

CALIDAD DE AGUA Y ECOFILTRO_2026_FINAL.docx

 My Files My Files Universidad Peruana Union

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::29566:560760647

Fecha de entrega

25 feb 2026, 12:02 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

25 feb 2026, 3:11 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

CALIDAD DE AGUA Y ECOFILTRO_2026_FINAL.docx

Tamaño del archivo

2.4 MB

26 páginas

7770 palabras

41.337 caracteres

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 7%  Fuentes de Internet
- 3%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 7% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 7% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	repositorio.upsc.edu.pe	2%
2	Internet	repositorio.upeu.edu.pe	<1%
3	Internet	www.eu.dk	<1%
4	Trabajos entregados	Universidad Nacional de Trujillo on 2024-10-01	<1%
5	Internet	intranet.corpouraba.gov.co	<1%
6	Trabajos entregados	FUNIBER on 2026-01-18	<1%
7	Internet	files01.core.ac.uk	<1%
8	Trabajos entregados	Universidad Cesar Vallejo on 2025-12-18	<1%
9	Trabajos entregados	Universidad Privada Antenor Orrego 2025 on 2025-09-27	<1%
10	Internet	revistas.upeu.edu.pe	<1%
11	Internet	www.legislation.gov.uk	<1%

12	Trabajos entregados	Universidad Anahuac México Sur on 2026-02-01	<1%
13	Internet	www.corpocaldas.gov.co	<1%
14	Trabajos entregados	Universidad Señor de Sipan on 2017-01-18	<1%
15	Internet	visorsig.oefa.gob.pe	<1%
16	Internet	repositorio.unsaac.edu.pe	<1%
17	Internet	repositorio.upeu.edu.pe:8080	<1%
18	Internet	www.yachaywasi.com	<1%
19	Trabajos entregados	Colegio Santísimo Nombre de Jesus on 2025-09-24	<1%
20	Trabajos entregados	Universidad Católica Boliviana "San Pablo" on 2026-01-24	<1%
21	Trabajos entregados	Universidad Internacional de la Rioja on 2024-12-28	<1%
22	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
23	Internet	openknowledge.worldbank.org	<1%
24	Internet	www.scielo.br	<1%
25	Publicación	Huarachi Cruz, Cesar Efrain. "Diagnostico de patogenos e indicadores microbioló...	<1%

26	Trabajos entregados	Universidad San Francisco de Quito on 2016-04-21	<1%
27	Internet	repositorio.undac.edu.pe	<1%
28	Internet	repositorio.unprg.edu.pe	<1%
29	Internet	repositorioinstitucional.uson.mx	<1%
30	Internet	revistas.chapingo.mx	<1%
31	Trabajos entregados	uncedu on 2024-11-12	<1%
32	Internet	www.inpev.org.br	<1%
33	Trabajos entregados	Universidad Nacional Agraria La Molina on 2023-10-17	<1%
34	Trabajos entregados	Universidad Nacional de San Martín on 2026-01-27	<1%
35	Trabajos entregados	Universidad Politécnica del Perú on 2026-02-10	<1%
36	Internet	doaj.org	<1%
37	Trabajos entregados	espan on 2025-02-12	<1%
38	Internet	repositorio.uni.edu.pe	<1%
39	Internet	repository.unhas.ac.id	<1%

40	Internet	
revistas.unap.edu.pe		<1%
41	Trabajos entregados	
uamerica on 2024-10-24		<1%
42	Trabajos entregados	
uncedu on 2025-08-09		<1%

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



**CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO E
IMPLEMENTACIÓN DEL ECOFILTRO EN EL ASENTAMIENTO
HUMANO DE SAN ANTONIO - LURIGANCHO – CHOSICA**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniería Ambiental

Autores:

Lorena Guery Fermin Camarena

Paul Alexander Cuevas Calixtro

Asesor:

Joel Hugo Fernández Rojas

Lima, febrero de 2026

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo Joel Hugo Fernández Rojas, docente de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: "TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN" del (los) autores Lorena Guery Fermin Camarena y Paul Alexander Cuevas Calixtro, tiene un índice de similitud de % verificable en el informe del programa Turnitin, y fue realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponde ante cualquier falsedad u omisión de los documentos como de la información aportada, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 25 días del mes de febrero del año 2026.



Mag. Joel Hugo Fernandez Rojas

339

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Naña, Villa Unión, a 13 día(s) del mes de Febrero del año 2026, siendo las 09:30 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión Campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Mg. Liliana Del Carmen Gutierrez Rodriguez, el (la) secretario(a): Ing. Orlando Alan Poma Porras y los demás miembros: Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga, Mg. Ericka Nayda Perales Dominguez y el (la) asesor(a) Mg. Joel Hugo Fernández Rojas.

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulado: "Calidad de agua para consumo humano e implementación del Ecofiltro en el asentamiento humano de San Antonio - Lurigancho - Chosica"

del(los) bachiller(es): a) Paul Alexander Cuevas Calixtro
b) Lorena Guery Fermin Camarena
c) _____

conducente a la obtención del título profesional de: Ingeniero Ambiental
(Denominación del Título Profesional)

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

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

Bachiller (a): Paul Alexander Cuevas Calixtro

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy bueno</u>

Bachiller (b): Lorena Guery Fermin Camarena

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
<u>Aprobado</u>	<u>15</u>	<u>B-</u>	<u>Bueno</u>	<u>Muy bueno</u>

Bachiller (c): _____

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

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

Presidente/a


Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro

Bachiller (a)

Bachiller (b)

Bachiller (c)

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

CALIDAD DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO E IMPLEMENTACIÓN DEL ECOFILTRO EN EL ASENTAMIENTO HUMANO DE SAN ANTONIO - LURIGANCHO – CHOSICA

Fermin Camarena Lorena Guery¹, Cuevas Calixtro Paul Alexander¹, Hugo Fernandez¹

¹ *Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú*

Resumen

El consumo de agua sin tratamiento adecuado expone silenciosamente a muchas familias a microorganismos y partículas dañinas, causando enfermedades evitables que surgen por limitaciones económicas y por no disponer de tecnologías simples que garanticen una calidad segura para beber cada día. A nivel mundial se reconoce que alrededor de 2,2 mil millones de personas todavía consumen agua sin seguridad adecuada y en el Perú apenas 50% accede a una calidad confiable, situación que muestra un problema persistente donde la contaminación microbiológica continúa produciendo daños invisibles en la población. El objetivo del estudio fue evaluar la eficiencia del Ecofiltro en la calidad del agua para consumo humano en el Asentamiento Humano (AA.HH) San Antonio, ubicado en Lurigancho-Chosica. El análisis estadístico se realizó con el software R studio. Se aplicó un diseño factorial completo 3×2, considerando tres niveles de concentración de carbón activado (1 kg, 2 kg y 3 kg) y dos tiempos de tratamiento (2 y 4 días). Las variables de respuesta incluyeron turbidez, demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y concentración de Escherichia coli, cuyos resultados fueron comparados con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) del Ministerio del Ambiente del Perú para agua de consumo humano. En los resultados se encontró que el pH disminuye de forma significativa según tratamiento y tiempo ($p=0.0079$ y $p=0.0130$), mientras la turbidez mostró una reducción muy marcada con interacción tratamiento por días ($p=0.0011$), llegando hasta 0.5 NTU en la dosis mayor. La DBO5 también presentó efectos combinados importantes ($p=0.0057$), logrando su mínima concentración con 3Kg a los 4 días. Asimismo, los SST y los indicadores microbiológicos E. coli y coliformes termotolerantes mostraron diferencias estadísticas en ambos factores evaluados ($p<0.05$). La conclusión fue que los tratamientos con mayor dosis y exposición generaron mayores reducciones en turbidez, DBO5, SST y microorganismos, mostrando que esta técnica contribuye en modificar la calidad del agua de forma beneficiosa, aunque con variabilidad parcial esperable.

Palabras claves: Fotocatálisis heterogénea, Carbón activado, Tratamiento de agua, Materia orgánica disuelta

Abstract

Consuming untreated water silently exposes many families to harmful microorganisms and particles, causing preventable illnesses that arise from economic limitations and the lack of access to simple technologies that guarantee safe drinking water every day. Globally, it is recognized that around 2.2 billion people still consume water without adequate safety, and in Peru, only 50% have access to reliable quality water. This situation reveals a persistent problem where microbiological contamination continues to cause invisible harm to the population. The objective of this study was to evaluate the efficiency of the Ecofiltro in improving drinking water quality in the San Antonio Human Settlement, located in Lurigancho-Chosica. Statistical analysis was performed using R studio software. A 3×2 full factorial design was applied, considering three levels of activated carbon concentration (1 kg, 2 kg, and 3 kg) and two treatment times (2 and 4 days). The response variables included turbidity, biochemical oxygen demand (BOD), and Escherichia coli concentration, the results of which were compared with the Environmental Quality Standards (EQS) of the Peruvian Ministry of the Environment for drinking water. The results showed that pH decreased significantly with treatment

and time ($p=0.0079$ and $p=0.0130$, respectively), while turbidity showed a marked reduction with interaction between treatment duration and days ($p=0.0011$), reaching up to 0.5 NTU at the highest dose. BOD5 also showed significant combined effects ($p=0.0057$), reaching its minimum concentration with 3 kg at 4 days. Likewise, total suspended solids (TSS) and the microbiological indicators *E. coli* and thermotolerant coliforms showed statistically significant differences in both factors evaluated ($p<0.05$). The conclusion was that treatments with higher doses and exposure generated greater reductions in turbidity, BOD5, TSS and microorganisms, showing that this technique contributes to modifying water quality in a beneficial way, although with expected partial variability.

Keywords: Heterogeneous photocatalysis, Activated carbon, Titanium dioxide, Water treatment, Dissolved organic matter

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable segura sigue siendo uno de los principales desafíos en términos de salud ambiental y desarrollo sostenible, especialmente en comunidades vulnerables donde los sistemas de saneamiento son limitados o inexistentes (WHO & UNIFE, 2021). A nivel mundial, aproximadamente 2,2 mil millones de personas carecen de agua segura para el consumo diario, situación que ha sido relacionada con la propagación de enfermedades infecciosas y la disminución de la calidad de vida (Greenwood et al., 2024; Reedy et al., 2024). Esta crisis no solo se atribuye a la escasez del recurso, sino también a la contaminación microbiológica y química que afecta gravemente la calidad del agua en muchas regiones (Jurczynski et al., 2024).

En países como Ecuador y Colombia, diversos estudios han demostrado que el agua suministrada no cumple con los estándares de potabilidad, presentando altos niveles de turbidez, coliformes fecales y otros contaminantes, lo cual incrementa los riesgos sanitarios para la población (Castañeda-Estupiñan & Torres-Martínez, 2023; Mera & Chacón, 2023). En Cuba, Crespo-Lambert et al. (2022) hallaron que el agua extraída de pozos locales presentaba concentraciones elevadas de coliformes, a pesar de obtener una clasificación aceptable bajo el Índice de Calidad de Agua (ICA). Esto pone en evidencia que la clasificación “aceptable” no garantiza ausencia de riesgo para la salud.

El Perú no es ajeno a esta situación. Según El Banco Mundial (2023) solo el 50% de la población tiene acceso a agua segura, mientras que en la Amazonia peruana esta situación es aún más precaria. Investigaciones realizadas en distintas regiones del país han identificado deficiencias críticas en la calidad del agua, como en Lima (López, 2022), Puno (Apaza, 2024), y Ucayali (Guimaraes, 2022; Pinedo & Tananta, 2020), donde se evidenció la presencia de coliformes termotolerantes, hierro férreo, y baja concentración de cloro residual.

En zonas periféricas de Lima, como el AA.HH San Antonio en Lurigancho-Chosica, la situación se vuelve aún más preocupante. El agua que abastece a esta comunidad proviene de un pozo vinculado a una hidroeléctrica y no recibe tratamiento previo antes de su distribución domiciliaria, lo que expone a la población a riesgos sanitarios considerables, principalmente por la posible presencia de microorganismos patógenos y partículas químicas (López, 2022),

Frente a esta problemática, la implementación de tecnologías de bajo costo y fácil mantenimiento como el Ecofiltro, se presenta como una solución viable para mejorar la calidad del agua. Este tipo de intervenciones puede no solo mejorar los indicadores sanitarios, sino también fortalecer la resiliencia de comunidades ante la inseguridad hídrica, promoviendo la salud ambiental y una mejor calidad de vida (Ministerio del Ambiente, 2017).

METODOLOGÍA

Lugar de Estudio

El estudio se realizó en el A.H. San Antonio, en Lurigancho–Chosica, Lima. Se ubica en la margen derecha del río Rímac, sobre la ladera occidental andina, a 604 m.s.n.m., con coordenadas 11°55'25.56"S y 76°42'6.62"O. Limita al este con la quebrada Pahua y al oeste con la quebrada Chucumayo. Presenta topografía accidentada y clima seco-templado. El acceso toma aprox. 1.5 h desde Lima metropolitana.

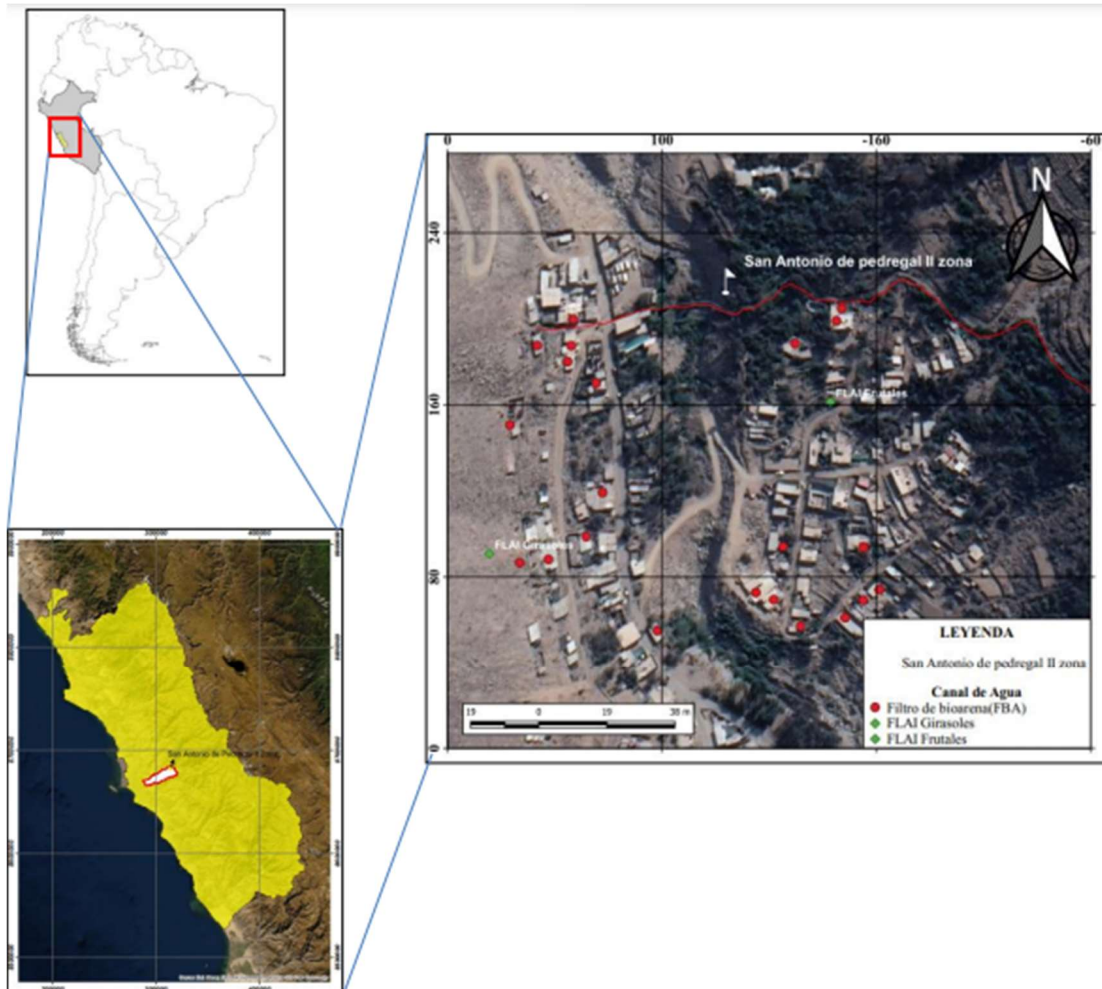


Figura 1. Mapa de Ubicación

1. Diseño Metodológico

El presente estudio experimental se estructuró en tres fases metodológicas diferenciadas: una fase inicial de elaboración e implementación, una fase intermedia de ejecución y toma de datos, y una fase final de análisis estadístico e interpretación de resultados, todo ello bajo un enfoque cuantitativo de diseño factorial controlado.

Se evalúa un tratamiento primario mediante Ecofiltro orientado a mejorar la calidad del agua con finalidad de consumo humano, dado que en el lugar de estudio no se cuenta con un sistema previo de tratamiento instalado o funcional, por lo que el proceso evaluado representa la primera barrera práctica de acondicionamiento del recurso hídrico en ese contexto.

Fase inicial: Se diseñó un sistema de tratamiento de agua tipo EcoFiltro, basado en carbón activado. Se establecieron tres niveles de concentración del material activo: 1 kg, 2 kg y 3kg, aplicados de forma homogénea sobre una estructura filtrante cerámica, manteniendo condiciones ambientales constantes. Paralelamente, se definió un segundo factor experimental correspondiente al tiempo de tratamiento, con dos niveles: 2 días y 4 días de exposición continua del agua al sistema filtrante. Esta disposición

33 dio lugar a un diseño factorial completo 3×2 . Se evaluaron seis combinaciones experimentales, obtenidas a partir de tres filtros con diferentes concentraciones de carbón activado y dos tiempos de tratamiento (2 y 4 días). Cada combinación fue analizada por duplicado ($n=2$). Adicionalmente, se consideró una muestra inicial de agua cruda (pretratamiento), totalizando 13 unidades experimentales. El agua utilizada fue recolectada de una fuente natural del sector Bosque Concordia – San Antonio (Chosica), caracterizada como agua cruda de uso y consumo humano, y conservada a 4 °C hasta su aplicación experimental. No se aplicó pretratamiento ni desinfección inicial, a fin de evaluar la capacidad descontaminante intrínseca del filtro.

Fase intermedia: Las muestras de agua fueron vertidas sobre cada unidad experimental y sometidas a tratamiento mediante goteo gravitacional, bajo condiciones ambientales controladas. Se realizaron mediciones en tres puntos temporales: tiempo cero (previo al tratamiento), a las 48 horas y a las 96 horas, de acuerdo con la asignación experimental.

Se evaluaron siete variables de respuesta asociadas a la calidad del agua:

- pH (unidades de pH),
- Turbidez (en unidades nefelométricas, NTU),
- 13 • Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) en mg/L,
- Sólidos suspendidos totales (SST) en mg/L,
- 1 • Concentración de *Escherichia coli* en NMP/100 mL,
- Coliformes termotolerantes en NMP/100 mL,
- Conductividad en $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C.

5 Las determinaciones analíticas fueron realizadas por un laboratorio externo acreditado (SEGESA Perú S.A.C.), utilizando metodologías normalizadas conforme al *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA-AWWA-WEF, 24.^a edición). Los métodos específicos aplicados fueron:

- 4500-H⁺ B para pH,
- 2130 B para turbidez,
- 5210 B para DBO5,
- 2540 D para SST,
- 9221 F para *Escherichia coli*,
- 9221 F para *Coliformes termotolerantes*,
- 2510 B para conductividad.

Todos los ensayos se ejecutaron con controles de calidad analítica internos, y se documentaron bajo condiciones de trazabilidad y verificación técnica.

6 15 9 **Fase final:** Los datos fueron organizados en una matriz general y procesados mediante análisis estadístico en el software RStudio, utilizando procedimientos acordes al diseño factorial aplicado. Los resultados fueron comparados con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua del Ministerio del Ambiente y en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA, correspondiente a la calidad de agua para consumo humano en el Perú.

2. Diseño muestral

Se muestreó un único punto de captación, el 8 de julio de 2025 en Bosque Concordia – San Antonio (Chosica, Lima), a las 05:00 horas en el pozo principal de agua el cual es de cemento a 2.5 metros aproximadamente. La muestra pre se recolectará en el punto de ingreso del agua al ecofiltro, antes del contacto con el material filtrante, mientras que la muestra post se obtendrá en el punto de salida inmediata del ecofiltro, posterior al paso por el medio filtrante, asegurando que ambas tomas se realicen en el mismo entorno operativo y bajo condiciones similares de manipulación. Se recolectó una muestra compuesta de 15 L en envases estériles, conservada a 4 °C y clasificada como agua para uso y consumo humano, categoría 1A (DS N.º 031 2010 SA). El volumen se dividió en 13 submuestras de 750 mL y se asignaron aleatoriamente a los tres tratamientos del diseño factorial 3×2 con dos réplicas por grupo; no se aplicó estratificación espacial ni temporal para priorizar homogeneidad. Se mantuvo cadena de custodia, blanco de campo y verificación de calibración, con traslado al laboratorio en 8 horas, lo cual minimizó cambios de la matriz y permitió estimar el efecto del tratamiento sin confusores evidentes.

3. Técnica de Recolección de datos

Técnica: La técnica empleada fue la observación estructurada con medición directa, bajo un enfoque pretest–postest, donde cada unidad experimental fue evaluada antes y después del tratamiento con carbón activado. Esto permitió cuantificar los cambios en parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua atribuibles al sistema filtrante.

Instrumento: Se utilizó un formato de registro diseñado para documentar las mediciones por tratamiento y tiempo, complementado con los informes emitidos por el laboratorio acreditado. Las determinaciones analíticas siguieron métodos estandarizados conforme al *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA-AWWA-WEF, 24.^a edición).

Fases de recolección de datos: La recolección de datos se estructuró en tres fases: una fase basal (T0), correspondiente a la medición inicial de las muestras de agua antes del tratamiento; una fase intermedia (T1), realizada a las 48 horas para las unidades con tiempo corto de exposición; y una fase final (T2), efectuada a las 96 horas para las unidades asignadas al tratamiento prolongado. En cada fase se registraron siete variables de respuesta: pH, turbidez, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), sólidos suspendidos totales (SST), coliformes termotolerantes y concentración de *Escherichia coli*.

Recursos: Para la implementación del sistema de tratamiento se utilizaron filtros de cerámica porosa (arcilla cocida) acoplados a recipientes plásticos de polietileno con capacidad de 12 litros, equipados con válvulas plásticas de grado alimentario para la recolección del agua tratada. El lecho filtrante estuvo compuesto por antracita granulada (0,85–0,95 mm), dispuesta como capa de soporte físico para retención de sólidos suspendidos. Dosificado directamente sobre la superficie del filtro en tres concentraciones (1 kg, 2 kg y 3 kg), de acuerdo con el diseño experimental. La dosificación de ambos materiales se realizó con una balanza analógica de uso doméstico (precisión de 5 g, capacidad máxima 1 kg). Se emplearon guantes de nitrilo para la manipulación segura de los materiales, cronómetros digitales para el control del tiempo de exposición y termómetros ambientales para el monitoreo de condiciones externas.

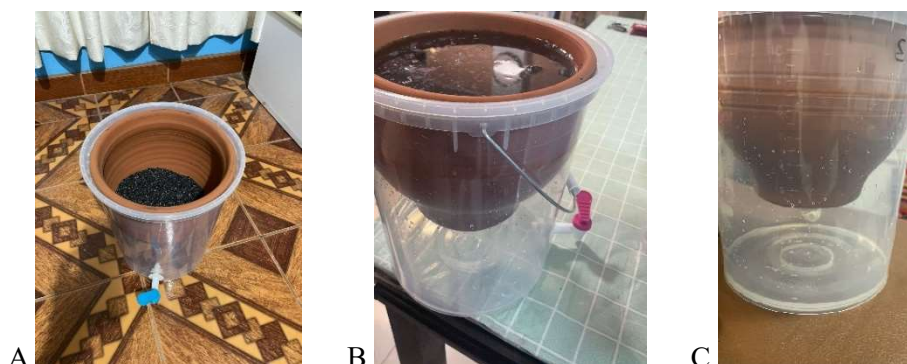


Figura 2. Ecofiltro A) Antes de iniciar el filtrado. B y C) Durante el filtrado.

2

4. Técnica Estadística para el Procesamiento de la Información

Los datos obtenidos fueron procesados mediante el software RStudio. Se aplicó un análisis de varianza factorial por dos factores fijos con interacción, con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$. Previamente se verificaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas con Anderson–Darling y Levene, respectivamente. Se evaluaron los efectos principales y su interacción sobre las variables de calidad del agua. Además. Los resultados fueron contrastados con los valores establecidos en los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, Categoría 1 – A1, aprobados mediante el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, dado que la fuente evaluada corresponde a agua cruda susceptible de potabilización. Asimismo, los parámetros microbiológicos fueron analizados de manera referencial frente a los límites del Decreto Supremo N.º 031-2010-SA del Ministerio de Salud, con el fin de contextualizar el nivel de cumplimiento requerido para agua destinada al consumo humano.

20

6

19

1

1

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Variación del pH

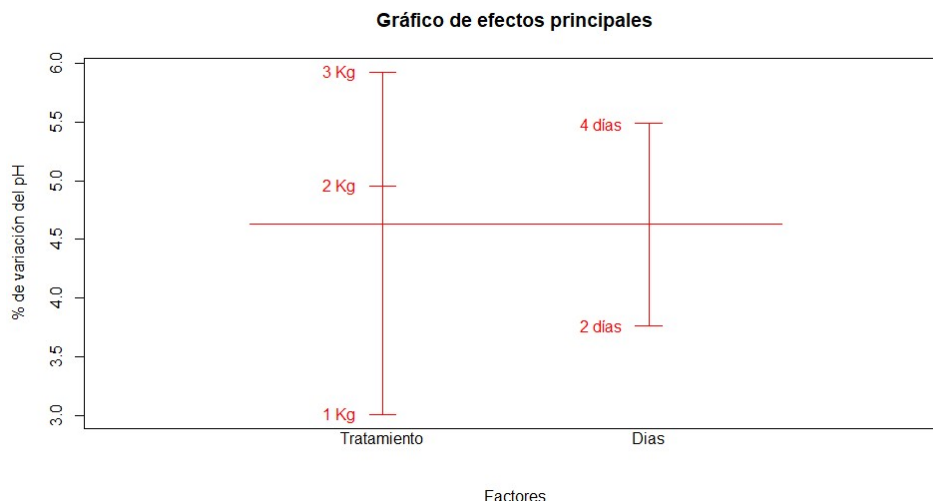
El valor basal de pH fue de 8,23. Las mediciones en el posfiltrado mostraron que, a los 2 días, el pH promedio fue 7,99 con 1 kg de antracita, 7,93 con 2 kg y 7,85 con 3 kg; a los 4 días, 7,98, 7,72 y 7,64, respectivamente, evidenciando descensos mayores con 1 a 3 kg y con el tiempo; la caída máxima se observó con 3 kg a 4 días, cerca de 0,59 unidades, lo cual refuerza la tendencia objetiva descrita (Tabla 1).

Tabla 1 – Mediciones de pH según día y tratamiento

Días	0 días	2 días			4 días		
Tratamiento con antracita granulada	0 kg	1 kg	2 kg	3 kg	1 kg	2 kg	3 kg
Repetición 1	8,23	7,92	7,84	7,89	7,94	7,72	7,62
Repetición 2	8,23	8,05	8,01	7,81	8,02	7,72	7,65
Promedio	8,23	7,99	7,93	7,85	7,98	7,72	7,64

El análisis de varianza (ANOVA) del pH evidenció que los tratamientos empleados en la filtración del agua de consumo humano tuvieron un efecto significativo, con un $p\text{-valor} = 0.0079 < 0.05$, lo que indica que el pH se modificó dependiendo del tipo de tratamiento. De igual forma, los días de exposición mostraron un impacto relevante ($p\text{-valor} = 0.0130 < 0.05$), reflejando que, a mayor duración en los días, el comportamiento del pH se va modificando con cierta constancia. En contraste, la interacción entre tratamiento y días no fue estadísticamente significativa ($p\text{-valor} = 0.136 > 0.05$), lo que señala que los dos factores actúan más de manera independiente que conjunta (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Efectos principales del tratamiento y los días en la variación del pH (%).



En la prueba de Shapiro–Wilk se confirmó que los residuos del modelo siguen un patrón compatible con una distribución normal, dado que el $p\text{-valor} = 0.9725$ es mucho mayor a 0.05. También la verificación de homogeneidad de varianzas indicó que los datos cumplen la condición de ser homocedásticos ($p\text{-valor} = 0.1079 > 0.05$). Estos resultados respaldan que los supuestos para el análisis de varianza se cumplen de manera correcta, aunque con un margen de variabilidad que no es despreciable del todo.

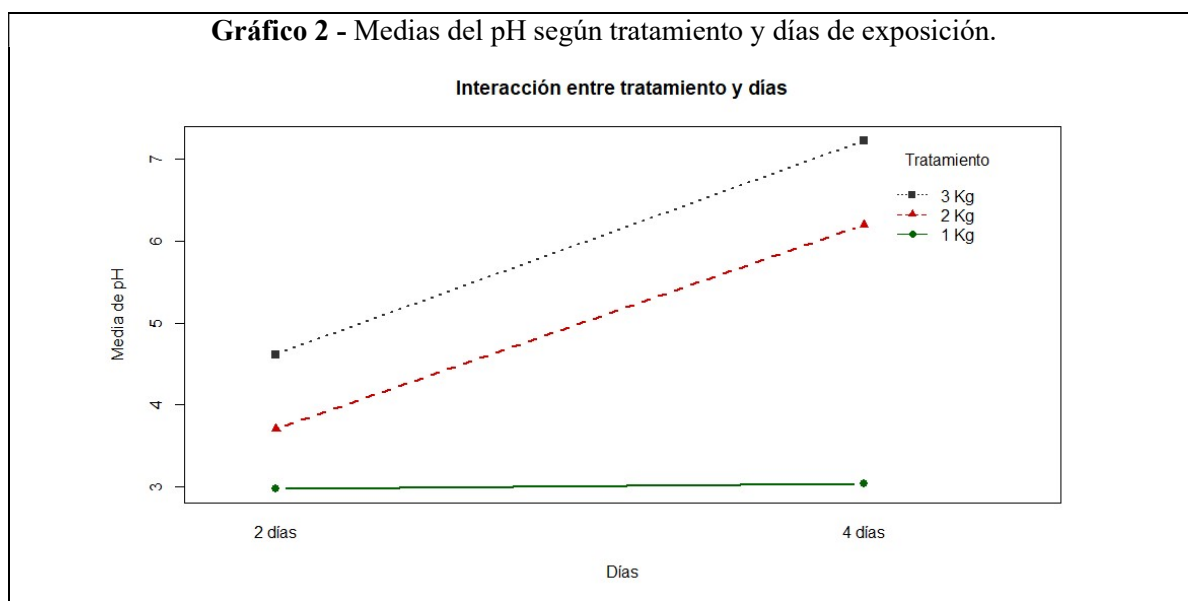
La prueba LSD de Fisher reveló diferencias claras entre tratamientos: el de 3 Kg mostró la mayor variación de pH (5.92%), seguido por el de 2 Kg (4.95%), mientras que el de 1 Kg presentó la menor variación (3.00%). En cuanto al tiempo, los valores a los 4 días fueron más altos (5.48%) en comparación con los 2 días (3.76%) (Tabla 2).

Tabla 2 - Prueba LSD de Fisher para los tratamientos y tiempos en la variación del pH (%).

Factor	Grupo	Variación % de pH
Tratamiento	1 kg	3,00
	2 kg	4,95
	3 kg	5,92
Tiempo	2 días	3,76
	4 días	5,48

Finalmente, los resultados del análisis de interacción muestran que, aunque no hubo significancia estadística formal, las tendencias gráficas indican que los tratamientos con 2 Kg y 3 Kg presentan una clara elevación del pH al aumentar los días de exposición, mientras que el tratamiento con 1 Kg permanece prácticamente estable (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Medias del pH según tratamiento y días de exposición.



Variación de la Conductividad

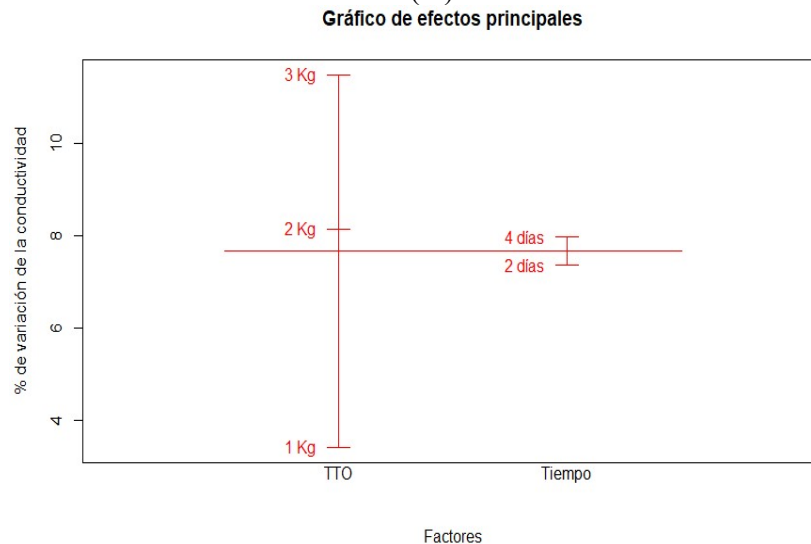
El valor basal de conductividad fue 514 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el posfiltrado a 2 días se observó descenso promedio a 499 con 1 kg, 473 con 2 kg y 457 con 3 kg, mostrando menor conductividad con mayor antracita. A 4 días los promedios fueron 494, 472 y 454 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente; la reducción adicional fue marcada con 1 kg, casi nula con 2 kg y leve con 3 kg. El mínimo global se registró con 3 kg a 4 días, 454 $\mu\text{S}/\text{cm}$, es decir una caída aproximada de 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respecto al basal, lo cual resume la tendencia descendente objetiva del ensayo (Tabla 3).

Tabla 3 – Mediciones de conductividad según día y tratamiento

Días	0 días	2 días				4 días	
Tratamiento con antracita granulada	0 kg	1 kg	2 kg	3 kg	1 kg	2 kg	3 kg
Repetición 1	514	511	507	455	478	441	457
Repetición 2	514	487	439	458	510	502	450
Promedio	514	499	473	457	494	472	454

El ANOVA de la conductividad no mostró evidencias de diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, obteniéndose un p-valor = 0.2053 > 0.05. Tampoco se detectó efecto de los días en el comportamiento de la variable (p-valor = 0.8556 > 0.05), y la interacción tratamiento $\times$ días resultó irrelevante (p-valor = 0.9963 > 0.05). En conjunto, esto refleja que la conductividad se mantuvo con valores estables sin depender de manera clara de los factores evaluados (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Efectos principales del tratamiento y los días en la variación de la conductividad (%).



La verificación de los supuestos del modelo indicó que los datos se ajustaron correctamente a la distribución normal según la prueba de Shapiro–Wilk ($p\text{-valor} = 0.8849 > 0.05$). Asimismo, el test de homogeneidad de varianzas mostró que la dispersión de los datos entre grupos fue constante ($p\text{-valor} = 0.8417 > 0.05$). Estos hallazgos confirman que el modelo estadístico empleado fue válido, aunque algunas diferencias numéricas pueden interpretarse como fluctuaciones propias del experimento.

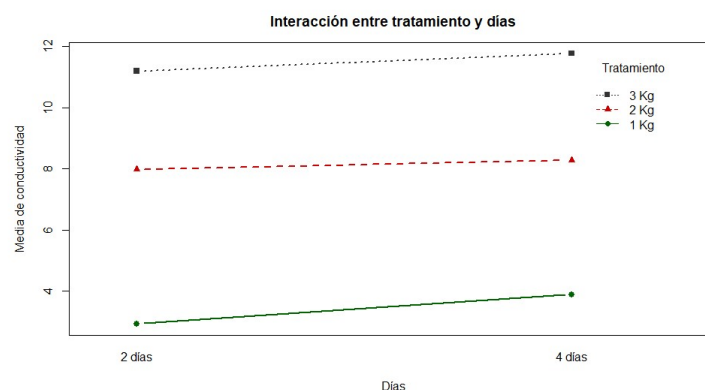
La prueba LSD de Fisher señaló medias de 3.40 para el tratamiento con 1 Kg, 8.12 en 2 Kg y 11.47 en 3 Kg. A pesar de la diferencia numérica, las comparaciones no fueron estadísticamente significativas, ya que todos los grupos se mantuvieron en la misma categoría. En cuanto al tiempo, los promedios de 2 días (7.36) y 4 días (7.97) también se ubicaron en una misma agrupación, evidenciando ausencia de cambios relevantes (Tabla 4).

Tabla 4 - Prueba LSD de Fisher para los tratamientos y tiempos en la variación de la conductividad (%).

Factor	Grupo	Variación % de conductividad
Tratamiento	1 kg	3,40
	2 kg	8,12
	3 kg	11,47
Tiempo	2 días	7,36
	4 días	7,97

Por último, al revisar los resultados de la interacción, se observó que ninguna de las combinaciones entre tratamientos y días mostró diferencias significativas. Las tendencias fueron similares en todos los grupos, lo que confirma que la variación en la conductividad no depende de la interacción conjunta de los factores evaluados (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Efectos principales del tratamiento y los días en la variación de la conductividad (%).



Variación de la turbidez

El valor basal de turbidez fue 35 NTU. En el posfiltrado a 2 días se observó una reducción dependiente de la cantidad de antracita: 12,7 NTU con 1 kg, 2,1 con 2 kg y 1,5 con 3 kg. A los 4 días los promedios descendieron a 4,2; 0,6 y 0,5 NTU, respectivamente, con disminuciones adicionales de 8,5; 1,5 y 1,0 NTU frente a los 2 días. El mínimo global fue 0,5 NTU con 3 kg a 4 días, lo cual resume una caída marcada y sostenida del parámetro en el periodo observado, de 35 a 0,5 NTU en el mejor escenario evaluado (Tabla 5).

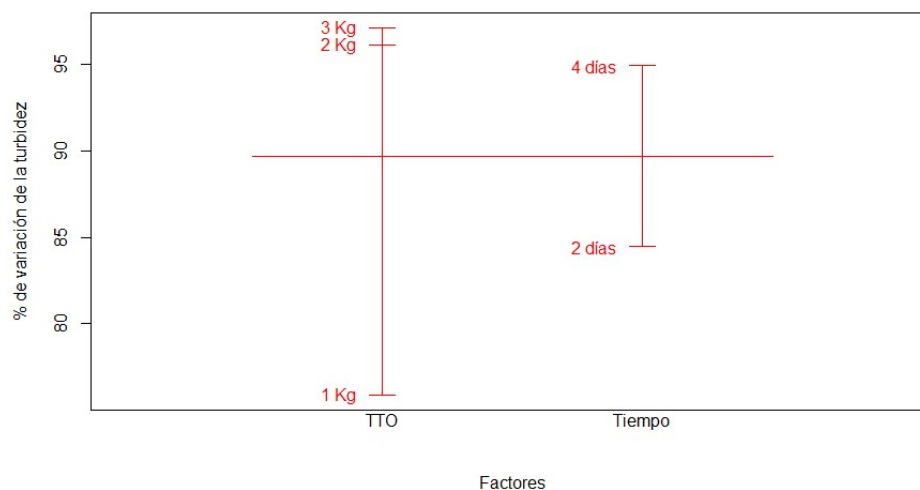
Tabla 5 – Mediciones de turbidez según día y tratamiento

Días	0 días	2 días			4 días		
Tratamiento con antracita granulada	0 kg	1 kg	2 kg	3 kg	1 kg	2 kg	3 kg
Repetición 1	35	12,3	3,4	1,8	3,9	0,7	0,5
Repetición 2	35	13,1	0,8	1,2	4,5	0,5	0,5
Promedio	35	12,7	2,1	1,5	4,2	0,6	0,5

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que la turbidez del agua se vio claramente influida por los tratamientos aplicados, con un $p\text{-valor} = 2.21e-05 < 0.05$, lo que evidencia que los cambios dependen del tipo de filtro empleado. Del mismo modo, los días de tratamiento tuvieron un efecto importante ($p\text{-valor} = 0.00025 < 0.05$), reflejando que con mayor tiempo de exposición la turbidez se modifica de manera consistente. Asimismo, la interacción entre tratamiento y días resultó significativa ($p\text{-valor} = 0.0011 < 0.05$), lo cual indica que ambos factores se combinan para explicar las variaciones (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Efectos principales del tratamiento y los días en la variación de la turbidez (%).

Gráfico de efectos principales



En la prueba de normalidad de Shapiro–Wilk se evidenció que los residuos mantienen un comportamiento compatible con la distribución normal, dado que el $p\text{-valor}$ obtenido fue 0.3413, bastante mayor al umbral de 0.05. A su vez, la homogeneidad de varianzas se confirmó con un $p\text{-valor} = 0.7253$, indicando que no existen diferencias notables en la dispersión de los grupos. Estos resultados respaldan que los supuestos básicos para aplicar ANOVA se cumplen de manera adecuada, aunque siempre puede quedar un pequeño margen de variabilidad que no se logra captar del todo.

El análisis post hoc con la prueba LSD de Fisher permitió identificar contrastes claros: los tratamientos de 2 Kg y 3 Kg presentaron valores elevados y muy similares de turbidez (96.1 y 97.1), mientras que el de 1 Kg se ubicó bastante más bajo (75.8). En cuanto a los días, se observó que a los 4 días los niveles de turbidez alcanzaron valores superiores (94.9) respecto a los 2 días (84.4), lo que sugiere que la prolongación del tiempo favorece de manera consistente la remoción de sólidos suspendidos (Tabla 6).

4

Tabla 6 - Prueba LSD de Fisher para los tratamientos y tiempos en la variación de la turbidez (%).

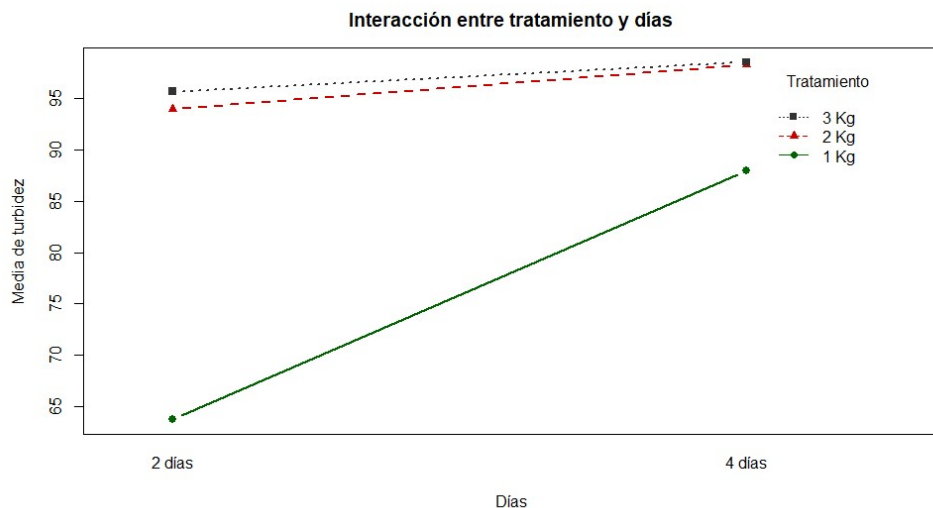
Factor	Grupo	Variación % de turbidez
Tratamiento	1 kg	75,85
	2 kg	96,14
	3 kg	97,14
Tiempo	2 días	84,47
	4 días	94,95

1

Por último, la interacción analizada mediante contrastes múltiples **mostró que las diferencias más fuertes se concentran al comparar el tratamiento de 1 Kg con los de 2 y 3 Kg**, además de observarse un efecto de los días sobre este patrón. Las representaciones gráficas refuerzan la idea de que, mientras el filtro de 1 Kg se mantiene con menor efectividad, los tratamientos de 2 y 3 Kg alcanzan valores altos y casi estables conforme avanza el tiempo (Gráfico 6).

28

Gráfico 6 - Efectos principales del tratamiento y los días en la variación de la turbidez (%).



Variación de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO5)

El valor basal de DBO5 fue 26,7 mg/L. En el posfiltrado a 2 días disminuyó a 7,9 mg/L con 1 kg, 4,8 mg/L con 2 kg y 3,4 mg/L con 3 kg; a 4 días se observó un aumento con 1 kg y 2 kg hasta 15,5 y 12,9 mg/L, mientras con 3 kg descendió a 2,9 mg/L. Globalmente, la mayor reducción se obtuvo con 3 kg a 4 días, caída cercana a 23,8 mg/L frente al basal; con 1 kg el mínimo ocurrió a 2 días y luego hubo repunte, lo cual sugiere un patrón temporal no monótono estrictamente (Tabla 7).

Tabla 7 – Mediciones de DBO5 según día y tratamiento

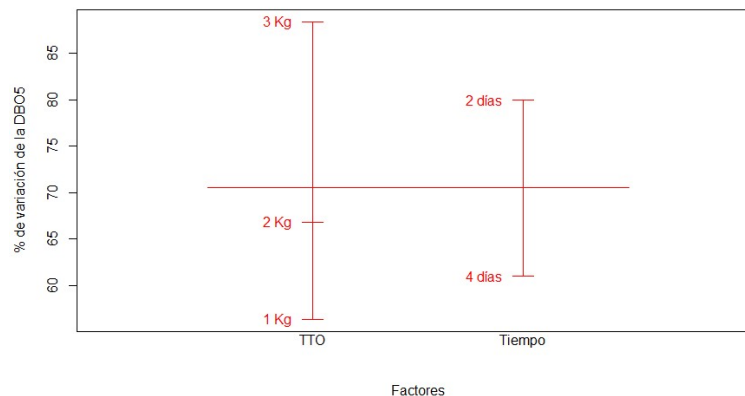
Días	0 días		2 días			4 días		
Tratamiento con antracita granulada	0 kg	1 kg	2 kg	3 kg	1 kg	2 kg	3 kg	
Repetición 1	26,7	7,5	5,4	4,7	16,7	14,0	2,9	
Repetición 2	26,7	8,2	4,2	2,0	14,2	11,8	2,8	
Promedio	26,7	7,9	4,8	3,4	15,5	12,9	2,9	

El análisis de ANOVA mostró que los tratamientos tuvieron un efecto muy marcado sobre la DBO5, con un $p\text{-valor} = 0.0002 < 0.05$, lo que confirma que la cantidad de material aplicado influye de forma determinante en la demanda biológica. Del mismo modo, los días de exposición resultaron significativos ($p\text{-valor} = 0.0005 < 0.05$), indicando que el tiempo de contacto cambia de manera importante el comportamiento de esta variable. Además, la interacción entre tratamiento y días fue

3

estadísticamente significativa ($p\text{-valor} = 0.0057 < 0.05$), lo que señala que ambos factores combinados generan un efecto adicional más allá de sus impactos individuales (Gráfico 7).

Gráfico 7 - Efectos principales del tratamiento y los días en la variación de la demanda biológica de oxígeno (%).
Gráfico de efectos principales



En la prueba de Shapiro-Wilk se observó que los residuos del modelo cumplen con el supuesto de normalidad ($p\text{-valor} = 0.4486 > 0.05$). Asimismo, la verificación de homogeneidad de varianzas mediante el test de varianza no constante confirmó que los datos se mantienen dentro de la condición de homocedasticidad ($p\text{-valor} = 0.3875 > 0.05$). Estos resultados permiten sostener que los supuestos estadísticos se cumplen de manera adecuada.

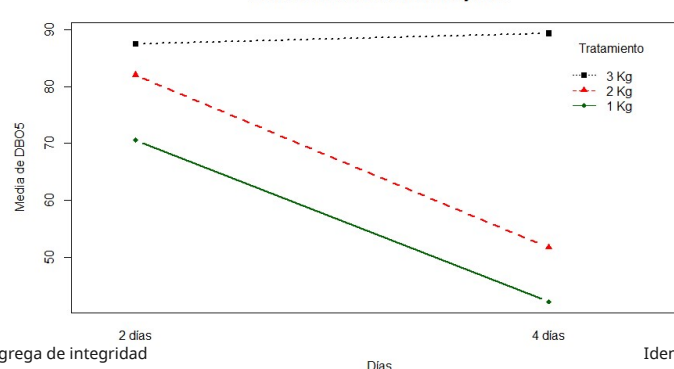
La prueba LSD de Fisher evidenció diferencias entre los tratamientos: el de 3 Kg alcanzó el mayor promedio de DBO5 (88.38), seguido por 2 Kg (66.85), mientras que el de 1 Kg obtuvo el valor más bajo (56.36). Respecto al factor tiempo, los 2 días alcanzaron promedios más altos (80.02) en contraste con los 4 días (61.04), lo que refleja que la permanencia corta mantuvo mayor nivel de demanda biológica (Tabla 8).

Tabla 8 - Prueba LSD de Fisher para los tratamientos y tiempos en la variación de la demanda biológica de oxígeno (%).

Factor	Grupo	Variación % de DBO5
Tratamiento	1 kg	56,36
	2 kg	66,85
	3 kg	88,38
Tiempo	2 días	80,02
	4 días	61,04

Finalmente, el análisis de interacción mostró que en los 2 días iniciales los tratamientos de 2 Kg y 3 Kg presentaron valores de DBO5 considerablemente elevados, pero a los 4 días se produjo un descenso más notorio, especialmente en el de 2 Kg, mientras que el de 1 Kg evidenció cambios menos consistentes. Esto indica que la combinación de alta carga y menor tiempo de exposición genera la respuesta más marcada sobre la DBO5 (Gráfico 8).

Gráfico 8 - Efectos principales del tratamiento y los días en la variación de la demanda biológica de oxígeno (%).
Interacción entre tratamiento y días



Variación de los SST

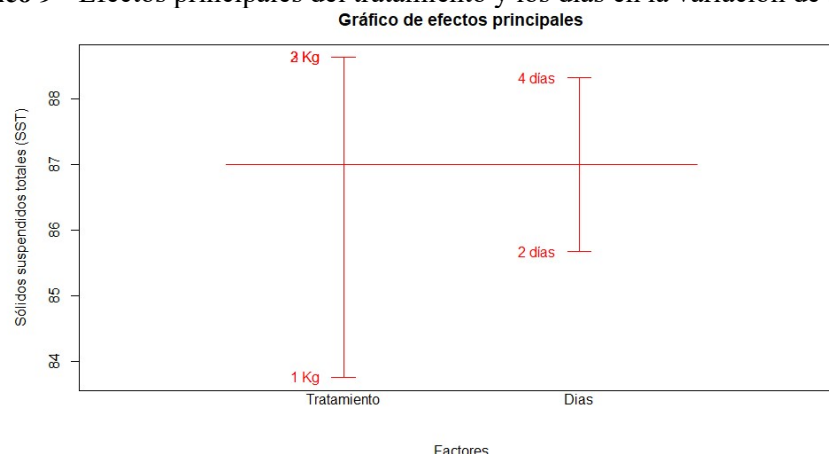
El valor basal de SST fue 22 mg/L y descendió marcadamente tras el posfiltrado. A los 2 días promedió 4,5 mg/L con 1 kg y 2,5 mg/L con 2 y 3 kg; a los 4 días se mantuvo en 2,5 mg/L con 2 y 3 kg, mientras con 1 kg aumentó levemente a 2,7 mg/L. La reducción máxima se observó con 2 a 3 kg, cerca de 19,5 mg/L respecto al basal, con variación mínima entre 2 y 4 días en esas dosis, lo cual muestra estabilización del parámetro en el rango bajo evaluado (Tabla 9).

Tabla 9 – Mediciones de SST según día y tratamiento

Días	0 días	2 días			4 días		
Tratamiento con antracita granulada	0 kg	1 kg	2 kg	3 kg	1 kg	2 kg	3 kg
Repetición 1	22	4,8	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Repetición 2	22	4,1	2,5	2,5	2,9	2,5	2,5
Promedio	22	4,5	2,5	2,5	2,7	2,5	2,5

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que los tratamientos aplicados generaron diferencias estadísticamente significativas en los sólidos suspendidos totales, con un valor $p = 0.0008 < 0.05$. Esto indica que la concentración de sólidos suspendidos totales (SST) cambió dependiendo del nivel de tratamiento utilizado. De igual modo, el factor tiempo también resultó importante ($p = 0.0048 < 0.05$), sugiriendo que la prolongación de los días modifica de manera relevante los valores de SST. En este caso, la interacción entre tratamiento y días también alcanzó significancia ($p = 0.0025 < 0.05$), lo cual refleja que la respuesta de los SST depende tanto del tipo de tratamiento como de la duración aplicada (Gráfico 9).

Gráfico 9 - Efectos principales del tratamiento y los días en la variación de SST (%).



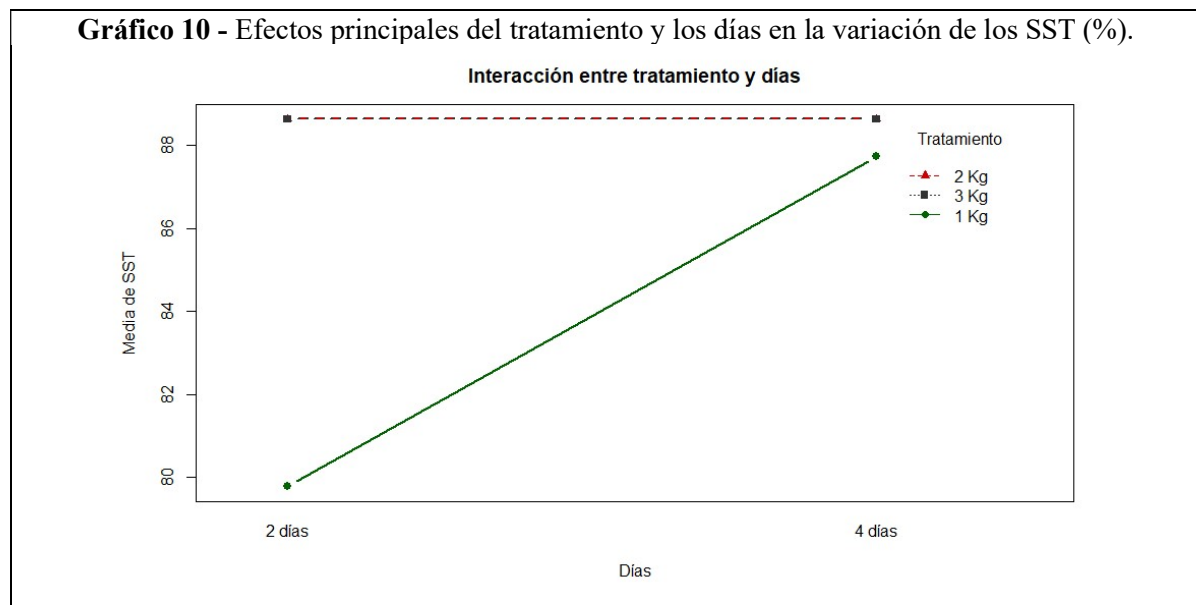
En la evaluación de supuestos, la prueba de Shapiro–Wilk reveló un p-valor de 0.0159, indicando que los residuos no siguen estrictamente la normalidad, aunque la desviación observada no invalida el análisis de manera definitiva. En paralelo, la prueba de homogeneidad de varianzas arrojó un $p = 0.00007$, lo que confirma que los datos presentan heterocedasticidad. Aun así, el análisis puede interpretarse con cautela porque la tendencia de los efectos es clara.

Al aplicar la prueba LSD de Fisher, se identificó que los tratamientos de 2 Kg y 3 Kg alcanzaron valores más elevados y estadísticamente similares de SST, mientras que el de 1 Kg se diferenció con los niveles más bajos. En cuanto al factor tiempo, a los 4 días se observó un valor promedio mayor (88.3%) en comparación con los 2 días (85.6%) (Tabla 10).

Tabla 10 - Prueba LSD de Fisher para los tratamientos y tiempos en la variación de los SST (%).

Factor	Grupo	Variación % de SST
Tratamiento	1 kg	83,75
	2 kg	88,63
	3 kg	88,63
Tiempo	2 días	85,68
	4 días	88,33

Finalmente, el análisis de interacción con base en los estimados marginales demostró que las combinaciones de 2 Kg y 3 Kg mantuvieron niveles prácticamente idénticos en los distintos tiempos, mientras que el tratamiento de 1 Kg reflejó un patrón inferior en ambas mediciones. Esto refuerza la conclusión de que el efecto conjunto tratamiento–tiempo es clave para explicar la variabilidad de SST en este estudio (Gráfico 10).



Variación de *E. coli*

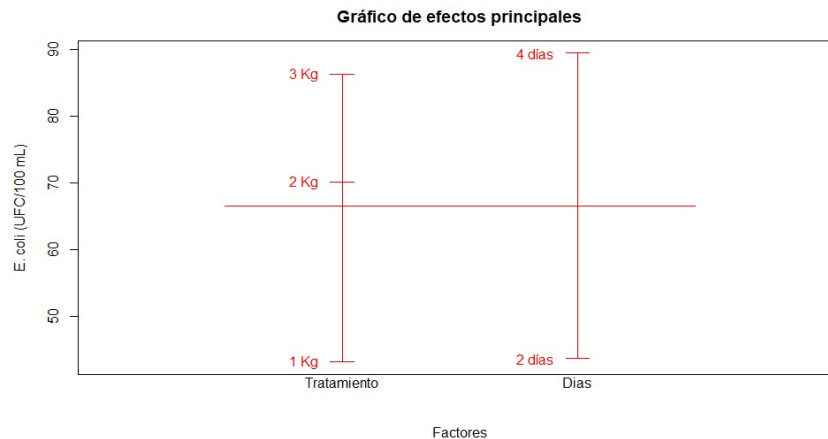
El valor basal de *E. coli* fue 23,0 NMP/100 mL. En el posfiltrado a 2 días no hubo cambio con 1 kg (23,0), pero se observó descenso con 2 kg a 10,6 y con 3 kg a 5,2 NMP/100 mL. A 4 días, los promedios fueron 3,1 con 1 kg, 3,1 con 2 kg y 1,1 con 3 kg, registrándose el mínimo global con 3 kg y reducción absoluta cercana a 21,9 NMP/100 mL frente al basal, lo cual refleja una tendencia descendente clara del conteo (Tabla 11).

Tabla 11 – Mediciones de *E. coli* según día y tratamiento

Días	0 días		2 días		4 días		
Tratamiento con antracita granulada	0 kg	1 kg	2 kg	3 kg	1 kg	2 kg	3 kg
Repetición 1	23,0	23,0	12,0	8,2	5,1	5,1	1,1
Repetición 2	23,0	23,0	9,2	2,2	1,1	1,1	1,1
Promedio	23,0	23,0	10,6	5,2	3,1	3,1	1,1

El ANOVA mostró diferencias estadísticamente significativas en todos los factores evaluados. El efecto de los tratamientos fue importante ($p\text{-valor} = 0.0040 < 0.05$), indicando que la concentración de *E. coli* se modificó en función del tipo de dosis aplicada. Los días de exposición tuvieron también un impacto contundente ($p\text{-valor} = 0.00035 < 0.05$), lo que refleja que el tiempo condiciona de manera marcada la reducción bacteriana. Además, la interacción entre tratamiento y días resultó igualmente significativa ($p\text{-valor} = 0.0099 < 0.05$), sugiriendo que el efecto de los tratamientos se potencia o cambia según la duración de exposición (Gráfico 11).

Gráfico 11 - Efectos principales del tratamiento y los días en la variación de E. coli (%).



La prueba de Shapiro–Wilk mostró que los residuos mantienen un patrón compatible con una distribución normal ($p\text{-valor} = 0.618 > 0.05$). De igual manera, la verificación de homogeneidad de varianzas indicó que los datos cumplen la condición de homocedasticidad ($p\text{-valor} = 0.3565 > 0.05$). Esto respalda la confiabilidad del modelo, aunque no elimina por completo la posibilidad de pequeñas fluctuaciones en los supuestos.

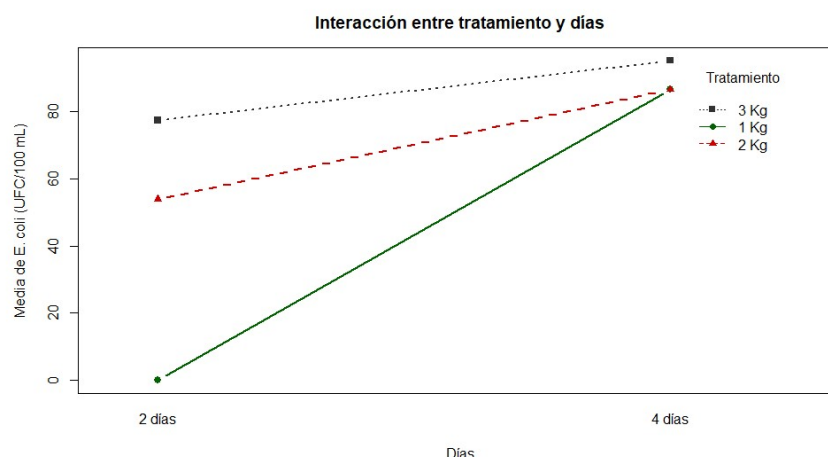
El análisis mediante LSD de Fisher permitió constatar diferencias notables entre los tratamientos. El de 3 Kg presentó las medias más altas de *E. coli* (86.30 UFC/100 mL), seguido por el de 2 Kg (70.21 UFC/100 mL), mientras que el de 1 Kg fue el que evidenció la menor concentración (43.26 UFC/100 mL). En cuanto al factor tiempo, a los 4 días se observó una media claramente más elevada (89.42 UFC/100 mL) en comparación con los 2 días (43.76 UFC/100 mL) (Tabla 12).

Tabla 12 - Prueba LSD de Fisher para los tratamientos y tiempos en la variación de E. coli (%).

Factor	Grupo	Variación % de E.coli
Tratamiento	1 kg	43,26
	2 kg	70,21
	3 kg	86,30
Tiempo	2 días	43,76
	4 días	89,42

Finalmente, los resultados de interacción evidencian que los incrementos bacterianos son más notorios en los tratamientos de 2 Kg y 3 Kg cuando el periodo se amplía a 4 días, mientras que el de 1 Kg se mantiene en un rango considerablemente más bajo en ambos tiempos (Gráfico 12).

Gráfico 12 - Efectos principales del tratamiento y los días en la variación de E. coli (%).



Variación de coliformes termotolerantes

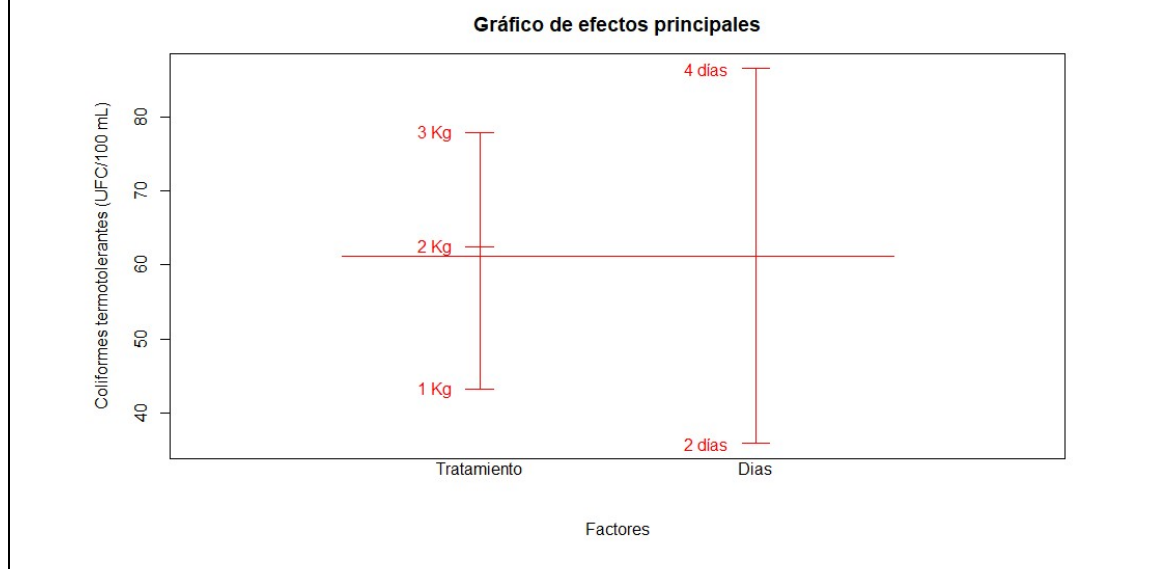
El valor basal de coliformes termotolerantes fue 23,0 NMP/100 mL. En el posfiltrado a 2 días no hubo cambio con 1 kg, mientras descendió a 14,2 con 2 kg y a 7,1 con 3 kg. A los 4 días se observó 3,1 NMP/100 mL en los tres tratamientos, indicando una reducción absoluta de 19,9 a 23,0 unidades según la dosis y el tiempo, con el mínimo común en 3,1 NMP/100 mL (Tabla 13).

Tabla 13 – Mediciones de coliformes termotolerantes según día y tratamiento

Días	0 días		2 días			4 días		
Tratamiento con antracita granulada	0 kg	1 kg	2 kg	3 kg	1 kg	2 kg	3 kg	
Repetición 1	23,0	23,0	15,1	9,1	5,1	5,1	1,1	
Repetición 2	23,0	23,0	13,2	5,1	1,1	1,1	5,1	
Promedio	23,0	23,0	14,2	7,1	3,1	3,1	3,1	

El análisis de varianza (ANOVA) de los coliformes termotolerantes mostró efectos significativos en todos los factores evaluados. El tratamiento presentó un valor de $p = 0.0093 < 0.05$, lo que confirma que los niveles de C_Termot variaron según la cantidad aplicada en la filtración. Del mismo modo, los días de exposición fueron aún más determinantes ($p = 0.000145 < 0.05$), evidenciando que el tiempo prolongado incrementa notablemente la reducción bacteriana. Además, la interacción entre tratamiento y días también fue estadísticamente significativa ($p = 0.0093 < 0.05$), lo que implica que el impacto de los tratamientos depende del número de días considerados (Gráfico 13).

Gráfico 13 - Efectos principales del tratamiento y los días en la variación de coliformes termotolerantes (%).



La verificación de supuestos reveló limitaciones. La prueba de Shapiro-Wilk indicó que los residuos del modelo no se ajustaron adecuadamente a la normalidad ($p = 0.0165 < 0.05$). Sin embargo, la prueba de homogeneidad de varianzas resultó aceptable ($p = 0.1569 > 0.05$). Estos hallazgos sugieren que aunque el modelo es válido, existe cierta dispersión en los datos que debe tomarse con cautela al generalizar los resultados.

El análisis con la prueba LSD de Fisher evidenció diferencias claras entre los tratamientos: el de 3 Kg alcanzó la mayor media de coliformes termotolerantes (77.82%), seguido por el de 2 Kg (62.50%), mientras que el de 1 Kg mostró los valores más bajos (43.26%). En cuanto al tiempo de exposición, los 4 días registraron una media mucho más elevada (86.52%) en comparación con los 2 días (35.86%) (Tabla 14).

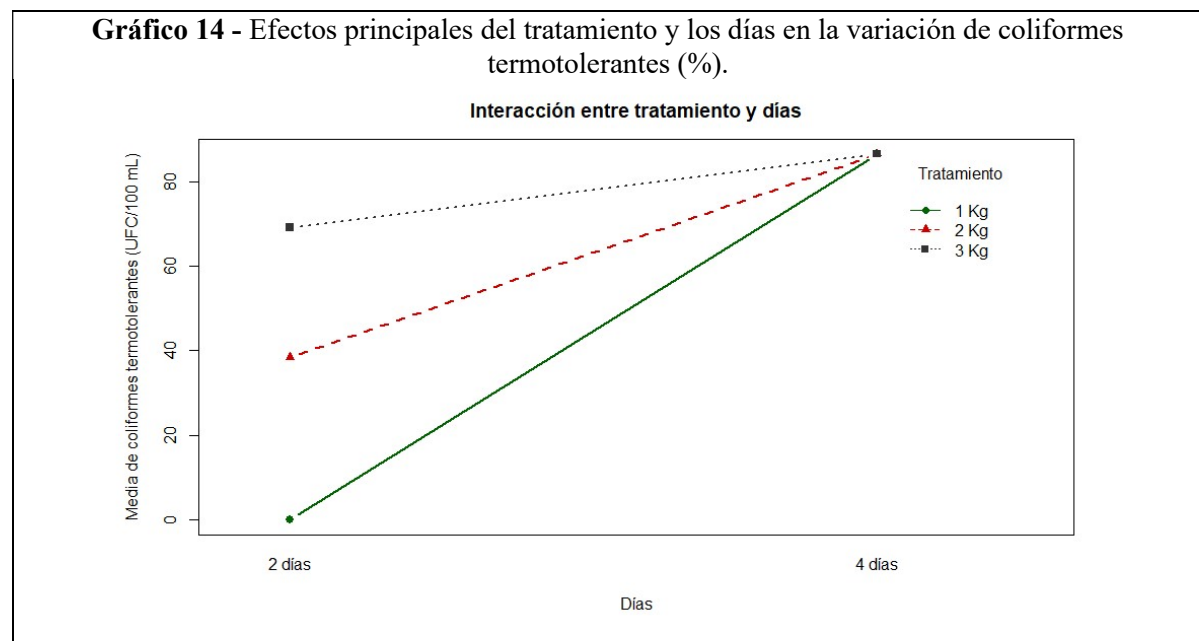
35

Tabla 14 - Prueba LSD de Fisher para los tratamientos y tiempos en la **variación de coliformes termotolerantes (%)**.

Factor	Grupo	Variación % de coliformes termotolerantes
Tratamiento	1 kg	43,26
	2 kg	62,50
	3 kg	77,82
Tiempo	2 días	35,86
	4 días	86,52

Finalmente, los contrastes múltiples sugieren que las combinaciones con mayor duración y dosis presentan un efecto mucho más marcado sobre la concentración de coliformes termotolerantes. Gráficamente se observa cómo los tratamientos con 2 Kg y 3 Kg intensifican su efecto al pasar de 2 a 4 días, mientras que con 1 Kg los cambios son menos consistentes, aunque igualmente significativos (Gráfico 14).

Gráfico 14 - Efectos principales del tratamiento y los días en la variación de coliformes termotolerantes (%).



DISCUSIONES

En este estudio, el ecofiltro con antracita mostró mejoras consistentes y operativamente relevantes. El pH descendió levemente respecto al basal, conservándose en un rango útil para potabilización por desinfección. La conductividad presentó caídas modestas y sin patrones fuertes, en cambio la clarificación fue marcada. La turbidez disminuyó de forma sostenida con mayor cantidad de antracita y con más tiempo de contacto, los SST convergieron a niveles bajos y estables. La DBO5 evidenció una trayectoria no totalmente monótona, con reducción temprana seguida de repuntes en dosis menores, mientras que la condición más alta mantuvo la baja final. En microbiología, *E. coli* y coliformes termotolerantes se redujeron de manera clara con el tratamiento y el tiempo, alcanzando mínimos al cuarto día, lo cual refuerza la utilidad de este lecho granular como etapa de pretratamiento antes de la desinfección final, compatible con A1. Estas observaciones se apoyan en los resúmenes de las tablas correspondientes y en las variaciones promedio descritas sin repetir datos innecesarios para evitar redundancias.

En contraste con la literatura de parámetros fisicoquímicos, Zarate Gamarra (2024) reportó eficiencias significativas en dureza y sólidos disueltos totales (SDT) con filtros cerámicos bañados en plata bajo condiciones térmicas de 950 °C y 20 ppm, con $p < 0,001$, mientras Apea et al., (2023) documentó mejoras simultáneas en turbidez, conductividad, SDT y dureza usando configuraciones comerciales con carbón activado. Nuestros resultados son concordantes en la fuerte disminución de turbidez y SST y en la estabilidad operacional del medio, aunque la señal sobre conductividad fue menor, probablemente por la naturaleza del medio granular que favorece retención de partículas antes que remoción de solutos verdaderos. La trayectoria de DBO5, con repuntes en dosis bajas a mayor tiempo, difiere parcialmente de los escenarios con matrices y medios combinados que reportan descensos más lineales, sugiriendo que la capacidad de adsorción efectiva y el régimen hidráulico importan bastante para sostener la reducción orgánica. Aromolaran & Ogunbode (2024) observó reducciones de conductividad de 110 a 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con filtro cerámico y nanopartículas de playa (AgNPs) verdes, magnitud superior a la nuestra, coherente con diferencias de sustrato y química del agua fuente. En conjunto, nuestras tendencias fisicoquímicas se alinean con la clarificación robusta descrita por estos autores, aun con magnitudes distintas por tecnología y contexto.

En el contraste microbiológico, Ascarza Moises (2024) mostró reducciones de coliformes fecales hasta 0 NMP/100 mL y turbidez cercana a 0,68 NTU cuando se empleó plata coloidal no menor a 13 ppm y quema a 900 °C, con $p < 0,001$ para los principales desenlaces, evidenciando efecto bactericida adicional al filtrado físico. Aromolaran & Ogunbode (2024), por el contrario, halló que la diferencia entre filtros cerámicos estándar y filtros cerámicos con AgNPs verdes no fue significativa para remoción bacteriana global, según Mann Whitney $p = 0,407$, destacando que la plata no siempre agrega ventaja universal. Nuestras reducciones en *E. coli* y coliformes termotolerantes fueron consistentes y dependientes del tiempo y de la cantidad de antracita, coherentes con un mecanismo de retención y maduración de torta filtrante. Bajo el marco A1, esto sugiere que el ecofiltro actúa como etapa de acondicionamiento que reduce la carga microbiana y la turbidez a niveles favorables, y que la desinfección posterior es necesaria para asegurar inactivación completa y robusta en campo, así mismo mejorar la reproducibilidad en escenarios comunitarios diversos.

CONCLUSIONES

El estudio demuestra que la implementación del Ecofiltro elaborado con carbón activado constituye una alternativa eficiente y de bajo costo como tratamiento primario para mejorar la calidad del agua utilizada para consumo humano en el A.H. San Antonio, Lurigancho-Chosica. Los resultados evidenciaron reducciones significativas en turbidez, DBO₅, sólidos suspendidos totales y carga microbiológica, con mayores efectos en las dosis de 2 kg y 3 kg con cuatro días de contacto. En el mejor escenario se alcanzaron valores fisicoquímicos compatibles con aguas susceptibles de potabilización; sin embargo, en el componente microbiológico se observó reducción, mas no eliminación total de E. coli y coliformes termotolerantes, lo que indica que el sistema funciona como una etapa de acondicionamiento inicial y no garantiza por sí solo el cumplimiento de los criterios de potabilidad establecidos en el Decreto Supremo N.º 031-2010-SA del Ministerio de Salud. En consecuencia, el Ecofiltro debe considerarse como parte de un esquema integral de tratamiento que requiere una etapa posterior de desinfección para asegurar inocuidad microbiológica completa en contextos donde no existe infraestructura formal de potabilización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Apaza Mamani, E. (2024). *Evaluación de la calidad de agua para consumo humano en pozos excavados de la urbanización magisterial del sector Taparachi - Juliaca, 2024*. [Universidad Privada San Carlos]. <http://repositorio.upsc.edu.pe/handle/UPSC/941>
- Castañeda-Estupiñan, N. L., & Torres-Martínez, S. L. (2023). *Diseño de filtro a base de lechos filtrantes granulares y de material reciclado como una alternativa de bajo costo para el mejoramiento de la calidad de agua para uso doméstico* [Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/19602f70-cf70-403e-8fba-35d34c5c5821>
- Crespo-Lambert, M., Fernández-Rodríguez, M., & Alberto Pérez-García, L. (2022). Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en el poblado de Yamanigüey según ICA de Montoya. *Minería y Geología*, 38(2), 157–167. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1993-80122022000200157
- Greenwood, E., Lauber, T., Hoogen, J., Donmez, A., Bain, R. E. S., Johnston, R., Crowther, T. W., & Julian, T. R. (2024). Mapping safe drinking water use in low- and middle-income countries. *Science*, 385(67710), 784–790. <https://doi.org/10.1126/science.adh9578>
- Guimaraes Pérez, L. X. (2022). *Evaluación de la calidad del agua para consumo humano en el Asentamiento Humano San Isidro, Calleria – Ucayali, 2020* [Universidad Nacional de Ucayali]. <https://repositorio.unu.edu.pe/items/ed3804df-1e2b-4fa6-b2e5-d65e583fb7c8>
- Jurczynski, Y., Passos, R., & Campos, L. C. (2024). A Review of the Most Concerning Chemical Contaminants in Drinking Water for Human Health. *Sustainability (Switzerland)*, 16(16), 1–25. <https://doi.org/10.3390/su16167107>
- López García, J. A. (2022). *Remoción de patógenos mediante filtros bioarena y filtros lentos de arena intermitentes, comunidad San Antonio de Pedregal, Lurigancho-Chosica* [Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/8d696e84-b121-423e-a22a-e6bb9cd14c4a>
- Mera Macias, E. R., & Chacón Campoverde, A. J. (2023). *Calidad de gasto público en la gestión del bono de desarrollo humano, período 2012 - 2021* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/57422>
- Ministerio del Ambiente. (2017). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM: Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. En *El Peruano* (DS N.º 004-2017-MINAM). <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>
- Pinedo Rodriguez, A. J., & Tananta Flores, D. A. (2020). *Evaluación del hierro férrico (fe+3) en el agua para consumo humano y su influencia en la salud de la población del Asentamiento Humano Nuevo Jerusalén, distrito de Calleria, región Ucayali, 2019* [Universidad Nacional de Ucayali]. <https://repositorio.unu.edu.pe/items/7ed50014-0e0a-4d67-a338-e3ea059e4eec>
- Reedy, J. M., Fernando, T., Awuor, S. O., Omwenga, E. O., Koutchma, T., & Mariita, R. M. (2024). Global Health Alert: Racing to Control Antimicrobial-Resistant Candida auris and Healthcare Waste Disinfection Using UVC LED Technology. *Hygiene*, 4(3), 385–422. <https://doi.org/10.3390/hygiene4030030>
- World Bank. (2023). *Resumen ejecutivo: Perú: acciones estratégicas para la seguridad hídrica*. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstreams/39cb70b8-d3b9-4e0f-ad5d-d79bab9b7c3c/download>
- World Health Organization, & United Nations Children's Fund. (2021). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020: five years into the SDGs*. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345081/9789240030848-eng.pdf;sequence=1>

FIGURAS Y TABLAS

Figura 1. Mapa de Ubicación

Figura 2. Ecofiltro A) Antes de iniciar el filtrado. B y C) Durante el filtrado.

Tabla 1 – Mediciones de pH según día y tratamiento

Tabla 2 - Prueba LSD de Fisher para los tratamientos y tiempos en la variación del pH (%).

Tabla 3 – Mediciones de conductividad según día y tratamiento

Tabla 4 - Prueba LSD de Fisher para los tratamientos y tiempos en la variación de la conductividad (%).

Tabla 5 – Mediciones de turbidez según día y tratamiento

Tabla 6 - Prueba LSD de Fisher para los tratamientos y tiempos en la variación de la turbidez (%).

Tabla 7 – Mediciones de DBO5 según día y tratamiento

Tabla 8 - Prueba LSD de Fisher para los tratamientos y tiempos en la variación de la demanda biológica de oxígeno (%).

Tabla 9 – Mediciones de SST según día y tratamiento

Tabla 10 - Prueba LSD de Fisher para los tratamientos y tiempos en la variación de los SST (%).

Tabla 11 – Mediciones de E. coli según día y tratamiento

Tabla 12 - Prueba LSD de Fisher para los tratamientos y tiempos en la variación de E. coli (%).

Tabla 13 – Mediciones de coliformes termotolerantes según día y tratamiento

Tabla 14 - Prueba LSD de Fisher para los tratamientos y tiempos en la variación de coliformes termotolerantes (%).

ANEXOS