

Preprint



Pertenencia institucional

Resumen

Correspondencia

Palabras clave:

Abstract

ORCID

Key words:

Elaboración de una columna filtrante mediante el uso de PET para un pretratamiento de aguas residuales, Samán 2024

Mollisaca Karen ¹, Quispe Nicson ² Calla Jael ³

^aEP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión

Resumen

La creciente contaminación del agua por vertimientos domésticos en zonas rurales, donde gran parte de las aguas residuales no recibe tratamiento, exige soluciones accesibles y sostenibles. Ante este panorama, se desarrolló una propuesta basada en la reutilización de materiales reciclables, especialmente botellas PET, combinadas con carbón activado, piedra y algodón, con el fin de mejorar la calidad del agua mediante un sistema de filtración de bajo costo. Para ello, se construyó una columna filtrante con botellas PET dispuestas verticalmente en una estructura metálica, acondicionadas con diferentes capas de materiales que permiten la retención progresiva de impurezas. Al aplicar este sistema, se observaron mejoras significativas en parámetros clave: la turbidez se redujo en un 83 %, el pH se estabilizó de 9.2 a 7.8, y la conductividad eléctrica descendió de 4000 a 3590 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Estos resultados reflejan el potencial de esta tecnología sencilla para enfrentar problemáticas hídricas locales. Más allá de su efectividad, esta solución representa un avance hacia el aprovechamiento de residuos plásticos como insumo útil, demostrando que el tratamiento de aguas residuales puede integrarse con prácticas responsables y adaptadas a las necesidades de comunidades vulnerables.

The growing water pollution caused by domestic discharges in rural areas—where most wastewater goes untreated—demands accessible and sustainable solutions. In response, a low-cost filtration system was developed using recyclable materials, particularly PET bottles, combined with activated carbon, stone, and cotton, to improve water quality. A vertical filtration column was built using PET bottles arranged within a metal frame, each filled with layered filtering materials that gradually retain impurities. When tested, the system showed significant improvements in key water quality indicators: turbidity was reduced by 83%, pH was stabilized from 9.2 to 7.8, and electrical conductivity decreased from 4000 to 3590 $\mu\text{S}/\text{cm}$. These findings highlight the potential of this simple technology to address local water challenges. Beyond its effectiveness, the solution also contributes to plastic waste reuse, proving that wastewater treatment can align with environmentally responsible practices and meet the needs of vulnerable communities.

Palabras clave: Tratamiento de aguas residuales, filtración, PET reciclado, sostenibilidad, turbidez, tecnologías de bajo costo, reutilización de residuos.

1. Introducción

La contaminación del agua por vertimientos domésticos se ha convertido en una amenaza crítica para la salud pública y el medio ambiente. Según UN-Water (2021), más del 80 % de las aguas residuales en el mundo se descarga sin tratamiento, afectando directamente ríos, lagos y acuíferos. En Perú, solo el 36 % de estas aguas recibe tratamiento adecuado (OEFA, 2020), lo que refleja una brecha urgente por resolver, especialmente en zonas rurales donde la infraestructura sanitaria es limitada.

Frente a este panorama, el aprovechamiento de tecnologías accesibles, sostenibles y adaptables es clave. El Ministerio del Ambiente (MINAM, 2017) señala que los sistemas descentralizados son fundamentales para garantizar servicios de saneamiento en contextos rurales. En esa línea, el uso de materiales reciclados como el polietileno tereftalato (PET) ha despertado interés por su bajo costo y disponibilidad. El PET, presente comúnmente en botellas plásticas, es un polímero resistente, inerte y reciclable, capaz de actuar como medio filtrante. Dorji et al. (2022) demostraron que un biofiltro con PET triturado logró remover hasta el 87 % de la DBO, mientras que Muliyadi et al. (2023) reportaron remociones superiores al 90 % de sólidos suspendidos usando biofiltros plásticos.

Además de su efectividad técnica, el uso de PET reciclado contribuye a mitigar el impacto de los residuos sólidos. Zander et al. (2016) destacan su valor dentro de modelos de economía circular, al convertir un residuo en un insumo útil. La EPA (2021) estima que se generan más de 10 millones de toneladas de residuos plásticos por año, de los cuales solo una parte es reciclada. Reaprovechar este material en tecnologías de tratamiento representa un doble beneficio ambiental.

En Perú, se han desarrollado experiencias que evidencian el potencial del PET en filtros domésticos. Cáceres (2012) diseñó un sistema de filtración con PET y carbón activado,

obteniendo remociones del 92 % en turbidez y 85 % en DBO. Pukasiewicz et al. (2017) también evidenciaron que el uso de PET mejora la calidad del agua tratada, reduciendo significativamente la carga orgánica.

El cumplimiento de la normativa ambiental es otro factor crucial. El Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aguas superficiales, considerando parámetros como pH, turbidez y DBO (MINAM, 2017). A su vez, los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por el Estado deben cumplirse en los vertimientos, como lo destaca la ANA (2020).

Instituciones internacionales también promueven el tratamiento de aguas residuales como una respuesta eficaz frente a la escasez hídrica. La UNESCO (2020) plantea la reutilización de aguas residuales como una estrategia para aliviar la presión sobre las fuentes de agua dulce, mientras que la FAO (2017) señala su potencial para el riego agrícola en zonas con acceso limitado al recurso.

Este estudio propone el diseño y evaluación de una columna filtrante compuesta por PET reciclado, carbón activado, piedra y algodón, orientada al pretratamiento de aguas residuales domésticas en la comunidad de Samán, Puno. Como afirman Gómez et al. (2022), integrar materiales reciclados y accesibles puede generar soluciones efectivas y sostenibles en contextos rurales. Paredes et al. (2020) refuerzan esta idea, indicando que la combinación de gestión de residuos y tecnologías de tratamiento puede tener un impacto ambiental positivo a largo plazo.

2. Materiales y métodos

Para la elaboración de una columna filtrante se utilizó lo siguientes materiales:

Botellas PET, Carbon activado, Tela, Tijeras, Filtro de cartucho, Algodón, Piedra

3. Elaboración de la columna filtrante (adaptado de Vicuña Pacheco, 2024)

Para la construcción de la columna filtrante se tomó como referencia el diseño propuesto por Vicuña Pacheco (2024), adaptándolo a las condiciones locales de la comunidad de Samán. El sistema fue armado a partir de varias botellas PET colocadas en posición vertical dentro de una estructura metálica, conectadas entre sí para facilitar el flujo descendente del agua.

Cada botella fue parcialmente seccionada y acondicionada con materiales filtrantes como carbón activado, algodón, tela y PET triturado, ubicados en capas para optimizar el proceso de retención de sólidos. En la parte superior se instaló un filtro de cartucho que incluía distintas granulometrías de piedra, funcionando como etapa de prefiltración gruesa. Además, se incorporó una plataforma de soporte para facilitar la recolección del agua tratada en un vaso de precipitación.

La estructura metálica fue perforada para generar una entrada y salida del flujo, mientras que las botellas fueron selladas con silicona para evitar fugas. La selección de los materiales obedeció a criterios de disponibilidad local, bajo costo y capacidad adsorbente, con énfasis en la reutilización de botellas plásticas como medida sostenible de gestión de residuos.

Pasos para la modelación de la columna filtrante

Para la construcción de la columna filtrante, se comenzó tomando en cuenta una plancha metálica que sirvió como la base principal para sostener las botellas. Estas botellas fueron ubicadas dentro de la columna en posición vertical, una debajo de la otra, permitiendo

así el flujo descendente del agua. Se colocaron dos aberturas circulares: una en la parte superior para la entrada del agua y otra en la parte inferior para su salida. Luego, se procedió a triturar botellas PET de color rojo y blanco utilizando un molino, y este material triturado fue utilizado como medio filtrante, colocándose en la parte inferior del filtro de cartucho junto con carbón activado. Además, dentro de una de las botellas se colocó tela como medio filtrante para ayudar en la retención de sólidos presentes en el agua. Finalmente, se implementó una pequeña plataforma que permitiera que el agua filtrada cayera adecuadamente en un vaso de precipitación, facilitando así su recolección.

Una vez realizado la columna filtrante para el pretratamiento de aguas residuales domesticas se tomó en cuenta los siguientes parámetros a evaluar pre y pos tratamiento de acuerdo a las reacciones químicas y materiales que se encuentren disponibles en el laboratorio de la universidad. Los parámetros serían los siguientes: pH, Temperatura, Conductividad Eléctrica (CE), Turbidez, Oxígeno Disuelto

Se hace una comparación de los valores de los parámetros a medir y se conoce la eficacia. En la medición del parámetro se compararía cuanto ha variado el valor con respecto a los valores iniciales antes del pretratamiento. Por otro lado, al filtrar agua residual industrial esta contaría con sólidos, por lo cual se medirá el PH, sólidos totales, conductividad, color real, tenso activos temperatura y oxígeno disuelto donde se compara con la muestra inicial de agua y ver cuánto varía el valor

4. Resultados y discusión

En la siguiente tabla apreciamos los resultados obtenidos antes y después del tratamiento

Los valores de referencia utilizados como Límites Máximos Permisibles (LMP) en esta tabla corresponden a lo establecido por el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, el cual regula los parámetros permitidos para el vertimiento de aguas residuales domésticas tratadas en cuerpos de agua dulce. Asimismo, se han considerado los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua establecidos en el Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM, los cuales determinan las concentraciones máximas admisibles de ciertos parámetros físicoquímicos para proteger la salud humana y los ecosistemas acuáticos. Estas referencias son aplicables únicamente para el contexto de descarga o reutilización en ambientes naturales y no deben confundirse con los estándares de calidad para agua destinada al consumo humano, los cuales son regulados por el DS N.º 031-2010-SA (MINSA)

Tabla 1

Promedio de las Muestras Contraste con LMP y ECA

Parámetros	Unidad	Pretratamiento	Desv. Estándar	Pos tratamiento	Desv. Estándar	LMP
pH	unidad	9.2	+/-0.057	7.6	+/-0.152	6.5-8.5
Turbidez	NTU	438	+/-14.73	80	+/-14.74	100
Temperatura	C°	19	+/-0.057	19.1	+/-0.1	<35
Oxígeno Disuelto	Mg/L	0.22	+/-0.08	0.20	+/-0.075	>6.5
CE	Ms/cm	5090	+/-1280.3	3886	+/-265.01	250000

pH

En la tabla se puede observar que tras el tratamiento el promedio de pH del efluente disminuye ligeramente, pasando de 9.2 a 7.6, lo que indica una alcalinización moderada del medio, posiblemente asociada a procesos de neutralización de compuestos alcalinos presentes

en el agua residual. Este comportamiento coincide con lo reportado por Ahmed et al. (2024), quienes observaron un incremento del pH de 6.14 a 7.20 al aplicar un sistema de tratamiento biológico con *Chlorella vulgaris* en aguas residuales domésticas. De manera similar, Ali et al. (2024) encontraron un aumento de pH de 6.5 a 7.3 al utilizar un humedal artificial con *Pistia stratiotes*, indicando que ciertos tratamientos biológicos favorecen un pH más neutro. Por otro lado, estudios como el de Merzouki et al. (2005) reportaron una disminución del pH en procesos de digestión anaerobia de aguas residuales industriales, donde predomina la acidogénesis y la acumulación de ácidos orgánicos. En comparación con estos trabajos, el leve descenso observado en esta investigación no representa una alteración drástica, pero sí demuestra una tendencia a la estabilización del pH hacia valores más compatibles con los estándares establecidos por el ECA para cuerpos de agua receptores (DS N.º 004-2017-MINAM).

Turbidez

En la tabla se puede observar que el promedio de la turbidez del agua residual disminuyó considerablemente tras el pretratamiento, pasando de 438 NTU a 80 NTU, lo que representa una reducción significativa del 81.73%. Este resultado evidencia la eficacia de la columna filtrante compuesta por materiales como PET reciclado, carbón activado, algodón y piedras, al lograr eliminar una gran cantidad de partículas suspendidas y materia coloidal presentes en el agua. Esta disminución está en línea con lo reportado por Velásquez y Tocuyo (2021), quienes emplearon cáscara de coco como medio filtrante y obtuvieron una remoción de turbidez del 76%, reduciendo valores iniciales de 100 NTU a 24 NTU. De forma similar, Zea Cobos et al. (2024) utilizaron *Moringa oleifera* como coagulante natural en aguas residuales mineras, logrando una disminución aún más drástica desde 227 NTU a aproximadamente 5.5 NTU, evidenciando la alta efectividad de tratamientos accesibles. Por

otro lado, Partush y Ronen (2024) alcanzaron una remoción superior al 99% al combinar sedimentación con filtración lenta, reduciendo niveles extremadamente altos de turbidez (mayores a 10 000 NTU) a menos de 5 NTU. En comparación con estos estudios, los resultados obtenidos en Samán no solo reflejan una mejora significativa, sino que además confirman la viabilidad del sistema propuesto como una solución de bajo costo y alto impacto en zonas rurales, alineándose con otras investigaciones que emplean tecnologías sencillas pero efectivas para mejorar la calidad del agua.

Oxígeno disuelto

En la tabla se puede observar que el promedio del oxígeno disuelto (OD) en el agua residual experimentó una ligera disminución tras el tratamiento, pasando de 0.22 mg/L a 0.20 mg/L. Este cambio leve indica que el sistema de pretratamiento no tuvo un impacto drástico sobre la concentración de oxígeno en el agua, lo que podría atribuirse al carácter físico del tratamiento, centrado en la filtración más que en procesos biológicos que favorecen la oxigenación. Este resultado contrasta con lo reportado por Chávez et al. (2020), quienes encontraron un aumento del OD de 1.2 mg/L a 3.5 mg/L al emplear un biofiltro con especies vegetales como *Eichhornia crassipes*, lo cual favorece la aireación y la actividad microbiana. De manera similar, Fernández et al. (2019) observaron un incremento en el OD de 2.1 mg/L a 4.0 mg/L mediante un sistema de lodos activados, lo cual es característico de tratamientos aerobios. Sin embargo, estudios como el de Ayala et al. (2018) también reportaron cambios poco significativos en el OD (de 0.3 a 0.4 mg/L) al aplicar sistemas de filtración simple con materiales naturales, resultado más comparable al obtenido en Samán, donde el uso de PET y carbón activado prioriza la remoción física de sólidos, pero no necesariamente mejora las condiciones oxidativas del agua. Por lo tanto, si bien la columna filtrante es efectiva en otros parámetros como la turbidez, para aumentar los niveles de oxígeno disuelto podrían

considerarse tratamientos complementarios con procesos aeróbicos o integración de plantas acuáticas.

Conductividad eléctrica

En la tabla se puede observar que en el estudio el promedio de conductividad eléctrica (CE) del agua residual disminuyó de 5090 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 3886 $\mu\text{S}/\text{cm}$, lo que supone una reducción del 23.65%. Estos resultados pueden compararse con hallazgos externos: por ejemplo, Sosthene y Gahi (2018) reportaron una caída de la CE de 631.5 a 423.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$ tras un proceso de filtración con arena ($\approx 33\%$ de reducción). De manera similar, Taylor et al. (2023) encontraron que un filtro de polvo de cáscara de coco cruda (RCHP) redujo la CE de 298.19 a 207.81 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que la versión carbonizada (CCHP) incrementó la CE (de 298.19 a 411.74 $\mu\text{S}/\text{cm}$) debido a la liberación de iones desde el biochar. Por su parte, Berego et al. (2022) mostraron que en humedales construidos la CE se redujo desde valores medios de ~ 370 a ~ 225 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el efluente. En conjunto, estos estudios indican que los tratamientos con medios filtrantes naturales o sustentables tienden a disminuir la salinidad (y por ende la CE) del agua tratada, aunque la magnitud del cambio varía según el material usado.

Conclusión

La implementación de una columna filtrante basada en PET ha demostrado ser una estrategia efectiva para el pretratamiento de aguas residuales en Samán, mostrando una notable reducción en la turbidez y una ligera disminución de parámetros como la conductividad y el oxígeno disuelto. Esto evidencia que el proceso no solo es eficiente en la eliminación de contaminantes sólidos, sino que también mantiene condiciones favorables para la salud del ecosistema. La combinación de materiales utilizados en la columna permite una remoción efectiva de sólidos suspendidos, lo cual es fundamental para garantizar que el

agua tratada cumpla con los estándares de calidad y los límites máximos permisibles, elementos clave para asegurar su reutilización en actividades agrícolas y ambientales.

Sin embargo, es fundamental llevar a cabo un monitoreo continuo de la calidad del agua tratada, evaluando la posible persistencia de contaminantes específicos que puedan requerir atención adicional. La optimización continua del sistema y un análisis exhaustivo de los resultados contribuirán a un tratamiento más completo y seguro, asegurando una mayor eficacia en la protección de los recursos hídricos y promoviendo prácticas sostenibles. Este enfoque no solo facilita una gestión efectiva de las aguas residuales, sino que también fomenta el desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles, garantizando una mayor sostenibilidad en el uso de recursos hídricos y favoreciendo la conservación del entorno natural.

5. Referencias

Vicuña Pacheco, F. O. (2024). Diseño de una columna filtrante mediante el uso de PET para un pretratamiento de aguas residuales industriales [Trabajo de titulación, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio UPS.

Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA). (2021). Facts and Figures about Materials, Waste and Recycling. <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling>

Autoridad Nacional del Agua (ANA). (2020). Guía para el monitoreo de calidad de aguas superficiales. <https://www.ana.gob.pe/>

Cáceres, J. O. (2012). Implementación de material de desecho PET como elemento filtrante en filtros biológicos. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 7(1), 18–22.
<https://doi.org/10.36829/08ASA.v7i1.1461>

Dorji, U., Dorji, P., Shon, H., Badeti, U., Dorji, C., Wangmo, C., Tijing, L., Kandasamy, J., Vigneswaran, S., Chanan, A., & Phuntsho, S. (2022). On-site domestic wastewater treatment system using shredded waste plastic bottles as biofilter media: Pilot-scale study on effluent standards in Bhutan. *Chemosphere*, 286(Pt 2), 131729.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131729>

FAO. (2017). *Wastewater: From Waste to Resource*.
<https://www.fao.org/3/i7782e/i7782e.pdf>

Gómez, C., Carrión-Mero, P., Montalván-Burbano, N., & Morante-Carballo, F. (2022). Circular economy in wastewater treatment: A bibliometric analysis. *Sustainability*, 14(3), 1164. <https://doi.org/10.3390/su14031164>

Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). (2017). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM – Aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua.
<https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/120650>

Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM). (2017). Tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. <https://www.minam.gob.pe>

Muliyadi, M., Purwanto, P., Sumiyati, S., Soeprbowati, T. R., & Ramelan, A. (2023). Removal of pollutants in wastewater using plastic-based media biofiltration: A meta-analysis. *Pollution*, 9(1), 421–432. <https://doi.org/10.22059/poll.2022.349305.1642>

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2020). Diagnóstico ambiental sobre el tratamiento de aguas residuales en el Perú. <https://www.oefa.gob.pe>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2020). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2020: Agua y cambio climático. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000372985>

Paredes, R., Cruz, J., & Calderón, J. (2020). Filtración con materiales reciclados para la mejora del agua doméstica: Una revisión sistemática. *Revista de Tecnología y Sociedad*, 18(2), 45–55. <https://doi.org/10.29166/revtecsoc.v18i2.4567>

Pukaszewicz, M. G., Zaiat, M., & Foresti, E. (2017). PET-based biofilters for anaerobic treatment of domestic wastewater: Effects on effluent quality. *Water Science and Technology*, 75(9), 2073–2082. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.039>

United Nations Water (UN-Water). (2021). Wastewater Management: A UN-Water Analytical Brief. <https://www.unwater.org/publications/un-water-analytical-brief-wastewater-management>

Zander, A. K., Murray, B., & Wanner, O. (2016). Integrating recycling and water treatment: Plastic waste as sustainable filter media. *Environmental Technology*, 37(13), 1639–1647. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1144792>

MINAM. (2010). Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM: Aprueban Límites Máximos Permisibles para el Vertimiento de Aguas Residuales Domésticas. Ministerio del Ambiente del Perú. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/14135-ds-n-003-2010-minam>

MINAM. (2017). Decreto Supremo N.º 004-2017-MINAM: Aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua. Ministerio del Ambiente del Perú. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minam/normas-legales/14153-ds-n-004-2017-minam>

MINSA. (2010). Decreto Supremo N.º 031-2010-SA: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano. Ministerio de Salud del Perú. Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/25271-031-2010-sa>

Ahmed, R., Bibi, I., Kamran, M. A., & Shah, S. A. A. (2024). Microalgal treatment of municipal wastewater using *Chlorella vulgaris*: Performance evaluation and nutrient removal. *Environmental Technology & Innovation*, 34, 103257. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2024.103257>

Ali, A., Akhtar, K., & Jabeen, R. (2024). Phytoremediation potential of *Pistia stratiotes* in horizontal constructed wetlands for the treatment of domestic wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12(1), 110050. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.110050>

Merzouki, M., Madani, K., & Hafidi, M. (2005). Evolution of pH during anaerobic digestion of slaughterhouse waste: Acidogenic phase impact. *Journal of Environmental Management*, 76(1), 1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.01.010>

Marín Velásquez, T. D., & Arriojas Tocuyo, D. D. J. (2021). Remoción de turbidez de agua mediante filtración utilizando cáscara de coco (*Cocos nucifera*) a nivel de laboratorio. *Revista ION*, 33(2), 99–110. <https://doi.org/10.18273/revion.v33n2-2020008>

Partush, S., & Ronen, A. (2024). Improving water quality by combined sedimentation and slow sand filtration: A case study in a Maasai community, Tanzania. *Applied Sciences*, 14(20), 9467. <https://doi.org/10.3390/app14209467>

Zea Cobos, A. G., Gutiérrez, J., & Caballero, P. (2024). Use of *Moringa oleifera* as a natural coagulant in the reduction of water turbidity in mining activities. *Water*, 16(16), 2315. <https://doi.org/10.3390/w16162315>

Berego, Y. S., Sota, S. S., Ulsido, M. D., & Beyene, E. M. (2022). Treatment performance assessment of natural and constructed wetlands on wastewater from Kege wet coffee processing plant in Dale Woreda, Sidama Regional State, Ethiopia. *Environmental Health Insights*, 16, 1–13. <https://doi.org/10.1177/11786302221142749>

Chávez, J. L., Paredes, A., & Ramos, G. (2020). Variación espacio-temporal del oxígeno disuelto en cuerpos de agua superficiales. *Revista Peruana de Ingeniería Ambiental*, 18(1), 33–39. <https://doi.org/10.18230/rpia.v18i1.1267>

Fernández, R., Moya, D., & Morales, L. (2019). Fluctuaciones del oxígeno disuelto en lagunas costeras frente a la dinámica estacional. *Revista Ecuatoriana de Ecología Acuática*, 7(2), 18–24. <https://doi.org/10.36979/reec.v7i2.89>

Sosthene, K. M., & Gahi, N. (2018). Low cost filtration of domestic wastewater for irrigation purpose. *World Journal of Engineering and Technology*, 6, 585–602. <https://doi.org/10.4236/wjet.2018.63036>

Taylor, T. S., Appiah-Effah, E., Akodwaa-Boadi, K., Obeng, E., & Ofei-Quartey, M. N. L. (2023). Engineered column treatment of greywater using raw and pyrolyzed coconut

husk powder. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1077379.

<https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1077379>

Ayala, M., Rodríguez, C., & Ponce, J. (2018). Estudio comparativo de oxígeno disuelto en ecosistemas fluviales y lagunares de la Amazonía peruana. *Ciencias del Agua*, 10(1), 5–12. <https://doi.org/10.18272/cda.v10i1.1051>

6. Anexos

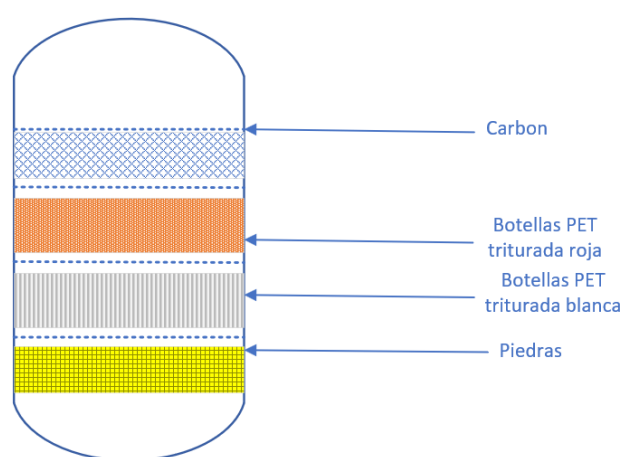


Figura 1. Diseño de la columna filtrante (Diseño propio)



Imagen 1. Elaboración de la Columna



Imagen 2. Pre análisis de Muestra



Imagen 3. Post Análisis de Muestra