

# Generación de biocombustible en un proceso de biofiltración anaerobia durante el tratamiento de vinazas de mezcal

Juan Manuel Vigueras Cortés<sup>1</sup>, Luis Antonio Uribe Ordóñez<sup>1</sup>, Marco Antonio Garzón Zúñiga<sup>1</sup>, Luis Ordaz Díaz<sup>2</sup>, María Dolores Josefina Rodríguez Rosales<sup>3</sup> y Miriam Mireles Morones Esquivel<sup>4</sup>

1Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional unidad Durango. IPN CIIDIR DURANGO.

2Universidad Politécnica de Durango.

3TecNM - Instituto Tecnológico de Durango.

4Facultad de Ciencias Químicas de la UJED.

**E**l mezcal es un producto exportable que ha cobrado importancia en México, con una producción cercana de ocho millones de litros por año. En Durango, en los dos últimos años alcanzó 600 000 L/año, sin considerar el consumo local. Durante el proceso de producción se generan desechos sólidos y líquidos. Las aguas residuales industriales que se generan de la producción de bebidas alcohólicas como vino, brandy, tequila y mezcal, principalmente, se conocen como vinazas. En el caso del mezcal por cada litro producido genera hasta 15 L de vinazas y se caracterizan por alto contenido de materia orgánica con más de 120 g/L de DQO, 30 a 50 g/L DBO5, temperatura >90°C, pH de 3 a 4 unidades y otra cantidad importante de contaminantes refractarios. Sus descargas al suelo y cuerpos de agua producen efectos adversos severos.

El equipo de trabajo cuyos miembros pertenecen a la Red

del Agua del Estado de Durango (RAED) se vinculó para lograr los objetivos del proyecto a evaluar en dos etapas, la primera para determinar el acondicionamiento de la biopelícula y en la segunda etapa la remoción de la materia orgánica durante la generación de biocombustible a partir de una mezcla de vinaza-agua residual anaerobia, a temperatura mesofílica con al menos una carga hidráulica superficial mediante el proceso de biofiltración empleando empaque orgánico e inorgánico.

En la primera etapa se construyeron dos biofiltros (BF) con material de PVC de 15 cm de diámetro con 1.0 m de altura. El primer biofiltro anaerobio está empacado con una columna de 80% de capacidad con astilla de encino (BS) y el segundo con la misma altura de la columna compuesta en parte proporcional con astilla de encino y roca volcánica de tezontle (BM) (Figura 1). Antes del arranque de los BF se realizaron pruebas hidráulicas de

hermeticidad y pruebas de porosidad. El biofiltro anaerobio con material orgánico e inorgánico (BM) alcanzó 82% porosidad mientras que el biofiltro con astilla de encino (BS) obtuvo 84%. Estos valores son similares al reportado por Sosa Hernández et al, (2016) quienes encontraron 84% en astillas de mezquite, lo que favorece al proceso de biofiltración respecto a problemas de inundación o colmatación, ya que un biofiltro para que no presente asolvamiento interno deberá tener más del 70% de porosidad. Para alcanzar y mantener la temperatura óptima de un proceso anaerobio (35°C), se construyó una cabina de control con una fuente de calentamiento con una parrilla eléctrica y se acopló un relevador de corriente eléctrica a un controlador digital de temperatura. Estas características en materiales orgánicos son muy importantes porque permite construir biofiltros con alturas de hasta tres metros y por su porosidad son muy difícil que se azolven.



Figura 1. Biofiltros anaerobios en una cabina con control de temperatura.

La densidad aparente es relativamente baja lo que permite que sea fácilmente manejable durante el empacado de los biofiltros. Esta cualidad permitirá que al escalar el proceso de tratamiento de vinazas sean fácilmente manejables y biodisponibles sin afectar su aprovechamiento, ya que su existencia no tiene restricción ecológica normativa.

Estas características físicas obtenidas en este trabajo compiten con las de los materiales plásticos sintéticos por lo que se convierte en un material innovador para remover materia orgánica de aguas residuales y generación de biocombustible, además de ser económico y sustentable.



Figura 2. Determinación de densidad aparente y área de contacto del material filtrante.

- a) Astilla de encino
- b) Tezontle
- c) Astilla de encino
- d) tezontle

Los resultados en la primera etapa, el acondicionamiento de la biopelícula es similar a la que se lleva en cualquier planta biológica de tratamiento de aguas residuales. En este caso el éxito de la formación de la biopelícula se alcanzó a los 57 y 69 días para el BM y BS, con una eficiencia de remoción de la DQO de 68 y 73%, respectivamente. El obtener crecimiento de la biopelícula con los materiales filtrantes propuestos garantizaron la continuidad de la investigación para el logro de remoción de los contaminantes y producción de biocombustible.

En la segunda etapa se evaluó la remoción de la materia orgánica medida por la remoción de la demanda química de oxígeno a una carga hidráulica superficial de  $0.34 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$ , encontrando valores muy interesantes respecto de otros resultados en las referencias. Las concentraciones finales de la DQO fueron de  $445 \pm 132$  y  $297 \pm 186 \text{ mg/L}$  para los BM y BS, respectivamente. Las eficiencias alcanzadas son de 91 y 94% de remoción eficiencia promedio para ambos biofiltros. Estas eficiencias son elevadas comparadas con las obtenidas por Gomez de Barros et al (2016), quienes removieron 82% en el tratamiento anaerobio de vinazas empleando un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB, por sus siglas en inglés).

Respecto a la producción de biocombustible, esta se detectó su presencia a los 7 meses y se implementó un método convencional para la medición que consistió en medir el desplazamiento de agua de un primer matraz a un segundo recipiente, alcanzando máximos volúmenes entre 690 a 1350 mL/día para el BM y 470 a 825 mL/día para el BS. Para la medición cuantitativa del biogás se diseñó y construyó un sistema de detección de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  para cada biofiltro, empleando una plataforma de hardware y software Arduino, así como sensores compatibles que incluyeron el sensor MQ-135 para  $\text{CO}_2$  y el MQ-4 para  $\text{CH}_4$ . Se incluyó un módulo de memoria microSD compatible con Arduino para almacenar los datos generados por los sensores a una frecuencia de tiempo. Las conexiones se realizaron utilizando cables Dupont Macho-Hembra y Macho-Macho. Todo lo anterior se programó utilizando el programa Arduino IDE que basa su programación en lenguaje C.

Finalmente, se cuantificó la producción máxima promedio de biogás de 3.5 L/h con una concentración promedio de  $43\,394 \pm 8\,008$  ppm de  $\text{CH}_4$  y  $7\,290 \pm 2\,169$  ppm de  $\text{CO}_2$ , que equivale a 85 y 15% de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  en la mezcla del biogás para el BM. En el BS, se obtuvo  $11\,024 \pm 2\,483$  ppm de  $\text{CH}_4$  y  $1\,611 \pm 221$  ppm de  $\text{CO}_2$ , que equivale a 87 y 13% de  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ , respectivamente.

Se concluye que el material de empaque orgánico tiene características físicas que compiten con materiales plásticos sintéticos lo que lo convierte en un material innovador para remover materia orgánica de aguas residuales de tipo industrial. En el proceso de biofiltración anaerobia a temperatura controlada mesofílica empleando material orgánico como astilla de encino e inorgánico (tezontle) permite el acondicionamiento de la biopelícula y ésta es capaz de generar biocombustible después de los siete meses de arrancado el proceso con un rendimiento considerable con potencialidad de que con estudios de escalamiento seguramente se podrá obtener el biocombustible para aplicarse en el proceso de producción de mezcal artesanal a partir de residuos que hasta el momento no han sido revalorizados.

## Referencias

- COMERCAM, 2018. Consejo Mexicano Regulador del Mezcal. Informe estadístico 2018. [http://www.crm.org.mx/PDF/INF\\_ACTIVIDADES/INFORME2018.pdf](http://www.crm.org.mx/PDF/INF_ACTIVIDADES/INFORME2018.pdf)
- Díaz, M., Madejon, E., López, F., López, R., Cabrera, F., (2002). Optimization of the rate vinasse/ grape mare for co-composting process. *Process Biochemistry*. 37, 1143-1150.
- Garzón-Zúñiga, M., Tomasini-Ortíz, A., Moeller-Chávez, G., Hornelas-Urbe, Y., Buelna, G., & Mijaylova-Nacheva, P. (2008). Enhanced pathogen removal in on-site biofiltration systems over organic filtration materials. *Water Practice and Technology*, 31.
- Gomes de Barros V., Duda R.M. and Alves de Oliveira R. (2016). Biomethane production from vinasse in upflow anaerobic sludge blanket reactors inoculated with granular sludge. *Brazilian journal of Microbiology* 47:628-639
- Méndez, H., Snell, R., Alcaraz, V., & González, V. (2010). Anaerobic treatment of tequila vinasses in a CSTR-type digester. *Biodegradation*, 357-363.
- Raviv, M., Wallach, R., Silber, A., & Bar-Tal, A. (2002). Substrates and their analysis. En *Hydroponic production of vegetable and ornamental*. (pág. 49). Athens, Greece: Embryo publications.
- Ramírez-López, E., Corona-Hernández, J., Avelar-Gonzalez, F., & Omil, F. (2010). Biofiltration of methanol in an organic biofilter using peanut shells as medium. *Bioresource Technology*, 87-91.
- Ramos Vaquerizo F. (2018) Tesis: "Generación de biogás mediante un biorreactor EGSB a partir vinazas. Facultad de Ingeniería UCACH.
- Sosa-Hernández, D.B., Viguera-Cortés, J.M., y Holguín, E. (2014). La biofiltración: Una alternativa sustentable para el tratamiento de aguas residuales. . *Vidsupra: visión científica*, 56-60.
- Sosa-Hernández, D., Viguera-Cortés, J. & Garzón-Zúñiga, M. (2015). Uso de astillas de madera de mezquite (prosopis) en un sistema de biofiltros para tratar aguas residuales municipales. Tesis para obtener el grado de maestra en ciencias en gestión ambiental, CIIDIR-IPN, Unidad Durango., 41.
- Yu.H.Q., Zhao Q.B. and Tang Y. (2006) Anaerobic treatment of winery wastewater reusing laboratory-scale multi and single fed filters at ambient temperatures. *Process. Biochem.* 41(12): 2477- 2481.
- Velarde Santos M.L., Ventura Ramos E.J., Rodríguez Morales J.A. and Hensel O. (2019). Inoculum adaptation for the anaerobic digestion of mezcal vinasses. (Adaptación de inóculo para la digestión anaerobia de las vinazas del mezcal). *Rev. Int. Contam. Ambie.* 35 (2) 447-458. DOI: 10.20937/RICA.2019.35.02.15
- Viguera-Cortés, J., Villanueva-Fierro, I., Garzón-Zúñiga, M., Nívar-Cháidez, J., Chaires-Hernández, I., & Hernández-Rodríguez, C. (2013). Performance of a biofilter system with agave fiber filter media for municipal wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 599-607.