

Tratamiento de vinazas de mezcal: revisión de procesos y propuesta de tren de tratamiento

Mezcal vinasses treatment: A review of assessed processes and a new treatment proposal

¹Sergio Alberto Díaz Barajas, ²Marco Antonio Garzón Zúñiga, ³Iván Moreno Andrade.

Laboratorio de Investigación, Evaluación y Desarrollo de Tecnología del Agua. Instituto Politécnico Nacional. CIIDIR, Unidad Durango. Calle Sigma 119, 20 de noviembre II, 34220 Durango, México. Laboratorio de Investigación de Procesos Avanzados para el Tratamiento de Aguas. Unidad Académica Juriquilla, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, Blvd. Juriquilla 3001, 76230 Querétaro, México.

RESUMEN. El mezcal es una bebida alcohólica elaborada en México a partir de plantas de agave, que ha adquirido mayor relevancia en los últimos 10 años. Sin embargo, su elaboración trae consigo la generación de “vinazas”, que son aguas residuales complejas con una elevada concentración de materia orgánica y bajo pH, cuya disposición sin tratamiento al medio ambiente representa un peligro para cuerpos de agua y suelo. Debido a lo anterior, en la última década se han presentado las primeras investigaciones enfocadas en el tratamiento de estos residuos, explorando sistemas biológicos y fisicoquímicos. El presente trabajo busca brindar un panorama del actual desarrollo tecnológico en el tratamiento de vinazas de mezcal e identificar los sistemas de mayor potencial para su uso a escala industrial.

ABSTRACT. Mezcal is an alcoholic beverage made in Mexico from agave plants, which has acquired greater relevance in the last 10 years. However, its production entails the generation of "vinasse", which are complex wastewater with a high concentration of organic matter and low pH, whose disposal without treatment to the environment represents a danger to bodies of water and soil. Therefore, in the last decade the first investigations focused on the treatment of these wastes have been presented, exploring biological and physicochemical systems. This study seeks to provide an overview of current technological development in the treatment of mezcal vinasses and identify the systems with the greatest potential for use on an industrial scale.

Palabras clave: Sistema de tratamiento híbrido, revalorización de desechos líquidos, vinazas de mezcal.

Key words: Hybrid treatment system, Mezcal vinasses, revalorization of liquid waste.

INTRODUCCIÓN.

El mezcal es una bebida alcohólica elaborada México con una producción de 7,145,039 L en el año 2019 (CRM, 2020). Sin embargo, su elaboración trae consigo la generación de “vinazas”, que son aguas residuales altamente contaminantes, generadas en la producción de diferentes bebidas alcohólicas (Robles-González *et al.*, 2012). Las vinazas de mezcal presentan elevadas concentraciones de materia orgánica (DBO₅: 22,500–35,000 mg/L y DQO: 35,000–122,000 mg/L), conductividad eléctrica (2.6-5.81 mS/cm), fenoles (58-542

mg/L), sólidos totales (45,000-96,000 mg/L), acidez (pH 3.5-3.94) y una temperatura de descarga elevada (70 a 90 °C) (Robles-González *et al.*, 2012; Retes-Pruneda 2014; Gómez-Guerrero *et al.*, 2014). Es por esto que su disposición sin tratamiento puede deteriorar la estructura del suelo, aumentando su fitotoxicidad, reduciendo su porosidad e inhibiendo la capacidad de germinación de semillas; y cuando son descargadas en cuerpos de agua, su elevada concentración de materia orgánica (MO) y nutrientes provoca que se eutrofice el agua, además que su elevada temperatura de descarga y acidez generan un ambiente hostil para la reproducción de diversos organismos (Mostafa *et al.*, 2019). Sin embargo, esta industria ha tenido mayor aceptación y difusión en la última década, lo que se refleja en la publicación de nuevos estudios, principalmente a nivel laboratorio, enfocados en el tratamiento de sus vinazas (Robles-González *et al.*, 2018; Retes-Pruneda, 2014; Villalobos-Castillejos, 2009). Entre las tecnologías evaluadas se encuentran tratamientos fisicoquímicos, biológicos y combinaciones de ambos (Robles-González *et al.*, 2018; Retes-Pruneda., 2014; Villalobos-Castillejos, 2009). El presente trabajo tiene por objetivo brindar un panorama de la situación actual del desarrollo tecnológico del tratamiento de vinazas de mezcal e identificar opciones de tratamiento a escala real que sean sostenibles y sustentables; y por lo tanto acordes con el contexto sociocultural y económico de esta industria.

TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS DE VINAZAS DE MEZCAL

Lodos activados. Un proceso de lodos activados aprovecha el uso de microorganismos en condiciones aerobias para la degradación de la MO en aguas residuales (Varila-Quiroga y Díaz-López, 2008). Este tipo de proceso ha sido evaluado por Robles-González *et al.* (2018) para el tratamiento de vinazas de mezcal (24,263 mg DQO/L) a nivel laboratorio, operando con una aireación de 3 L/min a 23 °C y con un pH de 7, alcanzando una eficiencia promedio de remoción de MO del 69.6±1.3%

Tratamiento fúngico. Retes-Pruneda (2014) estudió en laboratorio la capacidad de dos especies de hongos ligninolíticos (HL), *Trametes troggi* y *Pleurotus ostreatus*, para remover MO en vinazas de mezcal (DQO: 31,500 mg/L; DBO₅: 19,182mg/L) aprovechando el mecanismo de degradación enzimático de estos organismos. Se alcanzaron eficiencias de remoción con *T. troggi* de 62.6±4.6% en DBO₅ y 67.9±0.4% de la DQO; y con *P. ostreatus* 61.4±4.4% en DBO₅ y 67.3±1.01% de DQO.

Tratamiento Anaerobio. La digestión anaerobia (DA) es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases conocida como “biogás” (metano 50-70% y dióxido de carbono 50-30%). Villalobos-Castillejos (2009) estudió un tratamiento anaerobio para la remoción de MO en vinazas de mezcal a nivel de laboratorio, usando como inóculo biomasa del sistema de lodos activados de tratamiento de aguas residuales de una universidad, operando con un TRH de 25 días. Al tratar vinazas al 10 % (952 mg DQO/L) se alcanzó una eficiencia de remoción promedio de MO del 81±1 %. Sin embargo, al aumentar la concentración de vinazas al 40 % (2,272 mg DQO/L), se removió únicamente el 9% de la DQO. Aunque en este trabajo fue posible obtener una eficiencia de remoción de MO superior al 80%, fue necesario diluir la DQO de entrada considerablemente para alcanzar estos valores, además de aplicar un prolongado TRH. Es probable que la disminución en la

eficiencia de remoción de la MO se deba a la selección de un inóculo proveniente de un proceso aerobio en vez de uno anaerobio, así como a la presencia de compuestos recalcitrantes propios de la vinaza mezcalera, que pueden disminuir la actividad microbiana y a la falta de una estrategia de aclimatación que permitiera a la biomasa adaptarse a aprovechar este sustrato sin ser inhibida.

TRATAMIENTOS FISICOQUÍMICOS DE VINAZAS DE MEZCAL.

Floculación con alginatos. Los alginatos son polímeros orgánicos que se pueden obtener de diversas especies de algas marinas los cuales son utilizados como floculantes, debido a su capacidad para retener metales e inmovilizar células y biomoléculas en medios líquidos. Retes-Pruneda (2014) evaluó el uso del alginato de sodio (3 g/L) como floculante para el tratamiento de vinazas de mezcal (42,000 mg DQO /L y 25,576 DBO₅ mg/L) a nivel laboratorio, operando a pH 9, 30°C y TRH de 5 minutos, obteniendo eficiencias de remoción de MO del 21.6% (DBO₅) y 39% (DQO).

Ozonación. El ozono es usado para el tratamiento de aguas residuales debido a su capacidad oxidante, que permite romper la estructura de biomoléculas complejas en estructuras más sencillas incrementando su biodegradabilidad, removiendo compuestos recalcitrantes como los fenoles presentes en las vinazas (Muñoz y Orta, 2012). Esta tecnología ha sido estudiada a nivel laboratorio por Robles-González *et al.* (2018) para tratar vinazas de mezcal (42,000 mg DQO/L) con un flujo de ozono de 50 mL/s, flujo másico de 0.5 g ozono/h y TRH de 120 minutos. Bajo estas condiciones se obtuvieron eficiencias de remoción de MO (DQO) del 10.8±0.2%, fenoles 83.8±0.6% y compuestos aromáticos 31.4±1%. La ozonación en este tipo de vinazas presentó una eficiencia de remoción de MO relativamente baja comparada con la alcanzada por métodos biológicos (cercana al 80%). Sin embargo, lo más destacable de este tipo de tratamiento es la capacidad de remover 83.8±0.6% de fenoles, compuestos que en elevadas concentraciones pueden inhibir la actividad microbiana.

TRATAMIENTOS COMBINADOS DE VINAZAS DE MEZCAL.

Hasta el momento los estudios reportados enfocados en la combinación de tecnologías para mejorar el tratamiento de vinazas mezcaleras son escasos.

Floculación con tratamiento fúngico. Retes-Pruneda (2014), evaluó un sistema combinado de floculación con alginato de sodio, seguido por un tratamiento biológico con HL (*T. troggi* y *P. ostreatus*). Con *T. troggi* se obtuvieron eficiencias de remoción de materia orgánica del 82.8% (DBO₅) y 92.5% (DQO) y con *P. ostreatus* 80% (DBO₅) y 91.4% (DQO). Sin embargo, es importante mencionar que el alginato de sodio utilizado en este trabajo es un reactivo comercial, cuyo uso a gran escala puede ser poco redituable sí incrementa sustancialmente los costos de operación (Retes-Pruneda, 2014).

Ozonación con lodos activados. Robles-González *et al.* (2018) evaluaron un sistema combinado formado por un tratamiento fisicoquímico de ozonación y un tratamiento biológico de lodos activados para el tratamiento de vinazas de mezcal (42,000 mg DQO/L).

Con este tren de tratamiento fue posible remover el 85% de la DQO, 83% de fenoles y 32% de compuestos aromáticos. La eficiencia de remoción de DQO alcanzada en este tren de tratamiento es similar a la lograda por otras tecnologías como la digestión anaerobia, donde no se incluyen tratamientos complementarios (Villalobos-Castillejos. 2009), pero con la ventaja de poder remover compuestos tóxicos y recalcitrantes.

CONCLUSIONES.

Se ha encontrado poca información en la bibliografía referente al tratamiento de vinazas de mezcal, la cual se enfoca principalmente en estudios a nivel de laboratorio de tratamientos biológicos, fisicoquímicos y sistemas de tratamiento híbridos. De estos tratamientos los que presentan resultados más alentadores para su aplicación a gran escala son: El tratamiento anaerobio, que tiene elevadas eficiencias de remoción de materia orgánica, además de poder generar biogás con potencial como combustible; La ozonación, como un pretratamiento combinada con un proceso biológico que permite remover eficazmente contaminantes tóxicos y recalcitrantes, como fenoles. Sin embargo, a pesar del notable avance, estos estudios pueden ser considerados como los primeros esfuerzos en el desarrollo de sistemas de tratamiento aplicables a la industria del mezcal, por lo que hace falta realizar muchas más investigaciones, y a una escala, que permitan validar los resultados para su aplicación en sistemas de tratamiento a escala real.

BIBLIOGRAFÍA

- Consejo Regulador del Mezcal. (2020); Informe estadístico 2020.
- Gómez-Guerrero, A.V., Caballero-Caballero, M., Hernández-Gómez, L.H., (2014); Producción de biogás a partir de bagazo y vinaza del *Agave. angustifolia* haw generada como residuo en la elaboración de mezcal. Tesis de maestría. Centro Interdisciplinario De Investigación Para El Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca.
- Mostafa, P., Mostafa, K.D.K., Keikhosro, K. (2019); A review of biogas production from sugarcane vinasse. *Biomass and Bioenergy*. Vol 122. Pp 117–125.
- Muñoz F. & Orta M.T., 2012. Efecto del ozono en la remoción de materia orgánica disuelta de un efluente secundario. *Revista EIA*. Vol 9. No 18. Pp 171-178.
- Retes-Pruneda, J.L., Jáuregui-Rincón, J., Lozano-Álvarez, J.A., (2014); Biorremediación de vinazas de la industria tequilera y mezcalera mediante tratamiento fisicoquímico y biológico. Universidad autónoma de Aguascalientes.
- Robles-González, V.S., Galíndez-Mayer, J., Rinderknecht-Seijas, N., Poggi-Valardo, H., N., (2012); Treatment of mezcal vinasses: A review. *Journal of Biotechnology*. Vol 157. No 4. Pp 524–546.
- Robles-González, V.S., Poggi-Valardo, H., Galíndez-Mayer, J., Ruíz-Ordaz, N., (2018); Combined Treatment of Mezcal Vinasses by Ozonation and Activated Sludge. *Water Environment Research*. Vol 90. Pp 1985-1996.
- Varila-Quiroga J.A., Díaz-López., F.A. (2008); Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Journal of Technology*. Vol 7. No 2. Pp 21-28.
- Villalobos-Castillejos, F., Robles-González, V.S., Poggi-Valardo, H., (2009); Disminución de la materia orgánica biodegradable presente en vinazas mezcaleras mediante digestión anaerobia. Universidad Tecnológica de la Mixteca.