calderon, J., Mendoza, L., & Cedeño, J. (2022). Remoción de contaminantes en aguas residuales mediante el polielectrolito catiónico extraído de las semillas de Moringa oleífera. *INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL*, XLIII(2), 84-96. Retrieved from http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1680-03382022000200084&script=sci_arttext&tlng=pt
- Wang, L., Mao, X., AlhajHamoud, Y., Zhu, N., Shao, X., & Wang, Q. (2023). Eliminación de nitrógeno para baja concentración Amonio Aguas residuales por adsorción, atajo y nitrificación simultánea y proceso de desnitrificación en MBBR. *Agua*, 15(7). https://doi.org/10.3390/w15071334?urlappend=%3Futm_source%3Dresearchgate.net%26utm_medium%3Darticle
- Wuan, S., Zhu, H., Zheng, G., Dong, F., & Chongxuan, L. (2022). Cambios dinámicos en las estructuras de biofilm bajo condiciones de flujo dinámico. *Microbiología Ambiental*, 88(22). <https://doi.org/10.1128/aem.01072-22>
- Ynofuente, L., & Flores, M. (2020). Uso de coagulantes naturales como alternativas de reducción de la turbidez. *UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN*. Obtenido de <https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4049899d-773e-4c4e-8b44-075abe5ac61e/content>

IX. Anexo

Anexo 1

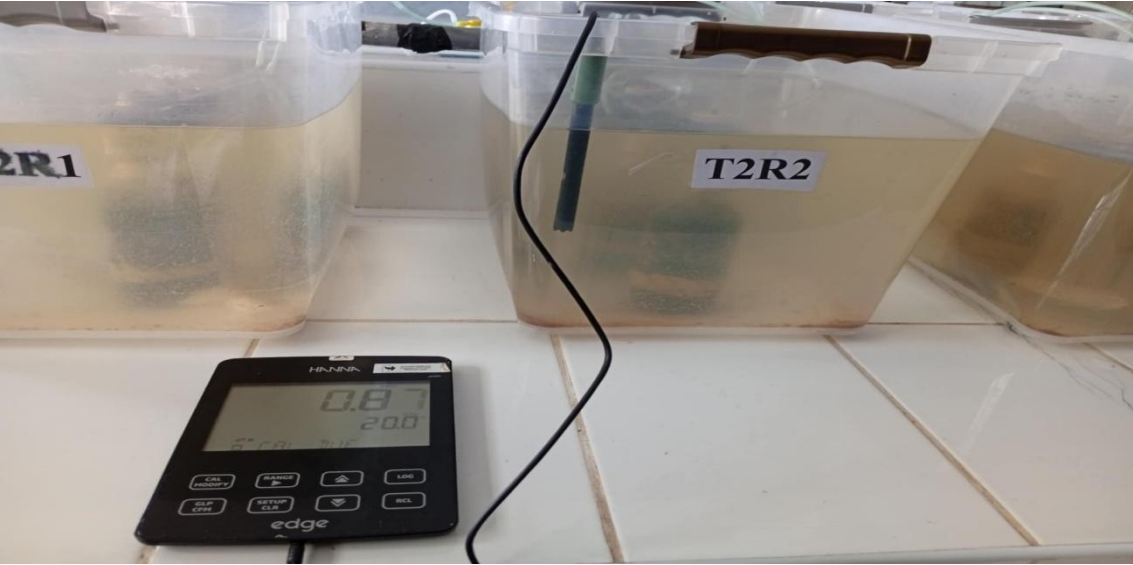
Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE			
Biofiltros	Sistemas de tratamiento natural para agua residual que utilizan semillas como medio filtrante para la purificación del agua mediante procesos físicos, químicos y biológico	<i>Moringa Oleifera</i> , <i>Caesalpinia spinosa</i> , <i>Persea americana</i>	TC: 0 g de semillas T1: 120 g <i>M. oleifera</i> T2: 120 g <i>C. spinosa</i> T3: 120 g <i>P. americana</i>
DEPENDIENTE			
Remoción de compuestos nitrogenados y fosfatados	Capacidad del sistema de filtración para eliminar compuestos químicos del agua, expresada como porcentaje de reducción	Compuestos nitrogenados y fosfatados	Nitrito (mg/l) Nitrito (mg/l) Fosfato (mg/l)
Crecimiento	Incremento en las dimensiones corporales y peso de los peces durante el período experimental.	Crecimiento en longitud y peso	GP= Peso final – peso inicial GL= Longitud final –longitud inicial
Supervivencia	Numero de organismos que permanecen vivos durante el período experimental	Porcentaje de supervivencia	$S (\%) = \frac{N \text{ de peces final}}{N \text{ de epces inicial}} * 100$

Anexo 2. Tratamientos al inicio del experimento



Anexo 3. Evaluación de oxígeno



Anexo 4. Evaluación de parámetros químicos mediante colorímetro, a) nitrito b) fosfato c) nitrato

