

Reutilización de aguas negras mediante un sistema de biofiltros en el cementerio ecológico de Huancayo, 2021

Reuse of sewage through a biofilter system in the ecological cemetery of Huancayo, 2021

<https://doi.org/10.52808/bmsa.7e6.626.035>

Alexander Jhon Ato Pino ¹

<https://orcid.org/0000-0002-7837-9781>

María Nelly Castillo Rodríguez ^{1,*}

<https://orcid.org/0000-0003-0173-915X>

Recibido: 13/08/2022

Aceptado: 12/11/2022

RESUMEN

El agua es esencial para la supervivencia de todos los organismos vivos. Por lo tanto, la reutilización de aguas residuales domésticas para fines de agua no potable es una probable solución para las áreas más necesitadas en agua en todo el mundo. La descarga de aguas residuales domésticas e industriales en los recursos hídricos superficiales y subterráneos es extremadamente dañina para el medio ambiente. La tecnología de biofiltración es una plataforma de tratamiento versátil que se aplica para el tratamiento de agua potable. Se logra cuando los desinfectantes no pueden pasar por un filtro, los microbios crecen y se desarrollan en medios granulares y finalmente conlleva a la aparición de biopelículas activas. El objetivo del siguiente artículo es ofrecer al distrito de Huancayo, Perú una alternativa para reciclar las aguas residuales en esta localidad. Los resultados de este trabajo permitieron el diseño de biofiltro para el tratamiento de agua servidas de la ciudad de Huancayo, en Perú para ser utilizado en el cementerio ecológico de dicha ciudad. El caudal a ser manejado durante el tratamiento de aguas servidas fue de 0,35L/s; esto permitió un biofiltro con las siguientes características: 13,78m de largo y 6,89m de largo con una profundidad de 0,8m adecuados para el tratamiento de estas aguas servidas. Los cálculos de degradación de materia orgánica según los parámetros de DBO y DQO permitieron una remoción de la carga orgánica de 78mg/m² al día. Estos resultados fueron excelentes para poder mantener la calidad de vida del ecosistema.

Palabras clave: biofiltros, aguas servidas, tratamiento de agua, reciclaje del agua.

ABSTRACT

Water is essential for the survival of all living organisms. Therefore, the reuse of domestic wastewater for non-potable water purposes is a likely solution for the areas most in need of water throughout the world. The discharge of domestic and industrial wastewater into surface and groundwater resources is extremely harmful to the environment. Biofiltration technology is a versatile treatment platform that is applied for the treatment of drinking water. It is achieved when disinfectants cannot pass through a filter, microbes grow and thrive in granular media, and ultimately leads to the appearance of active biofilms. The objective of the following article is to offer the district of Huancayo, Peru an alternative to recycle wastewater in this town. The results of this work allowed the design of a biofilter for the treatment of wastewater from the city of Huancayo, in Peru to be used in the ecological cemetery of said city. The flow to be managed during the sewage treatment was 0.35 L/s; this allowed a biofilter with the following characteristics: 13.78 m long and 6.89 m long with a depth of 0.8 m suitable for the treatment of these sewage. The organic matter degradation calculations according to the BOD and COD parameters allowed a removal of the organic load of 78 mg/m² per day. These results were excellent to be able to maintain the quality of life of the ecosystem.

Keywords: biofilters, sewage, water treatment, water recycling.

¹ Universidad Continental, Huancayo, Perú.

*Autor de Correspondencia: mcastillo@continental.edu.pe

Introducción

La escasez de agua es un problema mundial. El agua es esencial para la supervivencia de todos los organismos vivos. Por lo tanto, la reutilización de aguas residuales domésticas para fines de agua no potable es una probable solución para las áreas más necesitadas en agua en todo el mundo. La mayoría de los países en desarrollo no son capaces de construir y mantener costosas plantas de tratamiento de aguas residuales en la actualidad, requieren de más alternativas para el tratamiento de aguas residuales de manera económica (Garkal, D. J., Mapara, J. V., & Mandar, P. (2015). Domestic wastewater treatment by bio-filtration: a case study. *Int J Sci, Environ Technol* 4(1), 140–5. Disponible en: <https://www.ijset.net/journal/524.pdf> (Acceso agosto 2022).

Más del 82% de la población rural de los países en desarrollo tiene acceso a instalaciones de saneamiento privadas. Alrededor de 31 millones de personas viven en las zonas rurales de Brasil, y casi todas estas personas vierten sus desechos directamente a los cuerpos de agua o en la tierra. Mientras que, en otros países en desarrollo, la población carece de conocimientos técnicos y recursos económicos dificultando la creación de sofisticados y costosos sistemas de tratamiento de aguas residuales (Tonon, D., Tonetti, A. L., Coraucci Filho, B., & Bueno, D. (2015). Wastewater treatment by anaerobic filter and sand filter: hydraulic loading rates for removing organic matter, phosphorus,

pathogens and nitrogen in tropical countries. *Ecol Eng* 82, 583–592. Disponible en: <https://www.semanticscholar.org/paper/Wastewater-treatment-by-anaerobic-filter-and-sand-Tonon-Tonetti/3b082277818afac9ac82d0508c5bdd10acee9d26> (Acceso agosto 2022)).

El mal uso de los recursos hídricos y los requisitos de mantener agua de buena calidad para usos potables ha resultado en un aumento en la reutilización de aguas residuales en los últimos años. La descarga de aguas residuales domésticas e industriales en los recursos hídricos superficiales y subterráneos es extremadamente dañina para el medio ambiente (Zerbini, T., Gianvecchio, V. A. P., Regina, D., Tsujimoto, T., Ritter, V., & Singer, J. M. (2018). Suicides by hanging and its association with meteorological conditions in São Paulo. *Journal of forensic and legal medicine*, 53, 22–24. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2017.10.010>). Compuestos biogénicos tales como nitrógeno y fósforo provocan la eutrofización de los cuerpos de agua, la cual es responsable de la disminución de la población de fauna; y de aumentar el costo del tratamiento de agua dulce entre otros (Gogina, E., & Yantsen, O. (2018). Modeling of processes of wastewater treatment from nitrogen compounds in the trickling biofilter. *MATEC Web of Conferences*, 251, 03041 IPICSE-2018). La descarga inapropiada de aguas residuales municipales en cantidades significativas de materia orgánica (DQO) fomenta la reducción de oxígeno disuelto (OD) provocando la muerte de peces e intoxicando los organismos en los cuerpos de agua receptores (Ahmed, E., Pramanik, B. K., Fatimah, S., & Shahrom, Z. (2012). Biological aerated filters (BAFs) for carbon and nitrogen removal: a review. *J Eng Sci Technol*, 7(4), 428–446. Disponible en: https://jestec.taylors.edu.my/Vol%207%20Issue%204%20August%2012/Vol_7_4_428-446_%20PRAMANIK%20BIPLOB.pdf (Acceso agosto 2022)).

Por otra parte, el aumento de la industrialización también genera enormes descargas de material tóxico en el medio ambiente que causan graves problemas de salud pública (Mane, A. V., Porwal, H. J., & Velhal, S. G. (2015). Biodegradation of dairy effluent by using microbial isolates obtained from activated sludge. *Water Res Ind*, 9, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2014.11.002>). El urbanismo descontrolado vierte con frecuencia y en gran medida aguas residuales en el medio ambiente que afecta tanto a los humanos como a la vida silvestre. Varios productos químicos orgánicos han sido detectados en aguas residuales municipales que influye en la calidad del agua, de los humanos y la biodiversidad de los diferentes ecosistemas. Por lo tanto, se necesitan tecnologías de tratamiento adecuadas para eliminar estos residuos orgánicos (Borkar, R. P., Gulhane, M. L., & Kotangale, A. J. (2013). Moving bed biofilm reactor—a new perspective in wastewater treatment. *IOSR J Environ Sci, Toxicol Food Technol*, 6(6), 15–21. Disponible en: <https://www.iosrjournals.org/iosr-jestft/papers/vol6-issue6/C0661521.pdf> (Acceso agosto 2022)).

Los países industrializados se centran principalmente en la reutilización de aguas residuales además de desarrollar leyes y normas estrictas para la descarga de residuos en el medio ambiente con el fin de prevenir enfermedades infecciosas (Mesdaghinia, A., Mahvi, A., Saeedi, R., & Pishrafi, H. (2010). Upflow Sludge Blanket Filtration (USBF): an Innovative Technology in Activated Sludge Process. *Iranian journal of public health*, 39(2), 7–12. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23113000/> (Acceso agosto 2022). Se han desarrollado diferentes tecnologías de tratamiento para llenar el espacio de la demanda y la oferta por medios rentables. Varias de estas tecnologías ya han sido probadas como la activación de lodos, aireación extendida, reactor de lecho fluidizado, aireación sumergida en reactores de película, reactores discontinuos secuenciales (Abbood, D. W., Ahmed, E., & Gubashi, K. R. (2018). Hospital wastewater treatment using mixed media biofilter. *Int J Civil Eng Technol*. 9(5), 1188–1201. Disponible en: https://micromanagementinc.com/clients/hospitals/?gclid=Cj0KCQiA-qqdBhDfARIsAO0TrGEdPG_Vp0_zE6w60_wnF6XMpWOkfN_jwTWexMYR8kmihTKunou45j0aAi02EALw_wcB (Acceso agosto 2022)) y biorreactor de membrana que son de uso extensivo (Liu, Q., Zhou, Y., Chen, L., & Zheng, X. (2010). Application of MBR for hospital wastewater treatment in China. *Desalination*, 250(2), 605–608. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2009.09.033>; Mahvi, A. H., Naddafi, K., Naghizadeh, A., & Vaezi, F. (2008). Evaluation of hollow fiber membrane bioreactor efficiency for municipal wastewater treatment. *Iran J Environ Health Sci Eng* 5(4), 257–268. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.481>).

Por otro lado, también hay diversos procesos fisicoquímicos de tratamiento de aguas residuales disponibles tales como: aireación, coagulación, cloración, desgasificación, flotación, filtración, intercambio iónico, neutralización, ozonización, cribado y sedimentación, etc. Aunque, estos métodos tienen varias limitaciones como tratamiento incompleto, costoso, uso de químicos sustancias, liberación de contaminantes secundarios y una enorme cantidad de sólidos. Con todas estas limitaciones, los métodos de tratamiento biológicos son los más adecuados para ser utilizados como opción de tratamiento (Al-Wasify, R. S., Ali, M. N., & Hamed, S. R. (2017). Biodegradation of dairy wastewater using bacterial and fungal local isolates. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 76(11-12), 3094–3100. <https://doi.org/10.2166/wst.2017.481>). Estos tratamientos son un sustituto económico y respetuoso con el medio ambiente (Mahvi *et al.*, (2008) *Op. Cit*). La tecnología de biofiltración es una plataforma de tratamiento versátil que se aplica para el tratamiento de agua potable. Se logra cuando los desinfectantes no pueden pasar por un filtro, los microbios crecen y se desarrollan en medios granulares y finalmente conlleva a la aparición de biopelículas activas. El proceso de biofiltración generalmente se usa para reducir la materia orgánica, carbón (asimilable y total), eliminación de sabor, sustancias olorosas, productos de desinfección y/o establecer agua biológicamente estable. Este proceso de tratamiento puede emplear biotransformación así como sorción para eliminar diferentes categorías de químicos del agua. Aunque, estos métodos para el tratamiento del agua son muy

comunes en Europa en comparación con los Estados Unidos, muchos de los servicios públicos de agua potable de los Estados Unidos se han venido cambiando al sistema de biofiltración (Greenstein, K. E., Lew, J., Dickenson, E. R. V., & Wert, E. C. (2018). Investigation of biotransformation, sorption, and desorption of multiple chemical contaminants in pilot-scale drinking water biofilters. *Chemosphere*, 200, 248–256. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.02.107>). Las bacterias juegan un papel importante en la purificación del agua potable en el sistema de tratamiento. Por un lado, las bacterias están presentes para ayudar en la purificación de agua por biodegradación de diversos contaminantes, aunque, por otro lado, varias bacterias pueden ser patógenos humanos y crear un riesgo para los consumidores (Li, Q., Yu, S., Li, L., Liu, G., Gu, Z., Liu, M., Liu, Z., Ye, Y., Xia, Q., & Ren, L. (2017). Microbial Communities Shaped by Treatment Processes in a Drinking Water Treatment Plant and Their Contribution and Threat to Drinking Water Safety. *Frontiers in microbiology*, 8, 2465. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02465>).

En el desarrollo del método de biofiltración, existe la presencia de microbios aeróbicos, anaeróbicos, algas, hongos, y protozoos crecen progresivamente en la superficie de los medios filtrantes formando una película biológica (Chandana Lakshmi, M., Harsha, N., Kumar, K. V., Rani, K., & Sridevi, V. (2013). Biofiltration and its application in treatment of air and water pollutants—a review. *Int J Appl Innov Eng Manag* 2(9), 226–231. Disponible en: <https://www.ijaiem.org/volume2issue9/IJAIEM-2013-09-24-055.pdf> (Acceso agosto 2022); Tripathia, S. & Hussain, T. (2022). Biofiltration treatment of wastewater through microbial ecology. In book: *An Innovative Role of Biofiltration in Wastewater Treatment Plants (WWTPs)*, 19-44. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-823946-9.00005-X>). Las partículas olorosas adsorbidas en la superficie de la biopelícula difunden hacia la fase líquida donde conviven los microbios de la capa bioactiva conduciendo a la degradación de estos contaminantes olorosos a dióxido de carbono (CO₂), compuesto orgánico (biomasa) más agua. Los biofiltros, imitan los pantanos naturales, depurando las aguas residuales mediante un proceso natural. Estas humedades artificiales de flujo subterráneo permiten la máxima remoción de los contaminantes. Estos biofiltros son pilas poco profundas de que sirven de medio filtrante permitiendo que las aguas residuales fluyan en sentido horizontal o vertical. En Centro-América, los biofiltros hicieron su aparición en el año 1996, en la ciudad de Masaya, Nicaragua, con el fin de tratar aguas residuales de una población de 1.000 personas. Actualmente ya existen al meno ocho sistemas de biofiltros en toda centroamericana (Nicaragua, El Salvador y Honduras) para dar tratamiento a las aguas residuales de pequeños poblados, seis de los cuales ya se encuentran en operación, proporcionando resultados similares a los obtenidos en Masaya (WSP-LAC. (2006). *Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades*, Disponible en: <https://documents1.worldbank.org/curated/es/943351468247792589/pdf/360810WSP0rev0biofiltro01PUBLIC1.pdf> (Acceso agosto 2022)).

Ahora bien, la finalidad de este artículo es ofrecer al distrito de Huancayo, Perú una alternativa para reciclar las aguas residuales en esta localidad, ya que hasta el momento no cuenta con un sistema de tratamientos de aguas residuales capaz de eliminar los focos infecciosos que causan enfermedades originadas por bacterias o virus, tales como: diarrea, cólera, o tifoidea, además de malos olores debido al vertimiento de aguas residuales, así como el cambio radical del entorno paisajístico (Lopez, L. (2015). *Planta de tratamiento de aguas residuales para reuso en riego de parques y jardines en el Distrito de la Esperanza provincia Trujillo. La Libertad. Trujillo*. Disponible en: https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/1981/1/REP_ING.CIVIL_RODRIGO_LOPEZ_KATHLEEN_HERRERA_PLANTA_TRATAMIENTO_AGUAS_RESIDUALES_REUSO_RIEGO_PARQUES_JARDINES_DISTRITO_LA_ESPERANZA_TRUJILLO_LA_LIBERTAD.pdf (Acceso agosto 2022). Actualmente, las aguas residuales se son enviadas a los ríos circundantes sin tratamiento previo causando consecuencias ambientes graves en el habita de la fauna, “eso dará como consecuencias los riesgos ambientales y daños a la salud de los pobladores entre otros debido a la contaminación de las aguas residuales domésticas, y que hasta la actualidad no son tratadas”. (Hidalgo, C. (2018). *Propuesta de Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales*. Lima: Universidad César Vallejo. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/26755> (Acceso agosto 2022).

Por tal motivo se está proponiendo diseñar una planta de tratamiento para el cementerio ecológico en el distrito de Huancayo, de esta manera se podrán minimizar las contaminaciones de los ríos u otros cuerpos de agua.

Propuesta metodológica

La presentación de la investigación está orientada a la reutilización de aguas negras mediante un sistema de biofiltros ubicado en el cementerio ecológico de Huancayo, Perú, como un mecanismo de preservación del ambiente saludable y reducir el daño al ecosistema. Por tal motivo las aguas serán usadas para el consumo y el regadío de áreas verdes.

Para este objetivo se determinó el caudal (Q), teniendo en cuenta la mayor y menor descarga durante las 24 h/día.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde: V = volumen; t = tiempo

El pre-tratamiento se realizó en un recipiente cubierto por dos mallas para la retención de los sólidos gruesos (Figura 1).

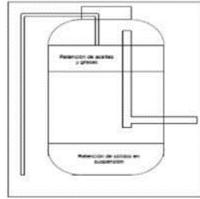


Figura 1. Diseño de pre-tratamiento

El tratamiento secundario o biofiltros, consistió del servicio de aguas servidas a través de un lecho filtrante compuesto de tierra, grava (piedras medianas, grandes y pequeñas), plantas, bacterias y hongos. Para ello, se dispuso del modelo propuesto por Lopez (Lopez, L (2015)). Planta de tratamiento de aguas residuales para reuso en riego de parques y jardines en el Distrito de la Esperanza provincia Trujillo. La Libertad. Disponible en: epositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/1981/1/REP_ING.CIVIL_RODRIGO.LOPEZ_KATHLEEN.HERRERA_PLANTA.TRATAMIENTO.AGUAS.RESIDUALES.REUSO.RIEGO.PARQUES.JARDINES.DISTRITO.LA.ESPERANZA.TRUJILLO.LA.LIBERTAD.pdf (Acceso diciembre 2022), tal como se muestra en la figura 2.

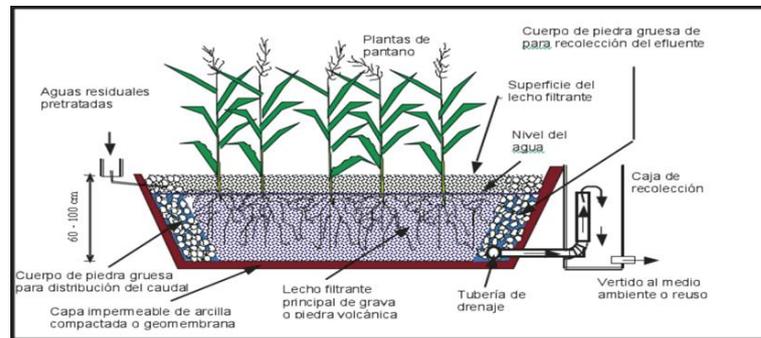


Figura 2. Tratamiento secundario. Sección longitudinal de un biofiltro de flujo horizontal

Hallazgos preliminares

El caudal de aguas servidas determinado en el cementerio ecológico de la ciudad de Huancayo fue de $Q=0,34$ L/s (Figura 5). Con este caudal, se dimensionó el sistema de biofiltro para el tratamiento de estas aguas servidas para la planta de tratamiento por espacio de 5 años. Caudal " Q "= $0,34$ L/s ($0,000034$ m³/s).

El caudal del diseño fue determinado como:

$$P_n = P^0(1 + r)^n$$

$$P_n = 16,82 \text{ m}^3$$

Las medidas de trampa de grasa fueron estimadas como:

$$V = Q \times T_r$$

$$V = 0,57 \text{ m}^3$$

Largo y ancho de la trampa de grasa. Relación Largo (L): Ancho(A) = 2:1.

$$\text{Área} = 2 \times 2$$

$$x^2 = \frac{A}{2}$$

$$x = 6,89 \text{ m}$$

$$L = 13,78 \text{ m}$$

$$A = 6,89 \text{ m}$$

El almacenamiento de aguas negras, fue determinado como:

$$\text{Almacenamiento (Al)} = 2\gamma\pi$$

$$Al = 0,65 \text{ m}^2$$

$$V = A \times H$$

$$V = 515 \text{ L}$$

El cálculo del diseño del sistema del biofiltro fue determinado como:

$$V = A \times H$$

$$A = 92,5 \text{ m}^2$$

El tiempo de retención fue:

$$t = \frac{-\ln \frac{C}{C_0}}{Kr}$$

$$A = 2,8 \text{ días}$$

La carga organizada se determinó como:

$$t = \frac{c * dw * n}{t}$$

$$A = 78 \text{ mg}/(\text{m}^2 \text{ día})$$

El volumen del filtro fue:

$$t = \frac{v}{Krt}$$

$$A = 74,58 \text{ m}^3$$

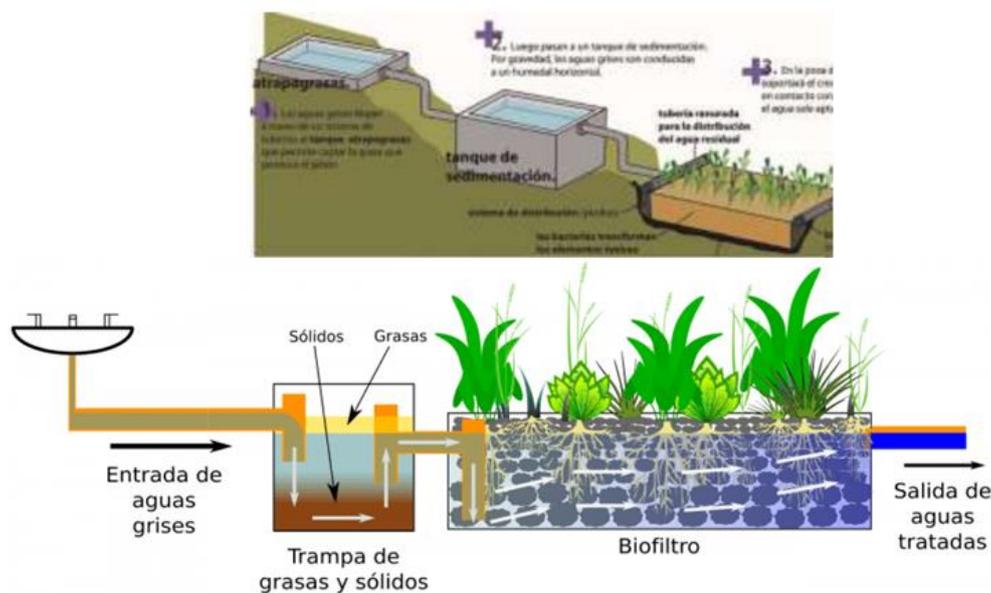


Figura 3. Sistema de biofiltros de aguas negras

En la tabla 1, se identifican los parámetros físicos-químicos en el cementerio ecológico de la ciudad de Huancayo.

Tabla 1. Parámetros de Físicos y químicos

Parámetros	Unidades de medición	Valores mínimos y máximos
DBO	mg/L	100
DBQ	mg/L	200
Sólidos totales en suspensión	mg/L	150
pH		6,5 a 8,5
Aceites y grasas	mg/L	20
Temperatura	°C	< 35
Termotolerantes o coliformes fecales	NMP/100 mL	10000

Como se observa en la tabla 1, los límites máximos permisibles, son los parámetros principales de contaminación por efecto de servido hacia los cuerpos de agua. En la Tabla 2, se describen los parámetros fisicoquímicos.

Tabla 2. Relación de DBO y BQO

Desechos biodegradados al proceso biológico	Desechos biodegradados al usar biofiltros	Desechos no biodegradados al no usar procesos biológicos
$\frac{DBO}{DBQ} > 0,4$	$0,4 \geq \frac{DBO}{DBQ} > 0,2$	$\frac{DBO}{DBQ} < 0,2$

Consideraciones finales

La descarga excesiva de aguas residuales sin tratar puede causar graves problemas de contaminación de los recursos hídricos y el deterioro de los ecosistemas relacionados con el agua, amenazando la salud pública, especialmente en los países en desarrollo donde las instalaciones de tratamiento de aguas residuales no son suficientes (Vymazal, J. (2011). Constructed wetlands for wastewater treatment: five decades of experience. *Environmental science & technology*, 45(1), 61–69. <https://doi.org/10.1021/es101403q>; Gwenzi, W., Chaukura, N., Noubactep, C., & Mukome, F. N. D. (2017). Biochar-based water treatment systems as a potential low-cost and sustainable technology for clean water provision. *Journal of environmental management*, 197, 732–749. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.087>). Por lo tanto, el control efectivo de las fuentes de contaminación y tratamiento de aguas residuales son importantes y urgentes para proteger el medio ambiente acuático y el reciclaje de los recursos hídricos (Kaetzel, K., Lübken, M., Uzun, G., Gehring, T., Nettmann, E., Stenchly, K., & Wichern, M. (2019). On-farm wastewater treatment using biochar from local agroresidues reduces pathogens from irrigation water for safer food production in developing countries. *The Science of the total environment*, 682, 601–610. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.142>; Ji, B., Liu, R., Ren, B., Zhao, Y., & Wei, T. (2020). Constructed treatment wetland: glance of development and future perspectives. *Water Cycle*, 1, 104e112. <https://doi.org/10.3390/pr9111917>).

En ese sentido, los humedales construidos son ecosistemas manipulados que se desarrollan sobre la base de humedales y puede utilizarse para la purificación de aguas residuales basándose en una serie de procesos físicos, químicos y, sobre todo, biológicos. Impulsados por la sinergia de los sustratos, plantas acuáticas y los microorganismos que allí habitan (Vymazal, (2011). *Op. Cit.*; Kumar, S., & Dutta, V. (2019). Constructed wetland microcosms as sustainable technology for domestic wastewater treatment: an overview. *Environmental science and pollution research international*, 26(12), 11662–11673. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04816-9>). Los biofiltros son análogos a los humedales construidos de flujo vertical con una profundidad de sustrato relativamente alta pero sin macrófitos y también puede eliminar contaminantes a través de vías similares a los humedales construidos, como adsorción y biodegradación (Lau, A. Y., Tsang, D. C., Graham, N. J., Ok, Y. S., Yang, X., & Li, X. D. (2017). Surface-modified biochar in a bioretention system for *Escherichia coli* removal from stormwater. *Chemosphere*, 169, 89–98. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.048>; Chang, J., Mei, J., Jia, W., Chen, J., Li, X., Ji, B., & Wu, H. (2019). Treatment of heavily polluted river water by tidal-operated biofilters with organic/inorganic media: Evaluation of performance and bacterial community. *Bioresource technology*, 279, 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.060>).

Como un tratamiento popular ecológico y sostenible, la tecnología de tratamiento de aguas residuales está caracterizada por su bajo costo, bajo consumo de energía y de operación simple. Los humedales han sido ampliamente establecidos en todo el mundo para purificar una amplia gama de aguas residuales, como aguas residuales domésticas descentralizadas (Kumar & Dutta, (2019) *Op. Cit.*), efluente secundario de plantas de tratamiento de aguas residuales (Jia, L., Liu, H., Kong, Q., Li, M., Wu, S., & Wu, H. (2020). Interactions of high-rate nitrate reduction and heavy metal mitigation in iron-carbon-based constructed wetlands for purifying contaminated groundwater. *Water research*, 169, 115285. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115285>), y escorrentía agrícola (Vymazal, J., & Březinová, T. (2015). The use of constructed wetlands for removal of pesticides from agricultural runoff and drainage: a review. *Environment international*, 75, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.026>), aguas superficiales y subterráneas contaminadas (Chang, J., Mei, J., Jia, W., Chen, J., Li, X., Ji, B., & Wu, H. (2019). Treatment of heavily polluted river water by tidal-operated biofilters with organic/inorganic media: Evaluation of performance and bacterial community. *Bioresource technology*, 279, 34–42. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.060>; Jia, W., Sun, X., Gao, Y., Yang, Y., & Yang, L. (2020). Fe-modified biochar enhances microbial nitrogen removal capability of constructed wetland. *The Science of the total environment*, 740, 139534. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139534>), aguas industriales o aguas residuales del ganado (Abedi, T., & Mojiri, A. (2019). Constructed wetland modified by biochar/zeolite addition for enhanced wastewater treatment. *Environ. Technol. Innov.* 16, 100472. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100472>; Feng, L., Jia, L., Wang, R., & Wu, H. (2020). Can biochar application improve nitrogen removal in constructed wetlands for treating anaerobically-digested swine wastewater? *Chem. Eng. J.*, 379, 122273. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cej.2019.122273>) y drenaje ácido de minas (Kosolapov, D. B., Kuschik, P., Müller, R. A., Vainshtein, M. B., Vatsourina, A. V., Wiessner, A., & Kestner, M. (2004). Microbial processes of heavy metal removal from carbon-deficient effluents in constructed wetlands. *Eng. Life Sci.*, 4(5), 403e411. <https://doi.org/10.1002/ELSC.200420048>). Los contaminantes en las aguas residuales pueden ser degradados por microbios, adsorbidos, atrapados en la matriz y asimilados por los macrófitos acuáticos cuando las aguas residuales pasan por estos humedales. Luego, el agua tratada se puede reciclar para riego y paisajismo, una sabia elección teniendo en cuenta el pasado de estas aguas.

Quispe & Casimiro (2019), evaluaron la eficiencia de dos sistemas pilotos de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales usando parámetros físico-químico y microbiológico para mitigar la contaminación el río Rímac (Argentina). Para ello, se usaron dos biofiltros: un primer sistema de biofiltro (SB1) conformado por un canal de desbaste, tanque séptico, humedal subsuperficial de flujo vertical (HSSFV) y humedal superficial (HS), y un segundo sistema de biofiltro (SB2) conformado por un canal de desbaste, tanque séptico, lombrifiltro y humedal superficial. Los parámetros como Sólidos Suspendidos Totales (SST), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), nitratos, nitritos, fosfatos y coliformes termotolerantes fueron determinados, llegándose a la conclusión que el sistema SB1 fue más eficiente en casi todos los parámetros en su remoción que SB2. Sin embargo, SB2 mostró mayor remoción de iones fosfatos (Quispe Pulido, A., & Casimiro Vidal, W. (2019). Evaluación de la eficiencia entre dos sistemas de biofiltros para el tratamiento de las aguas residuales domesticas de la localidad de Carapongo, Lurigancho-Chosica. Cátedra Villarreal, 7(1), 66–83. <https://doi.org/10.24039/cv201971325>).

Por su parte, Rivera, (2016) presentó un resumen sobre los humedales de flujo subsuperficial de tipo horizontal, vertical y su potencial aplicación en Colombia para el tratamiento de aguas residuales. Todos estos sistemas son capaces de mejorar la calidad del agua y se presentan como una alternativa viable de bajas exigencias operativas y resultados eficientes para la descontaminación. Estos son capaces de atrapar metales pesados, contaminantes y bacterias provenientes de las aguas a tratar. El desarrollo de estas tecnologías en Colombia plantea una alternativa para mejorar los parámetros fisicoquímicos de disposición final de aguas residuales (Rivera Vergara, D. A. (2016). Humedales de flujo subsuperficial como biofiltros de aguas residuales en Colombia. Cuaderno Activa, 7(1), 99–108. Disponible en: <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/25> (Acceso agosto 2022)).

Vasquez (2017) en un estudio de biofiltros alimentados con lombrices rojas de california (*Eisenia foetida*) para el tratamiento de aguas residuales provenientes de establos ganaderos ubicados en el norte de Lima Metropolitana, demostró la eficiencia de los 3 biofiltros ensayados con el mejoramiento de los parámetros de conductividad eléctrica, pH, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, cloruros, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes termotolerantes, aceites y grasas. La eficiencia en el Biofiltro Bola fue del 69,25 %, 67,84% para un Biofiltro de Pómez, y 65,71% para un Biofiltro con lombriz (Vasquez, S. 2017). Análisis de la eficiencia de un prototipo de Biofiltro en el tratamiento de aguas residuales para riego en Trapiche, Comas, 2017. Universidad César Vallejo. Disponible en: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/22235/Vasquez_PSJ.pdf?sequence=1&isAllowed=y. (Acceso agosto 2022).

Finalmente, los resultados de este trabajo permitieron el diseño de biofiltro para el tratamiento de agua servidas de la ciudad de Huancayo, en Perú para ser utilizado en el cementerio ecológico de dicha ciudad. El caudal a ser manejado durante el tratamiento de aguas servidas fue de 0,35L/s; esto permitió un biofiltro con las siguientes características: 13,78m de largo y 6,89m de largo con una profundidad de 0,8m adecuados para el tratamiento de estas aguas servidas. Los cálculos de degradación de materia orgánica según los parámetros de DBO y DQO permitieron una remoción de la carga orgánica de 78mg/m² al día. Estos resultados fueron excelentes para poder mantener la calidad de vida del ecosistema. Las características físicas y químicas de la planta de tratamientos de aguas residuales generadas por el cementerio ecológico podrían ayudar a minimizar los parámetros de los límites máximos permisibles de acuerdo al D.S. N° 003-2010-MINAM (Disponible en: <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2010-minam/> (Acceso agosto 2022)).

Conflicto de intereses

No se reporta conflicto de intereses.

Agradecimientos

Agradecemos a nuestros colegas y familiares.