

Reducción de la demanda química de oxígeno de aguas residuales domésticas mediante bioaumentación

Reduction of chemical oxygen demand in domestic wastewater through bioaugmentation

Andrés Sebastian Calderón Velasco¹, Jaime Martí-Herrero², Roque Rivas-Párraga³

1 Universidad Regional Amazónica Ikiam. <https://orcid.org/0000-0002-4183-5157>

2 CIMNE, UNED-CIEMAT, Universidad Regional Amazónica Ikiam, Universidad de La Laguna. <https://orcid.org/0000-0001-5020-1896>

3 Escuela Politécnica Nacional; Universidad Estatal Amazónica; Universidad Regional Amazónica Ikiam; Universidad de Cuenca; Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE; University of Oklahoma Health Sciences Center. <https://orcid.org/0000-0002-1586-8852>

Autor de correspondencia: andres.calderon@est.ikiam.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.63804/CIBEN.25.bbfs.e9>

Resumen

La alta carga orgánica en aguas residuales domésticas dificulta su tratamiento. La bioaumentación, mediante el uso de microorganismos, puede mejorar la degradación de materia orgánica. Esta investigación evaluó la capacidad de distintos consorcios microbianos para reducir la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en aguas residuales tratadas en laboratorio. Se probaron consorcios obtenidos de lodos de biodigestores (BDG), humedales artificiales (H), lixiviados de compost (COMP), intestinos de *Hermetia illucens* (BSF) y microorganismos de montaña (MM), comparados con un control sin inoculación. Los ensayos se realizaron por triplicado midiendo la DQO durante 10 días. MM logró la mayor reducción (42 %), seguido de BDG (35 %), mientras que H, COMP y BSF no superaron al control. La identificación molecular reveló géneros como *Clostridium*, *Pseudomonas* y *Klebsiella*. Los resultados sugieren que el origen ecológico influye en la eficiencia degradadora y destacan a los biodigestores y preparados fermentativos como fuentes prometedoras para bioaumentación descentralizada.

Palabras clave: Bioaumentación; Demanda Química de Oxígeno; Consorcios microbianos; Aguas residuales domésticas.

Abstract

The high organic load in domestic wastewater hinders its treatment. Bioaugmentation, through the use of microorganisms, can enhance the degradation of organic matter. This study evaluated the ability of different microbial consortia to reduce Chemical Oxygen Demand (COD) in wastewater treated under laboratory conditions. Consortia obtained from biodigester sludge (BDG), constructed wetlands (H), compost leachate (COMP), intestines of *Hermetia illucens* (BSF), and mountain microorganisms (MM) were tested and compared against an uninoculated control. Trials were performed in triplicate, measuring COD over 10 days. MM achieved the greatest reduction (42%), followed by BDG (35%), whereas H, COMP, and BSF did not outperform the control. Molecular identification revealed genera such as *Clostridium*, *Pseudomonas*, and *Klebsiella*. The results suggest that ecological origin influences degradative efficiency and highlight biodigesters and fermentative preparations as promising sources for decentralized bioaugmentation.

Keywords: Bioaugmentation; COD; Microbial consortia; Domestic wastewater.

Introducción

El aumento del vertido de aguas residuales industriales y domésticas ha colapsado la capacidad del ambiente para asimilar altas cantidades de desechos (Zhang & Jin, 2015). Esto ha llevado al desarrollo de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, con el objetivo de disminuir la contaminación hídrica (Nasrollahzadeh et al., 2021). En los últimos años se han impuesto normas de emisión más estrictas en varias plantas de tratamiento de aguas residuales de todo el mundo. Por ejemplo, disminuir la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda biológica de oxígeno (DBO), principales indicadores de calidad de agua (Zhang et al., 2017).

Para lograr esta disminución de DQO se han utilizado métodos físicos y químicos, pero estas formas de tratamiento son caras y difíciles de conseguir (Dhall et al., 2012). Es así que el tratamiento biológico ha surgido como alternativa económica para eliminar la materia orgánica. El mecanismo de trabajo es mediante el metabolismo de microorganismos específicos con la capacidad de biodegradar los contaminantes orgánicos presentes en las aguas residuales (Kim et al., 2019). La bioaumentación es uno de estos métodos biológicos que buscan solucionar la problemática de las aguas residuales. Se basa principalmente en la adición de microorganismos superiores seleccionados de varios entornos o cepas eficientes con la capacidad de metabolizar moléculas en un entorno contaminado (Dottorini et al., 2023). Thompson et al. (2005) sostienen que se debe expandir la búsqueda de consorcios bacterianos que ayuden a la bioaumentación y no solo centrarnos en plantas de tratamiento

y lodos anaerobios. Esto permitirá la construcción de consorcios sintéticos que sean eficaces en diferentes entornos.

Por lo tanto, este estudio tuvo como objetivo explorar consorcios microbiológicos con potencial de remoción de contaminantes orgánicos. Asimismo, se buscó evaluar la capacidad de reducción de DQO de estos consorcios microbianos en aguas residuales domésticas. Finalmente, una identificación molecular fue sometida a los consorcios con mejor rendimiento durante los ensayos de bioaumentación.

Metodología

Los consorcios microbianos fueron obtenidos de cinco fuentes diferentes: lodos de biodigestores anaerobios (BDG), humedales artificiales (H), lixiviados de pilas de compostaje (COMP), intestinos de larvas de *Hermetia illucens* (BSF) y preparados fermentativos de microorganismos de montaña (MM). Para el aislamiento y reproducción de microorganismos se diluyó cada una de las muestras a 1×10^{-6} mediante diluciones seriadas usando agua tipo II. Posteriormente, se inocularon 25 mL de caldo nutritivo (CN) con 1 mL de muestra y en cajas Petri con agar nutritivo (AN) se hizo una siembra masiva con asa Drigalsky. Este procedimiento se hizo por triplicado para cada una de las muestras y los medios de cultivo fueron incubados en un periodo de 16-18h a 37°C.

Las cajas de Petri inoculadas se usaron para realizar una identificación visual de las colonias que crecieron en el AN. Mientras tanto, los caldos inoculados se centrifugaron a 4200 rpm durante 20 min. El sobrenadante fue descartado y el pellet se resuspendió en agua tipo II y se centrifugó con los mismos parámetros de velocidad y tiempo. Este pellet fue usado para el ensayo de bioaumentación, para lo cual se recolectó 110 ml de agua residual, la cual fue inoculada con el pellet recuperado. Después, esta agua residual activada se distribuyó en 11 tubos de 10 mL; esto se repitió para cada una de las muestras. Finalmente, durante 10 días se midió el DQO de estos tubos según el Standard Methods of the American Public Health Association (2017), usando el método estándar 5220D. Finalmente, los consorcios con mejor rendimiento fueron identificados por el gen 16s. Para lo cual se utilizó el kit de extracción de ADN FASTDNA Spin Kit for Soil de MP Biomedicals y el ADN obtenido fue enviado a MR DNA LAB en Shallowater, Texas para su secuenciación.

Resultados y Discusión

Se probó el potencial de reducción de DQO mediante bioaumentación utilizando consorcios microbianos que de forma natural disminuyen cargas orgánicas. Los resultados de estos experimentos mostraron que, después de 2 días de experimentación, el consorcio BDG tiene

un porcentaje de degradación del 50% manteniendo esta tendencia de degradación hasta el día 10. La eficiencia promedio de eliminación de DQO con consorcios autóctonos es >50% (Dhall et al., 2012), lo que explicaría esta rápida degradación por parte de BDG. Por otro lado, el consorcio MM, a partir del día 8, presentó una degradación del 68% comparado con el control. Este retraso en degradación se debe al proceso de adaptación del consorcio, al ser un consorcio exógeno a las aguas residuales usadas, su proceso de adaptación es lento, pero es efectivo cuando el consorcio posee microorganismos adaptados a degradar desechos orgánicos (Shan et al., 2023) En la figura 1 se muestra cómo actuó cada consorcio con la reducción de DQO a lo largo de 10 días, donde se puede observar que los consorcios BSF, H y COMP, no presentaron un buen rendimiento. BSF y COMP no lograron reducir más que el control, obteniendo 224,415 mg/L y 278,459 mg/L, respectivamente. Finalmente, H tuvo un comportamiento similar al control a excepción del día 8 en adelante, donde empezó a disminuir más que el control, llegando a 137,476 mg/L.

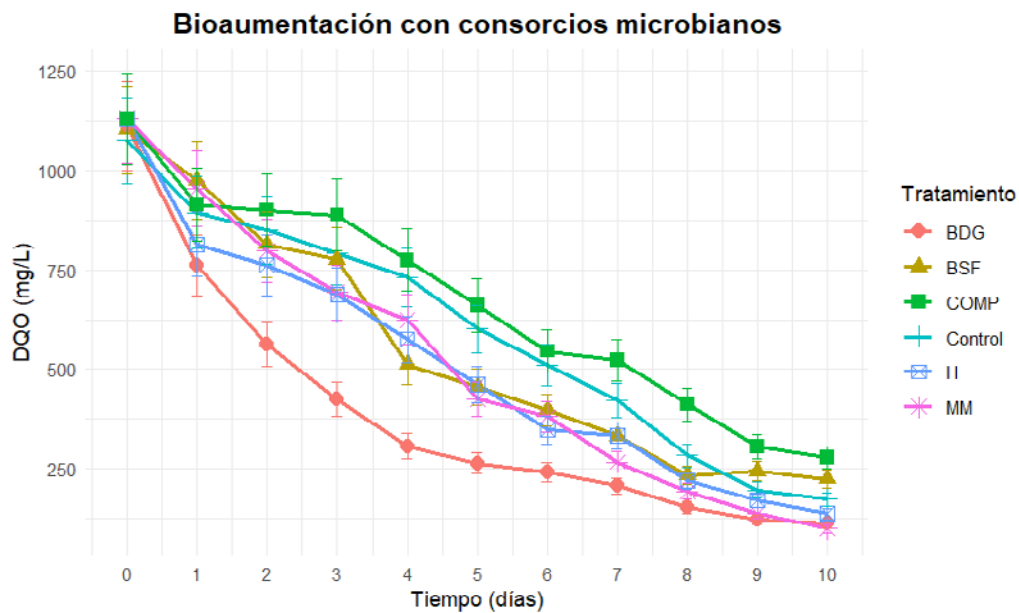


Figura 1. Disminución de la DQO en agua residual doméstica usando consorcios microbianos para tratar el agua mediante bioaumentación.

Las muestras BDG y MM tuvieron el mejor rendimiento; BDG tuvo un comportamiento acelerado, lo que permitió reducir el DQO más rápido que los demás consorcios. Mientras que MM fue el consorcio que más disminuyó el DQO en comparación con el control (57.77%). Entre estos dos consorcios se identificaron más de 40 especies microbiológicas, teniendo 25 especies compartidas entre ambas muestras (Figura 2). Géneros como Clostridium, Klebsiella, Pseudomonas y Paraclostridium son los más comunes y están relacionados con la degradación orgánica (Cheng et al., 2021; Cheng et al., 2017). Sin embargo, la presencia y cantidad de

ciertas especies altera el funcionamiento de cada consorcio, en el caso de BDG, existe una gran cantidad de *P. aeruginosa*, la cual tiene un alto potencial de degradación de desechos orgánicos y otros contaminantes, lo que permite una mayor y más rápida disminución de DQO (Ruan et al., 2020; Anekwe & Isa, 2024)

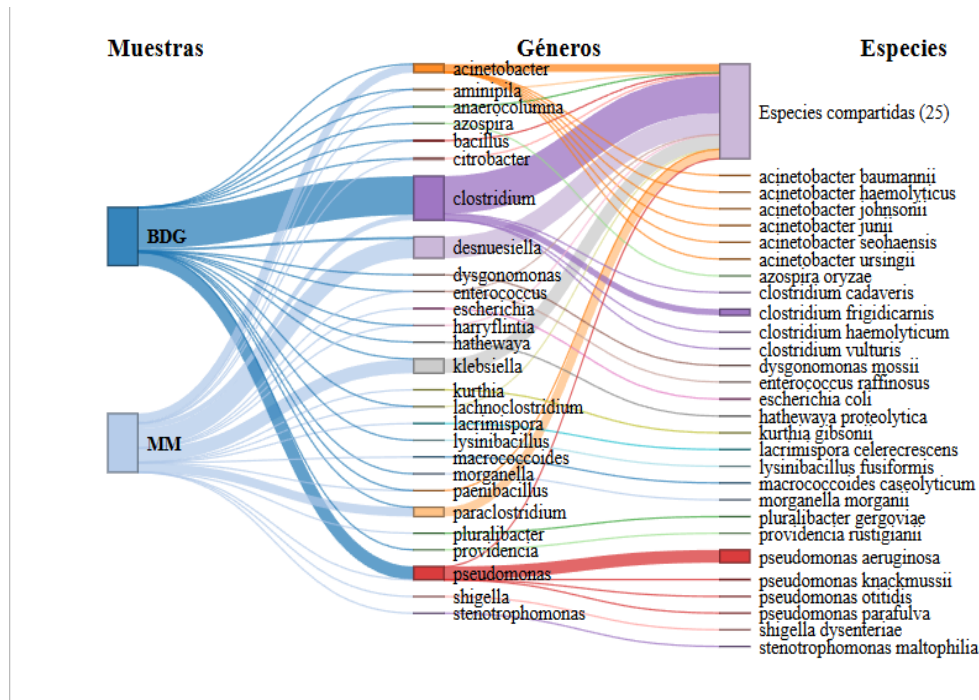


Figura 2. Diagrama Sankey que muestra los consorcios con mejor rendimiento. Asimismo, géneros y especies que constituyen a estos consorcios

Conclusiones

La bioaumentación como forma de tratamiento para las aguas residuales domésticas e industriales aún se encuentra en desarrollo; además, la estabilización del proceso es el factor más importante que se debe tener en cuenta. En este estudio se evidenció que aunque ciertos consorcios están adaptados a reducir la carga orgánica, no siempre tienen un buen funcionamiento cuando se exponen a otros entornos. Sin embargo, la presencia de ciertas especies en los consorcios microbianos mejora la reducción de DQO en las aguas residuales. Estas especies en específico están relacionadas con la remoción de componentes comunes en residuos orgánicos, por lo que su presencia permite mejorar el rendimiento de un consorcio. Para investigaciones futuras se sugiere que se aislen por separado las especies de cada consorcio y se arme un consorcio sintético que contenga especies que permitan reducir el DQO y este consorcio sintético debe ser expuesto a diferentes tipos de aguas residuales, con la finalidad de registrar su comportamiento.

Referencias bibliográficas

Anekwe, I. M. S., & Isa, Y. M. (2024). Sustainable remediation of acid mine drainage (AMD)- and crude oil-contaminated sites through wastewater-enhanced *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 15442 treatment. *Biotechnology for the Environment*, 1(1), 12.

Cheng, C., Zhou, Z., Niu, T., An, Y., Shen, X., Pan, W., Chen, Z., & Liu, J. (2017). Effects of side-stream ratio on sludge reduction and microbial structures of anaerobic side-stream reactor coupled membrane bioreactors. *Bioresource Technology*, 234, 380–388.

Cheng, Y., Chon, K., Ren, X., Kou, Y., Hwang, M.-H., & Chae, K.-J. (2021). Bioaugmentation treatment of a novel microbial consortium for degradation of organic pollutants in tannery wastewater under a full-scale oxic process. *Biochemical Engineering Journal*, 175, 108131.

Dhall, P., Kumar, R., & Kumar, A. (2012). Biodegradation of sewage wastewater using autochthonous bacteria. *The Scientific World Journal*, 2012(1), 861903.

Kim, Y. K., Yoo, K., Kim, M. S., Han, I., Lee, M., Kang, B. R., Lee, T. K., & Park, J. (2019). The capacity of wastewater treatment plants drives bacterial community structure and its assembly. *Scientific Reports*, 9(1), 14809.

Nasrollahzadeh, M., Sajjadi, M., Irvani, S., & Varma, R. S. (2021). Starch, cellulose, pectin, gum, alginate, chitin and chitosan derived (nano) materials for sustainable water treatment: A review. *Carbohydrate Polymers*, 251, 116986.

Ruan, X., Yin, J., Cui, X., Li, N., & Shen, D. (2020). Bioaugmentation and quorum sensing disruption as solutions to increase nitrate removal in sequencing batch reactors treating nitrate-rich wastewater. *Journal of Environmental Sciences*, 98, 179–185.

Shan, X., Guo, H., Ma, F., & Shan, Z. (2023). Enhanced treatment of synthetic wastewater by bioaugmentation with a constructed consortium. *Chemosphere*, 338, 139520.

Standard Methods Committee of the American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation. 5220 chemical oxygen demand (cod) In: *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater*. Lipps WC, Baxter TE, Braun-Howland E, editors. Washington DC: APHA Press.

Thompson, I. P., van der Gast, C. J., Ciric, L., & Singer, A. C. (2005). Bioaugmentation for

bioremediation: the challenge of strain selection. *Environmental Microbiology*, 7(7), 909–915.

Zhang, Q.-Q., & Jin, R.-C. (2015). The application of low-intensity ultrasound irradiation in biological wastewater treatment: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 45(24), 2728–2761.

Zhang, Q.-Q., Yang, G.-F., Zhang, L., Zhang, Z.-Z., Tian, G.-M., & Jin, R.-C. (2017). Bioaugmentation as a useful strategy for performance enhancement in biological wastewater treatment undergoing different stresses: Application and mechanisms. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 47(19), 1877–1899.