

Artículo Original

Eficiencia de los microorganismos en la estabilización de lodos sépticos en el distrito Huando 2021

Efficiency of microorganisms in the stabilization of septic sludge in the Huando district 2021

<https://doi.org/10.52808/bmsa.8e7.632.027>

Giancarlo Fernando Meza Terbullino ^{1,*}

<https://orcid.org/0009-0001-4660-290X>

Francisco Enrique Godiño Vilchez ¹

<https://orcid.org/0000-0003-4950-8369>

Carlos Alberto González Rojas²

<https://orcid.org/0000-0002-0712-321X>

Recibido: 11/11/2022

Aceptado: 11/04/2023

RESUMEN

El crecimiento sin precedentes de las poblaciones urbanas ha ejercido una enorme presión sobre la calidad de vida con respecto a la vivienda, el suministro de agua y energía, y esto se refleja en el deterioro de la calidad del agua, el aire y el suelo. Una disminución en la calidad ambiental por la generación de desechos en estos centros urbanos, especialmente en las aguas residuales, es una preocupación importante y creciente. Para esto se han propuesto procesos de mejoramiento de estos efluentes y uno de ellos es el uso de los microorganismos eficientes (ME), en el entendido de que el metabolismo bacteriano determina la eficacia del tratamiento biológico de las aguas residuales. Se diseñó un protocolo con cinco tratamientos con tres repeticiones, un testigo o T₀ sin concentración de ME, T₁ 2,5% de ME en la relación V/V (volumen del soluto y el volumen del solvente); T₂ 5%; T₃ 7,5% y T₄ 10% para determinar el efecto de estas bacterias en lodos sépticos en el distrito Huando 2021. Las características organolépticas color y olor se vieron favorecidas sustancialmente con la presencia de los ME. Asimismo, las concentraciones de sólidos disueltos, amonio, demanda bioquímica de oxígeno; y muy en particular, una reducción considerable de las unidades formadoras de colonias de coliformes fecales. Estos sistemas son una alternativa adecuada para el tratamiento de las aguas residuales, son económicos, fácil instalación, operación y mantenimiento, siendo ampliamente utilizado para cumplir demandas residenciales.

Palabras clave: aguas residuales, microorganismos eficientes, lodos sépticos

ABSTRACT

The unprecedented growth of urban populations has placed enormous pressure on the quality of life with regard to housing, water and energy supply, and this is reflected in the deterioration of the quality of water, air and soil. A decrease in environmental quality due to the generation of waste in these urban centers, especially wastewater, is an important and growing concern. For this, improvement processes for these effluents have been proposed and one of them is the use of efficient microorganisms (EM), in the understanding that bacterial metabolism determines the effectiveness of biological treatment of wastewater. A protocol was designed with five treatments with three repetitions, a control or T₀ without ME concentration, T₁ 2.5% ME in the V/V ratio (volume of solute and volume of solvent); T₂ 5%; T₃ 7.5% and T₄ 10% to determine the effect of these bacteria in septic sludge in the Huando 2021 district. The organoleptic color and odor characteristics were substantially favored with the presence of ME. Likewise, the concentrations of dissolved solids, ammonium, biochemical oxygen demand; and very in particular, a considerable reduction of the colony-forming units of fecal coliforms. These systems are an alternative for wastewater treatment, they are economical, easy to install, operate and maintain, and are widely used to meet residential demands.

Keywords: wastewater, efficient microorganisms, septic sludge.

¹ Universidad Peruana Los Andes, Huancayo, Perú.

² Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.

*Autor de Correspondencia: gf.terbu@gmail.com

Introducción

El agua es parte de nuestra vida y una necesidad básica para el ser humano. Es uno de los principales soportes vitales para los humanos, estos necesitan agua como fuente de fluidos corporales y para varias actividades, como bañarse, lavarse y usar letrinas. Algunas de estas actividades provocan posteriormente la generación de aguas residuales; por lo el proceso de tratamiento es necesario para mantener la estabilidad y continuidad del suministro de agua. En particular, el agua potable y el tratamiento de aguas residuales son una parte importante del ciclo del agua en la vida humana.

Alrededor del mundo se ha estimado que 844 millones de personas viven sin acceso a agua potable. Esta situación provoca importantes problemas de salud por los que 2,2 millones de personas mueren cada año por enfermedades transmitidas por el agua; el 90% de ellos son niños menores de cinco años (OMS, 2017). El tratamiento de agua potable y las redes de agua se han creado y mejorado con el tiempo para resolver los problemas de suministro de agua, sin embargo, en varios casos (por ejemplo, comunidades rurales y áreas de bajos ingresos), las tecnologías convencionales son costosas y difíciles de implementar. Sobre esta base, se han desarrollado tecnologías de punto de uso para tratar el

agua contaminada a menor escala (Kennedy *et al.*, 2013). Entre ellos los tanques sépticos anaeróbicos han sido identificados como una de las tecnologías mas prometedoras. Los tanques sépticos anaeróbicos son unos de los más antiguos, sencillos y comunes sistemas primarios para el tratamiento *in situ* de aguas residuales. Estos sistemas son muy utilizados como alternativas descentralizadas para el tratamiento y son muy atractivos debido a algunos aspectos económicos y razones funcionales como bajo costo, fácil instalación, operación y mantenimiento, siendo ampliamente utilizado para cumplir demandas residenciales y de pequeñas aglomeraciones. Este tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales se favorece en países tropicales por el predominio de un clima cálido (Silva *et al.*, 2013).

El componente biológico formado por los microorganismos eficientes (ME) es un ecosistema estable y eficaz (Declerck *et al.*, 2009) que consta de comunidades microbianas complejas funcionalmente organizadas (Hurlow, 2015). Esta combinación crea un microambiente ideal que puede soportar la supervivencia y el crecimiento de microorganismos que colaboran con el tratamiento del agua (Declerck *et al.*, 2009). Según Characklis y Marshall (1990), las bacterias son generalmente dominante en el biofilm debido a su bajo tamaño, altas tasas de crecimiento, capacidad de adaptación y producción de polímeros extracelulares. En todo este componente biológico, varias actividades metabólicas resultan en una reducción parcial del nivel de oxígeno causando la muerte o inactivación de organismos aerobios, así como la oxidación y absorción de componentes inorgánicos. Además de eso, también ocurren interacciones biológicas como depredación, competencia y consumo de detritos por parte de organismos saprofitos (Galvis *et al.*, 1998), mejorando la eficiencia del tratamiento del agua durante el proceso de estabilización de lodos sépticos a través de ME.

Los tanques sépticos convencionales pueden proporcionar remoción de sólidos, almacenamiento de sólidos y puede funcionar como un biorreactor anaeróbico para la digestión de la materia orgánica. Sin embargo, hay varios problemas inherentes asociado a tales sistemas, el más significativo siendo su baja eficiencia de tratamiento (25-35% de demanda química de oxígeno (DQO)) con eficiencia de eliminación limitada (Cullimore & Viraraghavan, 1994; Nasr & Mikhaeil, 2013). También, los sistemas de tratamiento *in situ* no son efectivos ni en eliminando compuestos de nitrato y fósforo o en reducir la abundancia de microorganismos patógenos (Metcalf *et al.*, 2014). Para superar estos problemas, es necesario mejorar el diseño existente y/o añadir etapas postratamiento. Existen varias opciones para el post-tratamiento de efluentes de fosas sépticas (Wu *et al.*, 2011), la mayoría se recomienda el uso de un filtro anaeróbico (Agency UEP 2002).

Este estudio se ocupó en la necesidad de avanzar en el desarrollo de políticas y prácticas que involucren la utilización de microorganismos eficientes para el manejo sostenible de los recursos naturales. La propuesta diseñada utiliza las propiedades biológicas de estos agentes como una forma de introducir un sistema de tratamiento y depuración de aguas residuales con alto impacto, mas económico y considerado con el medio ambiente.

Materiales y métodos

Con el objetivo de determinar el efecto de los Microorganismos Eficientes (ME) en lodos sépticos en el distrito Huando 2021, se diseño un protocolo con cinco (5) tratamientos con tres (3) repeticiones, un testigo o T₀ sin concentración de ME, T₁ 2,5% de ME en la relación V/V (volumen del soluto y el volumen del solvente); T₂ 5%; T₃ 7,5% y T₄ 10%.

Para la ejecución se emplearon tanques anaeróbicos para almacenamiento, fabricado con polietileno 100% virgen con capacidad de 1000 litros, provistos de tapa enroscable con válvula para el escape de gases, salida tubo de filtración para una laguna de oxidación y una grifería para la toma de liquido; fabricado con los requerimientos de aprobación de la FDA (Food and drugs administration de los EEUU).

Se realizó el primer muestreo de lodo antes de llenar los tanques, posteriormente cada 7 días por 5 semanas se tomaron muestras para determinar las características físicas, químicas y biológicas, el análisis se realizó según los métodos señalados por Tchobanoglous y Burton (1991); Clesceri *et al.* (1999); Faña (1999), reconocidos por la Asociación Americana de Salud Pública.

Tabla 1. Metodologías para los análisis de las muestras de los lodos sépticos

| Variables | Metodología | Principio técnico | Fuente |
|-------------------|--|--|---------------------------------|
| Biológicas | | | |
| Coliformes | Uso de paletas Hy-Labs | El principio básico de la enumeración semicuantitativa de microorganismos, se basa en la relación definitiva entre el número visible de colonias en la "paleta" o "laminocultivo", y la cantidad de microbios presentes en la muestra en el momento de hacer la prueba. Los resultados son fácilmente evaluados y correlacionan con los obtenidos a través de métodos estandar. Cada paquete contiene la información detallada para el uso de los laminocultivos | Clesceri <i>et al.</i> (1999) |
| Físicas | | | |
| Temperatura | Utilización del termómetro de mercurio | Se basa en el principio de la expansión de un líquido desde un bulbo a un capilar uniforme, de forma que los cambios de volumen se reducen en longitudes proporcionales | Clesceri <i>et al.</i> , (1999) |

| | | | Continuación Tabla 1... |
|-------------------------------------|---|--|---------------------------------|
| Olor | Un proceso numérico de grado de apreciación organoléptico | Organoléptico | Faña, (1999) |
| Color | Fue evaluado subjetivamente | Organoléptico | Faña, (1999) |
| Turbidez | A través del sentido de la vista | Este método se basa en la comparación entre la intensidad de la luz dispersada por la muestra bajo condiciones definidas y la intensidad de luz dispersada por una suspensión de referencia bajo las mismas condiciones; a mayor dispersión de luz corresponde una mayor turbiedad. Las lecturas son realizadas empleando un turbidímetro calibrado con una suspensión de referencia de formacina preparada bajo condiciones específicas | Faña. (1999) |
| pH | El pH-metro directamente en los lodos sin dilución | El principio básico de la medida electrométrica del pH se fundamenta en el registro potenciométrico de la actividad de los iones hidrógeno por el uso de un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia, o un electrodo combinado | Clesceri <i>et al.</i> , (1999) |
| Sólidos sedimentables | Mediante gravimetría con el uso del cono de Imhoff | El tanque Imhoff es una tecnología de tratamiento primario para aguas residuales crudas , que integra la sedimentación del agua y la digestión del lodo asentado en la misma unidad. | Tchobanoglous y Burton, (1991) |
| Sólidos totales | El método gravimétrico, donde se tomó 1 L de lodo y se puso a 45 °C hasta que pasara de líquido a sólido | Es un método gravimétrico que se basa en la retención de las partículas sólidas en un filtro de fibra de vidrio a través del cual se hace pasar una muestra homogénea; el residuo que queda retenido se seca a 103-105°C. El incremento en el peso del filtro representa la cantidad de sólidos suspendidos totales. | |
| Químicas | | | |
| Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) | Determinaciones de oxígeno disuelto (OD) a diferentes intervalos de tiempo | La demanda bioquímica de oxígeno establece la cantidad de oxígeno que se consume durante la biodegradación de elementos orgánicos de una muestra de aguas residuales. Mediante la medición de la DBO se registran los elementos orgánicos biodegradables del agua | Tchobanoglous y Burton, (1991) |
| Demanda química de oxígeno (DQO) | El equivalente de oxígeno en la materia orgánica que se puede oxidar usando un agente oxidante fuerte en un medio ácido | La demanda química de oxígeno es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O ₂ /l) | Tchobanoglous y Burton, (1991) |
| Nitrógeno total | Método de Kjeldahl | | Clesceri <i>et al.</i> , (1999) |
| Nitrógeno en forma de amonio | Una reacción de amonio, hipoclorito y fenol, catalizado con nitroprusido de sodio. Se forma un compuesto (indofenol) de color azul intenso. Se hace la lectura con un espectrofotómetro | El método en forma general, consiste en descomponer la muestra con ácido sulfúrico concentrado con la finalidad de convertir el nitrógeno combinado en ion amonio. La solución posteriormente se vuelve básica, así el amoniaco que se libera se destila y se determina por medio de una titulación de neutralización. | Clesceri <i>et al.</i> , (1999) |

Resultados

En la tabla 2 se muestran los valores de las unidades formadoras de colonias de coliformes fecales expresadas en Número mas Probable/100 mL de agua. Este grupo de bacterias bacilos gramnegativos corresponde a las fermentadoras de la lactosa provenientes de aguas contaminadas con materia fecal animal o humana. Se aprecia la reducción significativa y creciente de este grupo de microorganismos patógenos cuando se sometieron distintas concentraciones de microorganismos eficientes; todo esto realizado en condiciones experimentales controladas en un periodo de cinco semanas de recolección de muestras en muestreos semanales.

Tabla 2. Número de unidades formadoras de colonias de coliformes en los tratamientos con diferentes concentraciones de ME

| Tiempo (Días) | Coliformes Fecales (NMP/ 100 mL) | | | | | |
|---------------|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ | T ₅ |
| 0 | ≥1000.000 | ≥1000.000 | ≥1000.000 | ≥1000.000 | ≥1000.000 | ≥1000.000 |
| 7 | 58.200 | 4.000 | 3.600 | 3.000 | 2.800 | 2.200 |
| 14 | 9.000 | 860 | 360 | 220 | 100 | 90 |
| 21 | 6.000 | 420 | 280 | < 2 | 0 | 0 |
| 28 | 1.200 | 260 | < 2 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | 100 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 |

En la tabla 3 se obtienen los resultados de las características organolépticas de olor y color de de las diferentes muestras de aguas residuales sometidas a distintas concentraciones de microorganismos eficientes. Partiendo desde la

muestra inicial sin la adición de ME la cual presentó olor fuerte putrefacto y color café grisáceo en las mediciones registradas desde el día 0 hasta la 5ta semana de muestreo; mientras que, las muestras correspondientes a los 5 tratamientos con concentraciones mayores progresivas de ME, develaron que mientras aumentaba la concentración de dichos microorganismos, el aspecto macroscópico de color iba aclarando paulatinamente con el aumento de la concentración de los ME; y se evidenció el cambio de olor pútrido de la muestra sin ME a un olor de fermentación característico de la presencia de bacterias utilizando los substratos presentes en las aguas residuales.

Tabla 3. Olor y color del lodo según tratamientos con diferentes concentraciones de ME

| Tiempo (Días) | Cualidad | T ₀ | T ₁ | T ₂ | T ₃ | T ₄ | T ₅ |
|---------------|----------|------------------------|----------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------|
| 0 | Olor | Muy fuerte a pudrición | | | | | |
| | Color | Café grisáceo | | | | | |
| 7 | Olor | Muy fuerte a pudrición | | | | | |
| | Color | Café grisáceo | | | | Café- Gris | |
| 14 | Olor | Muy fuerte a pudrición | | | Débil fermentación | | |
| | Color | Café grisáceo | | Café- Gris | | | |
| 21 | Olor | Muy fuerte a pudrición | | Débil fermentación | | Fuerte fermentación | |
| | Color | Café- Gris | | | | | |
| 28 | Olor | Débil fermentación | | | Fuerte fermentación | | |
| | Color | Café- Gris | Caramelo | | | | |
| 35 | Olor | Fuerte fermentación | | | | | |
| | Color | Caramelo | | | | | |

Otro parámetro evaluado en el estudio fue la medición de la concentración de hidrogeniones (pH). En la figura 1 se muestra el grado de acidificación progresivo de las muestras de aguas residuales incluyendo la muestra sin ME (T₀), que luego de 21 días transcurridos el valor de pH 5,1 disminuyó hasta 4,1; y en las dos semanas restantes de mediciones evidenció un ligero aumento del valor hasta 4,4. Se observa que para cada uno de los 5 tratamientos con ME el comportamiento de los valores de pH obtenidos fue muy similar en relación a la tendencia de la curva de valores, mas sin embargo, los valores de Ph eran considerablemente menores, desde 3,1 para el T₅ a los 21 días, hasta 3,7 para los tratamientos T₁ y T₂ aproximadamente.

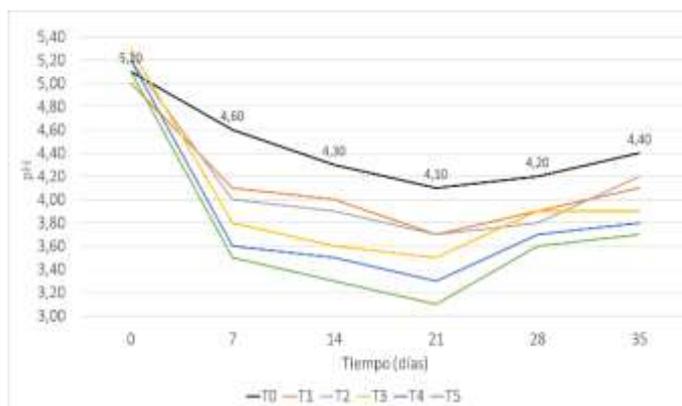


Figura 1. Concentración del pH

En relación a la cuantificación de sólidos totales, la figura 2 revela que la concentración de estos fue reduciendo progresivamente para todos los tratamientos incluyendo el T₀, sólo que en este en particular la concentración de los sólidos totales adoptó un estado estacionario en su concentración a partir de la tercera semana de las mediciones; mientras que, la de el resto de los tratamientos con ME el descenso de la concentración de los mismos continuó disminuyendo hasta la última medición en la quinta semana de muestreo.

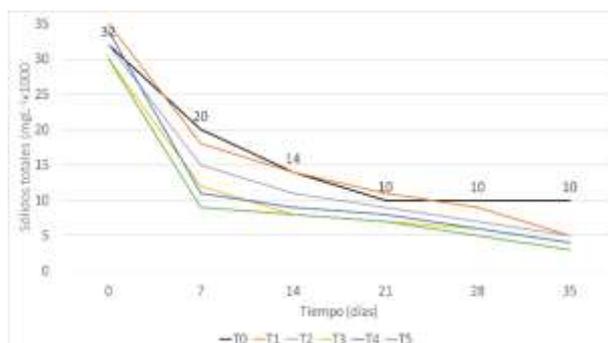


Figura 2. Concentración de los sólidos totales

El valor de la D. Q. O. siempre será superior al de la D. B. O. debido a que muchas sustancias orgánicas pueden oxidarse químicamente pero no biológicamente. La Demanda Química de Oxígeno (DQO) en pocas palabras. Representa la cantidad de oxígeno necesario para descontaminar el agua procedente de grandes ciudades, de viviendas individuales, de aguas pluviales, del alcantarillado o de fosas sépticas). la DBO es una medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de cinco días a 20 °C.

La figura 3(a) representa la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno, que representa la oxidación biológica de sustancias orgánicas. Allí se nota claramente la disminución desde el punto inicial de las mediciones para todos los tratamientos evaluados en el estudio; es decir, sin la adición de los ME hasta los 5 grupos de tanques con concentraciones crecientes de los mismos. Se aprecia que a partir de la segunda semana de evaluar las muestras ya todas ellas presentaban valores por debajo del límite máximo permisible. Mientras que la figura 3(b) muestra el comportamiento de la concentración de la demanda química de oxígeno que expresa la cantidad de oxígeno necesario para descontaminar el agua residual y se observa el decrecimiento sostenido de dicha demanda en los tanques donde se utilizaron concentraciones crecientes de ME. En este particular, todos los tratamientos del estudio superaron el límite máximo permitido; aunque el tanque sin ME fue el que mayor valor exhibió.

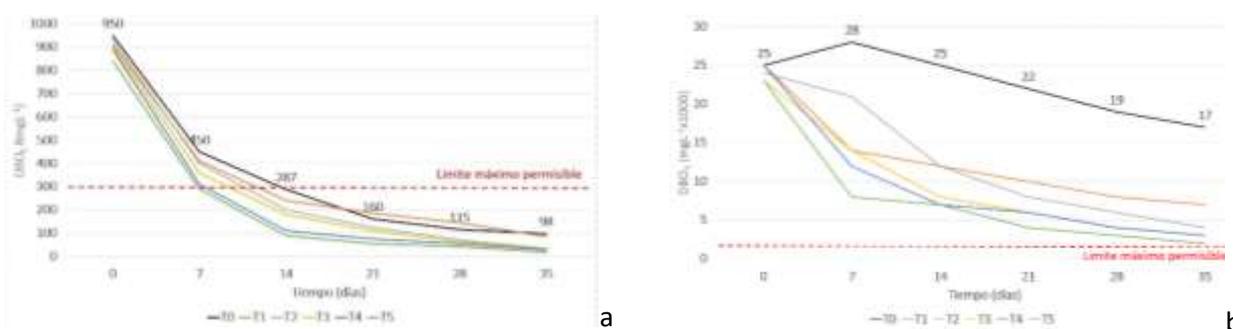


Figura 3. Concentración de (a) la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y (b) la demanda química de oxígeno (DQO)

La presencia de nitrógeno amoniacal esta representada en la figura 4, allí se ve reflejado que en ausencia de ME (T_0), el amonio va incrementándose lo que se explica por la existencia de bacterias coliformes fecales provenientes de los efluentes domésticos; mientras que en los cinco tratamientos con concentraciones crecientes de ME se pone de manifiesto que hasta la segunda semana disminuye gradualmente la concentración de amonio producto de la utilización de este por parte de los ME.

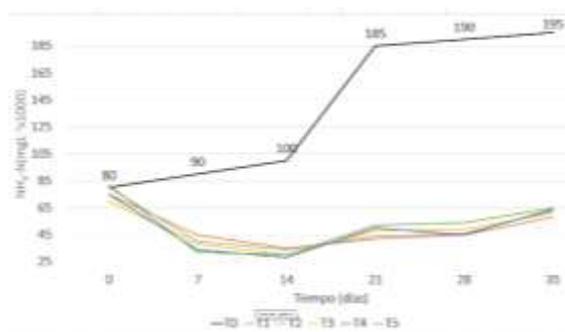


Figura 4. Concentración de nitrógeno en forma de amonio

Discusión

El método del tratamiento biológico con el uso de microorganismos eficientes para aguas residuales prácticamente es libre de sustancias químicas y a su vez posee menos requisitos de consumo energético cuando lo comparamos con los métodos de tratamiento químico; y con los primeros se logra una eficiente eliminación de residuos contaminantes entre los que destacan los microorganismos patógenos de los distintos efluentes (Quijano *et al.*, 2017; Zhou *et al.*, 2011), haciendo a este método más económico y respetuoso con el medio ambiente para el tratamiento de aguas residuales.

La aplicación generalizada del proceso de tratamiento de lodos activados convencional se ha empleado para tratar una variedad de aguas residuales municipales e industriales. Si bien la generación de lodos activados residuales fue

considerablemente enorme, los gastos de gestión y eliminación fueron sustancialmente costosos. De ahí la necesidad urgente de crear un proceso prometedor dirigido a la reducción de las aguas residuales con los ME durante el proceso de operación. Por lo tanto, se debe recomendar intensamente en el futuro una mayor atención que haga hincapié en los procesos de reducción de lodos mejorados o novedosos.

La estabilización de los lodos sépticos con ME como se comprobó en este estudio demostró que las características organolépticas de los efluentes tratados demostraron mejores resultados en el olor y color, esto debido a la utilización de los sustratos orgánicos como fuente de energía por las bacterias suministradas en los cinco tratamientos; pueden entonces considerarse como sistemas primarios para el tratamiento *in situ* de aguas residuales. Estos sistemas anaeróbicos son más utilizados como alternativas descentralizadas para el tratamiento y son muy atractivo debido a algunos aspectos económicos y razones funcionales como bajo costo, fácil instalación, operación y mantenimiento, siendo ampliamente utilizado para cumplir demandas residenciales y de pequeñas aglomeraciones.

El monitoreo de los sistemas de tratamiento de aguas residuales es crucial para determinar la calidad del agua efluente y la eficiencia del proceso. Además de seguimiento de parámetros fisicoquímicos, como DQO, pH y sólidos suspendidos totales, entre otros, el bio-monitoreo o monitoreo biológico puede revelar información importante sobre el proceso (Senthil Kumar *et al.* 2018). Las unidades de tratamiento de lodos sépticos se basan en procesos de digestión anaeróbica realizados por microorganismos, y su eficiencia está directamente vinculado a la diversidad de la comunidad microbiana. Por lo tanto, las comunidades microbianas en estos sistemas son cruciales para procesos de buen desempeño. Sin embargo, el seguimiento y el mantenimiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales sigue siendo basado en relaciones empíricas entre parámetros operativos y fisicoquímicos, que no son suficiente para un rendimiento fiable. Un entendimiento sistemático de los microorganismos presentes en los sistemas de tratamiento de aguas residuales en función de los factores ambientales y cómo influyen en el rendimiento es importante para mejorar la estabilidad del proceso y eficiencia y para proporcionar una guía importante en diagnóstico y pronóstico (Liu *et al.* 2016).

Conflicto de intereses

No se reporta conflicto de intereses.

Agradecimientos

A nuestros compañeros de investigación.

Referencias

- Agency UEP. (2002). Onsite wastewater treatment systems manual. Office of Research and Development, Washington, DC.
- Characklis WG, Marshal K. (1990). Biofilms. Wiley-Interscience, New York. 1st edition, 796p.
- Cullimore D, Viraraghavan T. (1994). Microbiological aspects of anaerobic filter treatment of septic tank effluent at low temperatures. *Environ Technol.* 15:165–173. <https://doi.org/10.1080/0959339409385416>
- Declerck, P., Behets, J., Margineanu, A., van Hoef, V., De Keersmaecker, B., & Ollevier, F. (2009). Replication of *Legionella pneumophila* in biofilms of water distribution pipes. *Microbiological research*, 164(6), 593–603. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2007.06.001>
- Galvis G, Latorre J, Visscher JT. (1998). Multi- Stage Filtration: An Innovative Water Treatment Technology. IRC International Water and Sanitation Center, The Hague, Netherlands. Disponible en: <http://www.sciepub.com/reference/108677> (Acceso enero 2023).
- Hurlow, J., Couch, K., Lafore, K., Bolto, L., Metcal, D., & Bowler, P. (2015). Clinical Biofilms: A Challenging Frontier in Wound Care. *Adv. Wound Care.* 4, 295-301. <https://doi.org/10.1089/wound.2014.0567>
- Kennedy, T.J., Anderson, T.A., Hernández E.A., & Morse, A.N. (2013). Assessing an intermittently operated household scale slow sand filter paired with household bleach for the removal of endocrine disrupting compounds. *J Environ Sci Health A Tox Hazard Subst Environ Eng.* 48(7):753-9. <https://doi.org/10.1080/10934529.2013.744616>
- Liu, T., Liu, S., Zheng, M., Che, Q., & Ni, J. (2016). Performance assessment of full-scale wastewater treatment plants based on seasonal variability of microbial communities via highthroughput sequencing. *PLoS ONE* 11: e0152998. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152998>
- Metcalf, L., Eddy, H.P., & Tchobanoglous, G. (2014). Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse, vol 4, 5th edn. McGraw-Hill New York, New York.
- Nasr, F, & Mikhaeil, B. (2013). Treatment of domestic wastewater using conventional and baffled septic tanks. *Environ Technol.* 34:2337–2343. <https://doi.org/10.1080/09593330.2013.767285>

- Quijano G, Arcila JS, Buitrón G. (2017). Microalgal-bacterial aggregates: Applications and perspectives for wastewater treatment. *Biotechnol Adv.* 35(6):772-781. [https://doi: 10.1016/j.biotechadv.2017.07.003](https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.07.003)
- Senthil Kumar, P., Suganya, S., & Varjani, S.J. (2018). Evaluation of next-generation sequencing technologies for environmental monitoring in wastewater abatement. In: Varjani SJ, Agarwal AK, Gnansounou E, Gurnathan B (eds) *Bioremediation: applications for environmental protection and management*. Springer Singapore, Singapore, pp 29– 52. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7485-1_3
- Silva, F., Lima, M., Mendonça, L., & Gomes, M. (2013). Septic tank combined with anaerobic filter and conventional UASB: results from full scale plants. *Braz J Chem Eng.* 30:133–140. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322013000100015>
- World Health Organization (WHO). 2017. Guidelines for drinking-water quality. World Health Organization, Switzerland. Disponible en: <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789241549950> (Acceso enero 2023).
- Wu, S., Austin, D., Liu, L., & Dong, R. (2011). Performance of integrated household constructed wetland for domestic wastewater treatment in rural areas. *Ecol Eng* 37:948–954. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.02.002>
- Zhou, Y., Oehmen, A., Lim, M., Vadivelu, V., & Ng, W.J. (2011). The role of nitrite and free nitrous acid (FNA) in wastewater treatment plants. *Water Res.* 45(15):4672-82. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.06.025>