

Uso de una celda de combustible microbiana para la producción de energía a partir de agua residual de una industria de suministro para sector alimenticio

Kimberly Elizabeth Castañeda-Martínez, Miguel Mauricio Aguilera-Flores, Verónica Ávila-Vázquez *

Instituto Politécnico Nacional – Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Zacatecas. Blvd. del Bote 202 Cerro del Gato Ejido La Escondida, Col. Ciudad Administrativa 98160 Zacatecas, Zac., México. Phone. 01-492-92-42-419

* Corresponding author: vav_taba@hotmail.com

Energías renovables (Celdas de combustible microbianas).

Resumen: Las Celdas de Combustible Microbianas son un tipo de tecnología atractiva e innovadora de la cual se obtienen sobre todo dos beneficios destacables, como lo es la reducción de emisiones de CO₂ con lo cual se contribuye a mitigar los efectos sobre el cambio climático, así como el tratamiento de aguas residuales, ya que es posible la degradación de contaminantes presentes en estas, mediante la acción de microorganismos, tales como la materia orgánica, la cual se presenta en altas concentraciones en las aguas residuales industriales. En el presente trabajo se utilizó agua residual de una industria de suministro para sector alimenticio como sustrato, y lodos anaerobios como inóculo en una CCM de cámara simple y ánodo sumergido, con capacidad de 170 ml. Se realizaron pruebas preliminares para conocer el ciclo de degradación de materia orgánica y caracterización electroquímica incluyendo voltamperometría lineal y cronoamperometría con la finalidad de evaluar la eficiencia en la generación de energía mediante ésta CCM. Como resultados se tiene un potencial máximo a circuito abierto de 815 mV a las 66 horas, en un ciclo de 10 días, además se obtuvo una DP_{max} de 8.43 mW m⁻² y una i_{max} de 25.39 mA m⁻² y de acuerdo con la prueba de cronoamperometría se tiene una estabilidad favorable en la CCM. Lo que demuestra que la CCM permite la generación de energía eléctrica a partir de este tipo de agua residual, siendo una alternativa con múltiples beneficios ambientales, económicos y sociales para la producción de energía renovable, así como para el tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave: Agua residual; Contaminación ambiental; Energía renovable; CCM.

Use microbial fuel cell for energy production from wastewater from a food supply industry

Abstract: Microbial Fuel Cells are an attractive and innovative type of technology from which two outstanding benefits are obtained, such as the reduction of CO₂ emissions contributing to the mitigation of the effects of climate change. As well as the treatment of wastewater, since it is possible the degradation of pollutants present in these, through the action of microorganisms, among these pollutants is the organic matter, which is present in high concentrations in industrial wastewater. In the present work, wastewater from a food supply industry was used as a substrate, and anaerobic sludge as inoculum in a single-chamber MFC with a submerged anode, with a capacity of 170 ml. Preliminary tests were carried out to determine the degradation cycle of the organic matter and an electrochemical characterization including linear voltammetry and chronoamperometry to evaluate the efficiency in the generation of energy through this MFC. The results show a maximum open circuit potential of 815 mV at 66 hours, in a 10-day cycle, likewise, the MFC presented a DP_{max} of 8.43 mW m⁻² and i_{max} of 25.39 mA m⁻², and according to the chronoamperometry test, there is good stability in the MFC. The above shows that the MCC, under the conditions analyzed, allows the generation of electricity from wastewater from industry to supply the food sector, so it is presented as an attractive alternative for the production of renewable energy, as well as for the treatment of wastewater, obtaining various environmental, economic and social benefits.

Keywords: Environmental contamination; MFC; Renewable energy; Wastewater.

Introducción.

La energía representa dos tercios del total de gases de efecto invernadero (IEA, 2020) y México tiene un sector eléctrico de rápido crecimiento, con una demanda que aumenta en promedio 1.6% por año desde 2000 (IEA, 2021). Por ello, la transición a un sector bajo en carbono dejando atrás la energía proveniente de combustibles fósiles es uno de los temas más relevantes en la actualidad, de manera que se trabaje en la reducción de gases de efecto invernadero, específicamente las emisiones de CO₂, para reducir el impacto sobre el cambio climático. Para el año 2020, a nivel mundial se tiene una capacidad total instalada de 2,799,094 MW de energías renovables (IRENA, 2021), el desarrollo de estas tiene el potencial para reducir en un 90% las emisiones de CO₂ (IRENA, 2020).

Dada la problemática abarcada anteriormente y la necesidad de implementar energías renovables, surgen nuevas alternativas como es el caso de las Celdas de Combustible Microbianas, se trata de dispositivos bioelectroquímicos, que mediante reacciones electroquímicas catalizadas por microorganismos denominados exoelectrógenos (Obileke *et*

al., 2021) se transforma la energía química contenida en un sustrato a energía eléctrica, ya que estos microorganismos tienen la capacidad de oxidar el sustrato para producir protones y electrones, de manera que estos son conducidos por un circuito externo siendo aprovechados y reduciéndose con el oxígeno del aire en el cátodo para formar agua (Revelo *et al.*, 2013).

Otra de las problemáticas en la actualidad es la disponibilidad de agua y con ello el tratamiento de aguas residuales, dadas las dificultades de operación y mantenimiento y altos costos que se presentan en los procesos tradicionales, específicamente las aguas residuales industriales contienen diversos contaminantes como grasas, aceites, lubricantes o solventes, así como un alto contenido de materia orgánica, por lo que la bioconversión de esta por medio de CCM se ha convertido en un atractivo tema de interés, pues con ello se da solución a dos conflictos importantes, como lo es la reducción de emisiones de CO₂ y el tratamiento de agua residual.

Existe evidencia de estudios de tratamiento de aguas residuales industriales ricas en materia orgánica. Sahu (2019) empleó aguas residuales de la industria azucarera, cervecera y láctea en CCM considerando distintos materiales, obteniendo una Densidad de Potencia máxima (DP_{max}) de 5.1 mW m⁻² y una remoción del 51% de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), Mohamed *et al.* (2017) reportan un 60% de remoción de DQO para agua residual industrial en una CCM de un cámara con un cátodo de aire y un ánodo de carbón activado. De igual manera, Zhuang *et al.* (2012) llevaron a cabo una pila de CCM de tipo serpentín de 10 litros mediante 40 unidades de tipo contacto aire cátodo tubulares (PVC) con electrodos de fieltro de grafito, alimentada con agua residual cervecera, logrando una eficiencia en la eliminación de DQO del 85% y una tensión de circuito abierto de 23 V, así como una DP_{max} de 4.1 W m⁻³ (en 0.7 A m⁻³).

Si bien la aplicación de CCM a escala industria aún se encuentra en etapa temprana, se cuenta con una gran diversidad de estudios a escala piloto, siendo un área de oportunidad muy amplia, para hacer de esta un proceso más eficiente, desde los materiales (haciéndolos más económicos), o desde la operación (para el tratamiento de residuos paralelo a la generación de energía) buscando llegar a la integración de ésta a escala industrial, e incluso utilizarla en lugares remotos de consumo básico de energía eléctrica. Por lo que se posiciona como una alternativa viable para lograr la generación de energía eléctrica aprovechando la alta carga orgánica presente en estas aguas residuales.

Este estudio tiene como finalidad evaluar la eficiencia en la generación de energía eléctrica a partir de agua residual de una industria de suministro para sector de alimentos y bebidas empleando una celda de combustible microbiana de una cámara. Los resultados indican que la CCM puede ser una alternativa prometedora, sin embargo, hay etapas de escalamiento que aún requieren análisis para su aplicación.

Materiales y Métodos

Construcción de la CCM

Se utilizó una celda de cámara simple de ánodo sumergido y cátodo expuesto al aire. La CCM consiste en un cilindro de acrílico con una capacidad de 170 ml, como ánodo se utilizó fieltro de carbón (3 x 10.6 cm) y como cátodo se empleó tela de carbón impregnada con 0.5 g cm⁻² de platino, estos separados por una membrana de intercambio protónico de Nafion, además se utilizó malla de acero inoxidable como colector de corriente tanto en el ánodo como en el cátodo.

Ánodo

Se realizó un pretratamiento al ánodo con el fin de aumentar el área superficial, este consistió en sumergir el fieltro de carbón en una mezcla 1:1 de HNO₃ 16 mol L⁻¹ y H₂O₂ 8.8 mol L⁻¹ bajo sonicación durante 0.5 h y se secó en una mufla a 480°C durante 3 horas, posteriormente se realizó un lavado con agua desionizada hasta neutralizar el pH y se dejó secar.

Sustrato e inóculo

Como inóculo se utilizaron 17 ml (10% de la capacidad de la celda) de lodos anaerobios y como sustrato se utilizó agua residual de una industria de suministro al sector alimenticio, a un pH de 7 (propio de la muestra) y una temperatura de 35°C para favorecer la activación de los microorganismos.

Prueba preliminar

Se monitoreó el ciclo de degradación del agua residual a través de la medición del voltaje a circuito abierto cada 6 horas durante 10 días hasta observar una caída del voltaje, es decir, el término del ciclo.

Voltamperometría lineal

Se utilizó el equipo Versa STAT 3 para realizar la técnica, el electrodo de trabajo se conectó al cátodo y el electrodo de referencia y el contraelectrodo se conectaron puenteados al ánodo. Se realizó un barrido de potencial de voltaje a circuito abierto a 0.05 V a una velocidad de 0.001 V s⁻¹.

Cronoamperometría

Utilizando el equipo Versa STAT 3 se invirtió la posición de los electrodos, el electrodo de trabajo se conectó al ánodo, mientras que el electrodo de referencia y el contraelectrodo se conectaron puenteados al cátodo. Se tomó como referencia un voltaje de 0.54 mV durante el análisis con una duración de 900 s.

Resultados y Discusión

Ciclo de degradación de materia orgánica

En la Figura 1 a) se presenta el ciclo de degradación de materia orgánica presente en el agua residual industrial, el cual tuvo una duración de 10 días, tiempo durante el que se midió el voltaje a circuito abierto. El crecimiento bacteriano se desarrolla en 4 fases (López, 2016) como se muestra en la Figura 1b). Comparando ambas figuras, la primera fase, denominada “lag” se logra observar dentro de las primeras 12 horas, un tiempo muy corto de adaptación por parte de los microorganismos, mientras que la fase exponencial se da entre las 12 y las 66 horas, siendo en este tiempo que se alcanzó el E_{max} de 815 mV, y hasta las 90 horas se permaneció en fase estacionaria. Finalmente se dio una muerte celular hasta llegar a las 234 horas cuando la materia orgánica fue degradada por los microorganismos.

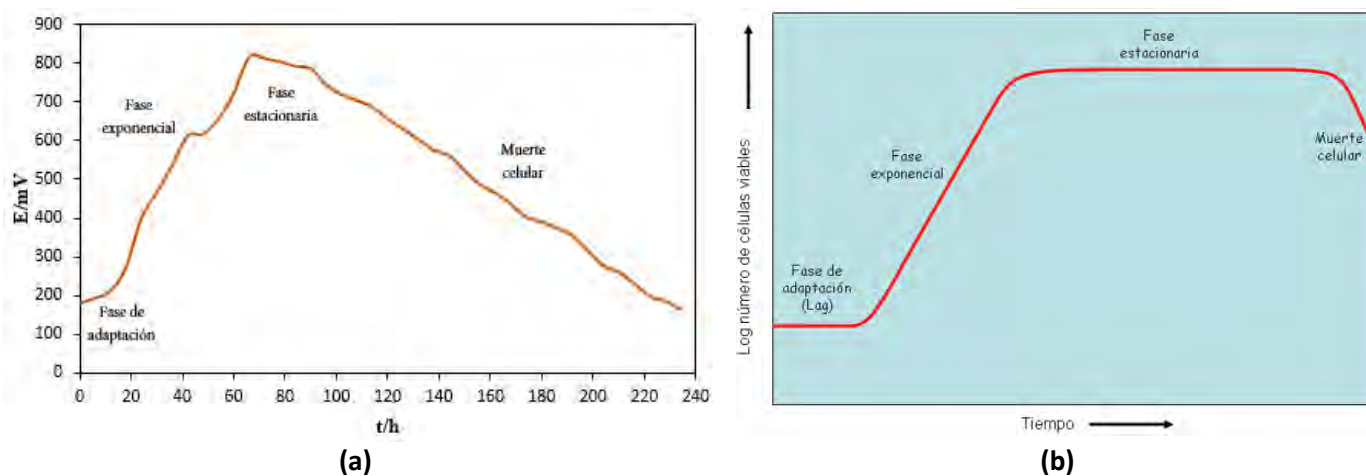


Figura 1. (a) Voltaje a circuito abierto de la CCM. (b) Curva de crecimiento bacteriano. (López, 2016).

Curva de polarización y de potencia de la CCM

En la Figura 2 se muestra la curva de polarización de la CCM con agua residual industrial. Es posible observar que la celda comienza en potencial de 699 mV, obteniendo una i_{max} de 25.39 mA m⁻² a una DP_{max} de 8.43 mW m⁻². Se observa que la curva de potencia tiene forma de campana, lo que indica altas resistencias óhmicas, autores señalan que las CCM que presentan forma simétrica de campana tienen un desempeño ineficiente, la potencia máxima es alcanzada antes de que se consuma eficientemente el sustrato. (Rabaey et al., 2010).

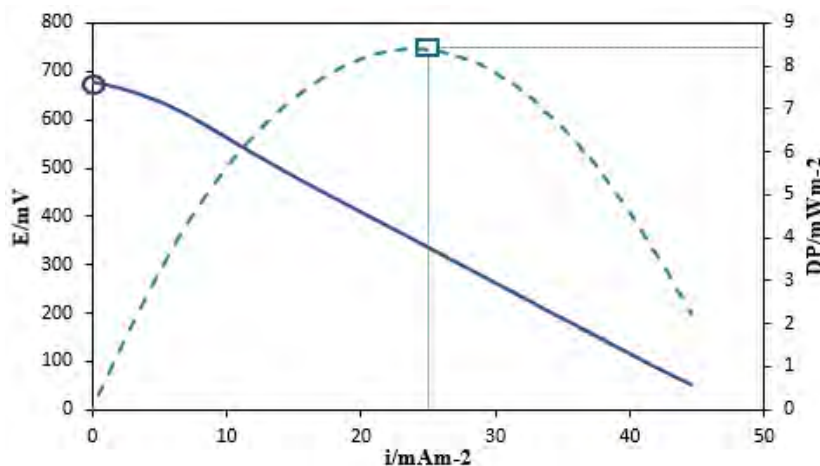


Figura 2. Curva de polarización de la CCM.

Curvas de estabilidad

En la Figura 3 se presenta la curva de estabilidad asociada al desempeño que brinda la CCM durante un tiempo determinado, se fijó, un voltaje de 540 mV, partiendo de una corriente inicial de 0.74 mA hasta estabilizarse en 0.45 mA, lo que implica que la celda decae respecto a la densidad de corriente máxima obtenida en la curva de potencia posiblemente asociado al estrés generado a los microorganismos durante la caracterización.

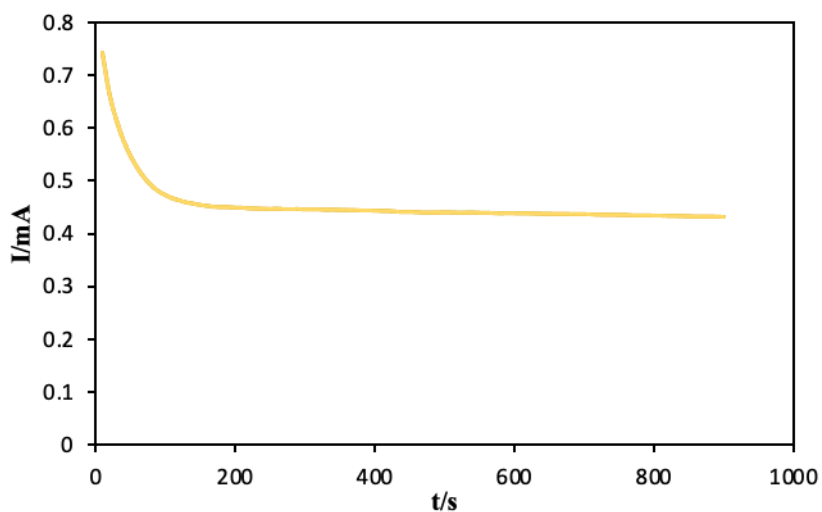


Figura 3. Curva de estabilidad de la CCM.

Investigaciones a futuro

En el presente estudio se pretende la caracterización electroquímica completa de las CCM, añadiendo Espectroscopía de impedancia electroquímica, así como una caracterización fisicoquímica del agua residual para evaluar la degradación de materia orgánica en el agua residual.

Conclusiones

La CCM a partir de agua residual de una industria de suministro para el sector alimenticio con una capacidad de 170 ml, presentó E_{\max} a circuito abierto de 815 mV a las 66 horas, teniendo un ciclo de degradación de 10 días. De igual manera, se obtuvo una DP_{\max} 8.43 mW m⁻² y una i_{\max} 25.39 mA m⁻². De acuerdo con la prueba de cronoamperometría se tiene una estabilidad favorable en la CCM.

Bibliografía

- International Energy Agency. (2020). Climate change. The energy sector is central to efforts to combat climate change. <https://www.iea.org/topics/climate-change>.
- International Energy Agency. (2021). México. Key energy statistics, 2018. <https://www.iea.org/countries/mexico>.
- International Renewable Energy Agency (2021). Renewable capacity statistics 2021. Abu Dhabi. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Apr/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2021.pdf
- International Renewable Energy Agency. (2020). The role of renewables in combating climate change and increasing resilience. <https://www.irena.org/climatechange>
- López, L. (2016). *Curva de crecimiento bacteriano en la producción de proteínas recombinantes. [presentación de diapositivas]*. https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/Transferencia_de_conocimientos_Liz_Lopez_2015.pdf
- Mohamed, O., Obaid, M., y Sayed, E. (2017). Electricity generation from real industrial wastewater using a single-chamber air cathode microbial fuel cell with an activated carbon anode. *Bioprocess Biosystem Engineering* 40, 1151-1161. <https://doi.org/10.1007/s00449-017-1776-0>
- Obileke, K., Onyeaka, H., Meyer, E.L., Nwokolo, N. (2021). Microbial fuel cells, a renewable energy technology for bio-electricity generation: A mini-review. *Electrochemistry Communications*, Volume 125, 107003, ISSN 1388-2481. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2021.107003>.
- Rabaey, K., Angenent L., Shroder, U. y Keller J. (2010). *Bioelectrochemical Systems: From extracellular electron transfer to biotechnological application*, IWA publishing, 1ed UK.
- Revelo, D. M., Hurtado, N. H., y Ruiz, J. O. (2013). Celdas de combustible microbianas (CCM): Un reto para la remoción de materia orgánica y la generación de energía eléctrica. *Información Tecnológica*, 24(6), 7–8.
- Sahu, O. (2019). Sustainable and clean treatment of industrial wastewater with microbial fuel cell, *Results in Engineering*, Volume 4, 100053. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2019.100053>.
- Zhuang, Li., Yuan, Y., Wang, Y., y Zhou, S. (2012). Long-term evaluation of a 10-liter serpentine-type microbial fuel cell stack treating brewery wastewater. *Bioresource Technology*, Volume 123, 406-412. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.07.038>.