

Capítulo 4 Empleo de sedimentos de jagüey en una celda de combustible microbiana béntica para la generación de electricidad

Chapter 4 Jagüey sediments in a benthic microbial fuel cell for electricity generation

FUENTES-ALBARRÁN, María del Carmen†*, ALARCÓN-HERNÁNDEZ Fidel Benjamín, LORENZANA-RAMÍREZ Ana Fernanda y GADEA-PACHECO José Luis

Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc. Av. Nicolás Bravo s/n, Parque Industrial Cuautla, C.P. 62717 Xalostoc, Ayala, Morelos, México.

ID 1^{er} Autor: *María del Carmen Fuentes-Albarrán* / **ORC ID** 0000-0003-1308-1332, **CVU CONACYT ID:** 171814

ID 1^{er} Coautor: *Fidel Benjamín Alarcón-Hernández* / **ORC ID** 0000-0002-2465-0898, **CVU CONACYT ID:** 131028

ID 2^{do} Coautor: *Ana Fernanda Lorenzana Ramírez* / **ORC ID** 0000-0002-4500-8634, **CVU CONACYT ID:** 1094667

ID 3^{er} Coautor: *José Luis Gadea-Pacheco* / **ORC ID** 0000-0001-9341-9289, **CVU CONACYT ID:** 160429

DOI: 10.35429/H.2022.10.29.35

M. Fuentes, F. Alarcón, A. Lorenzana y J. Gadea

*carmen.fuentes@uaem.mx

O. Benavides & A. Flores (VV. AA.). Ingeniería y Materiales Aplicados al Medio Ambiente. Handbooks- TII- ©ECORFAN-Mexico, 2022.

Resumen

En este trabajo se utilizaron sedimentos provenientes de un jagüey de una localidad del estado de Morelos, México, en un dispositivo de celda de combustible microbiana béntica a escala laboratorio. La investigación se efectuó en tres etapas, la primera consistió en la recolección de los sedimentos y el ensamble de la celda, en la segunda etapa se monitoreó la aclimatación del dispositivo. Finalmente, en la tercera etapa se caracterizó la celda de combustible mediante curvas de polarización y potencia para evaluar su desempeño. La celda obtuvo un voltaje estable a los 8 días de funcionamiento, el sistema alcanzó un máximo pico de potencia de 0.67 mW/m^2 con una densidad de corriente de 0.96 mA/m^2 , mostrando que los sedimentos de jagüey son factibles para la producción de electricidad en estos dispositivos.

Celda de combustible microbiana, Sedimentos, Electricidad

Abstract

In this work, sediments from a jagüey in a locality in the state of Morelos, Mexico, were used in a laboratory-scale benthic microbial fuel cell device. The investigation was carried out in three stages, the first consisted of the collection of the sediments and the assembly of the cell, in the second stage the acclimatization of the device was monitored. Finally, in the third stage, the fuel cell was characterized by means of polarization and power curves to evaluate its performance. The cell obtained a stable voltage after 8 days of operation, the system reached a maximum power peak of 0.67 mW/m^2 with a current density of 0.96 mA/m^2 , showing that the jagüey sediments are feasible for the production of electricity on these devices.

Microbial fuel cell, Sediment, Electricity

1. Introducción

En la actualidad, los combustibles fósiles constituyen el 80% de la energía que se usa a nivel mundial (32% petróleo, 21% gas y 27% carbón), sin embargo, las reservas de estos recursos son limitadas, por lo tanto, no pueden indefinidamente sostener la economía global. Aunada a esta problemática, el uso excesivo de combustibles fósiles ha contribuido al cambio climático, debido a las altas concentraciones de gases de efecto invernadero que se emiten a la atmósfera (Logan, 2008, Ferrari, 2013, Andrade et al., 2017). Para mitigar el daño ambiental, es necesario impulsar el uso de fuentes de energía limpias.

La tecnología de celdas de combustible microbianas (CCMs), consiste en dispositivos electroquímicos que convierten energía química en energía eléctrica, empleando microorganismos como biocatalizadores, y ofrecen la posibilidad de generar bioelectricidad a partir de residuos orgánicos y biomasa renovable (Lovley, 2006, Wall et al., 2008). El interés en estas investigaciones, ha llevado al desarrollo de CCMs que puedan aprovechar la energía de los sustratos contenidos en ambientes naturales tales como sedimentos acuáticos, en las llamadas celdas de combustible microbianas bénticas (CCMB) o de sedimentos. En una CCMB los sedimentos acuáticos actúan como medio anódico rico en nutrientes y están equipados con una comunidad compleja de microorganismos, incluidos microorganismos electrogénicos. (Guzman et al., 2010). Las CCMB generan corriente eléctrica a partir de gradientes redox naturales que comúnmente ocurren a través de la interfaz sedimento-agua.

El principio de funcionamiento de una CCMB es sencillo, consiste en un circuito en el cual se colocan electrodos inertes, pero eléctricamente conductores, el ánodo en una zona anóxica mientras que el cátodo en una zona óxica. Los electrodos se conectan a través de una carga, como una resistencia externa o un potencióstato (en aplicaciones de investigación) o un sistema de sensores (en aplicaciones o demostraciones de campo). Los electrones resultantes de la actividad metabólica microbiana se transfieren de los donantes de electrones al ánodo y fluyen a través de la carga al cátodo, donde se lleva a cabo la reducción del oxígeno disuelto en agua (Girguis et al., 2010). Las CCMB tienen aplicaciones potenciales para impulsar sensores en ambientes marinos para monitorear, por ejemplo; temperatura, salinidad, patrones de marea, la presencia de algas y otras formas de vida, así como patrones de migración de peces, contaminación orgánica por la producción del petróleo y compuestos metálicos de otros procesos industriales (Scott et al., 2008).

Las CCMB poseen ventajas respecto de los dispositivos y sensores oceanográficos tradicionales, ya que estos últimos se alimentan mediante baterías o fuentes similares, que se agotan y necesitan reemplazo constante, mientras que las celdas bénticas son amigables con el ambiente y requieren bajo mantenimiento, siendo sistemas bioelectroquímicos que pueden aprovechar la energía eléctrica continua de ambientes marinos.

Los dispositivos de CCMB pueden emplear sedimentos de diferentes cuerpos acuáticos tales como; mares, ríos y lagos (Ryckelynck et al., 2005, Mora y Bravo 2017, Joiner et al., 2020, Reimers al., 2022). Los jagüeyes, también conocidos como balsas, embalses, estanques o trampas de agua, es el término genérico que se emplea para designar a depresiones del terreno o pequeñas y medianas presas artificiales, que permiten almacenar el agua proveniente de los escurrimientos superficiales y destinarla a fines pecuarios, o a suplir las necesidades humanas. Existen diferentes formas de llenado, en Morelos se realiza con agua de escurrimiento de lluvias o de manantiales (SAGARPA, 2017, Guzmán 2018).

En este trabajo se investigó la factibilidad de utilizar sedimentos provenientes de un jagüey, en un dispositivo de celda de combustible microbiana béntica a escala laboratorio para la producción de electricidad. El trabajo se desarrolló en tres etapas, en la primera, se recolectaron los sedimentos del cuerpo acuático y se realizó el ensamble de la celda, posteriormente se monitoreó el tiempo de aclimatación del dispositivo. Finalmente, en la tercera etapa se caracterizó la celda de combustible mediante curvas de polarización y potencia para evaluar su desempeño.

2. Desarrollo

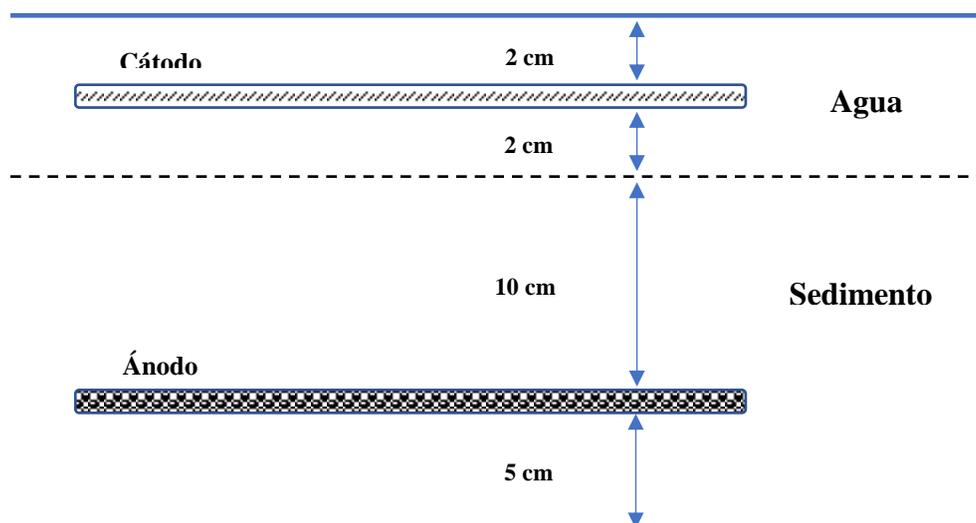
2.1. Recolección de sedimentos

Los sedimentos fueron recolectados en un jagüey de una localidad del estado de Morelos, México. Para lo cual se escarbó a una profundidad de 30 cm aproximadamente, y a partir ahí se tomaron los sedimentos colocándolos en un recipiente y manteniéndose cerrados hasta su utilización. Los microorganismos contenidos en los sedimentos sirvieron como biocatalizadores en la producción de electricidad en la celda, mientras que la materia orgánica contenida de manera natural sirvió como fuente de carbono para los microorganismos.

2.2. Configuración y operación de la celda de combustible béntica.

La celda de combustible microbiana béntica tuvo una configuración tipo estanque. El sistema simuló las interfases sedimentos-superficie acuática de un ambiente natural. El dispositivo consistió en una pecera de vidrio con un volumen total de 0.014 m^3 . Para el ánodo se empleó un electrodo de fibra de carbón, mientras que para el cátodo se utilizó carbón Veil (Fibre Glast Developments Corporation), ambos electrodos tuvieron un área de 0.09 m^2 . Para la conexión al exterior se empleó alambre de cobre barnizado. La Figura 2.1 muestra un esquema del montaje de la celda.

Figura 2.1 Esquema de las interfases sedimento-agua en la CCMB



Fuente de consulta: Elaboración Propia

En la CCMB se incluyeron dos segmentos; sedimentos acuosos y agua. En el dispositivo se colocó una capa de sedimentos de 5 cm y enseguida el ánodo, sobre éste se colocó una capa más de sedimentos de 10 cm, esto con el objetivo de mantener el ánodo bajo condiciones anaerobias, además de servir como separador natural entre las fases del sistema. El cátodo se colocó paralelo al ánodo a una distancia aproximada de 14 cm, quedando suspendido en el agua mediante un sujetador de plástico a la pecera. Finalmente, el cátodo se cubrió con una última capa de agua. El aire se suministró al cátodo por difusión natural a la superficie del agua. Todos los experimentos se llevaron a cabo a temperatura ambiente.

2.3. Adquisición de datos y análisis electroquímicos

La CCMB se mantuvo en operación durante un período de 30 días, usando la materia orgánica contenida en los sedimentos. Durante el tiempo de colonización bacteriana, se monitoreo el voltaje a circuito abierto (VCA) en el sistema, una vez que la celda alcanzó un voltaje estable se estudió el desempeño de la celda. En este trabajo se utilizó el método de curva de polarización para evaluar el desempeño electroquímico de la celda, para lo cual se empleó una resistencia externa (R_{ext}), variándola en un intervalo de 500 Ω a 10 k Ω y registrando el Voltaje (E_{CCMB}) correspondiente obtenido en la celda. Para cada par de valores (Ω -V) obtenidos experimentalmente, se calculó la corriente de acuerdo con la ley de ohm:

$$I = \frac{E_{CCMB}}{R_{ext}} \quad (1)$$

La curva de polarización se obtuvo graficando el voltaje de la celda vs la corriente. Otro método utilizado para evaluar el desempeño de la CCMB es el máximo pico de potencia (MPP), el cual se obtiene a partir de una curva de polarización, graficando la densidad de potencia vs la densidad de corriente, tomando en cuenta que la potencia de la celda (P_{CCMB}) se define como:

$$P_{CCMB} = \frac{E^2_{CCMB}}{R_{ext}} \quad (2)$$

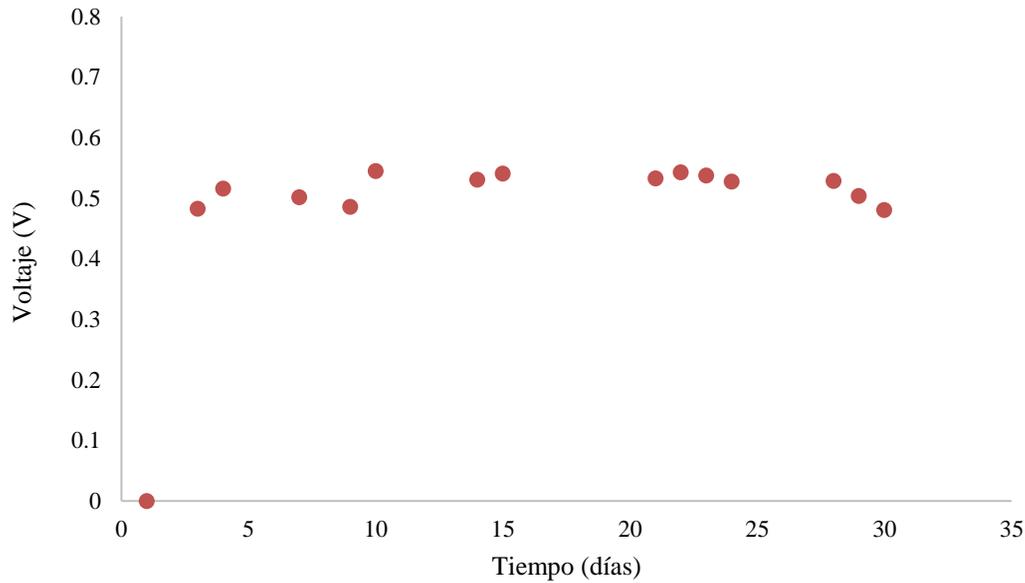
La densidad de potencia obtenida en este estudio se normalizó al área del ánodo (mWm^{-2})

3. Resultados

3.1. Aclimatación

La celda béntica se puso en marcha, empleando los sedimentos y agua provenientes del jaguey. En esta etapa se llevó a cabo la colonización del ánodo por los microorganismos contenidos en los sedimentos. En el Gráfico 3.1 muestra el tiempo de colonización bacteriana en función del voltaje (monitoreado a circuito abierto). Como se puede apreciar en la gráfica, el voltaje de la celda incrementó durante los primeros 3 días de operación, alcanzando un voltaje de ~ 0.4 V incrementándose ligeramente hasta los 10 días de operación, y manteniéndose estable durante los siguientes 20 días en un voltaje de ~ 0.5 V, lo cual sugirió que el ánodo había sido colonizado.

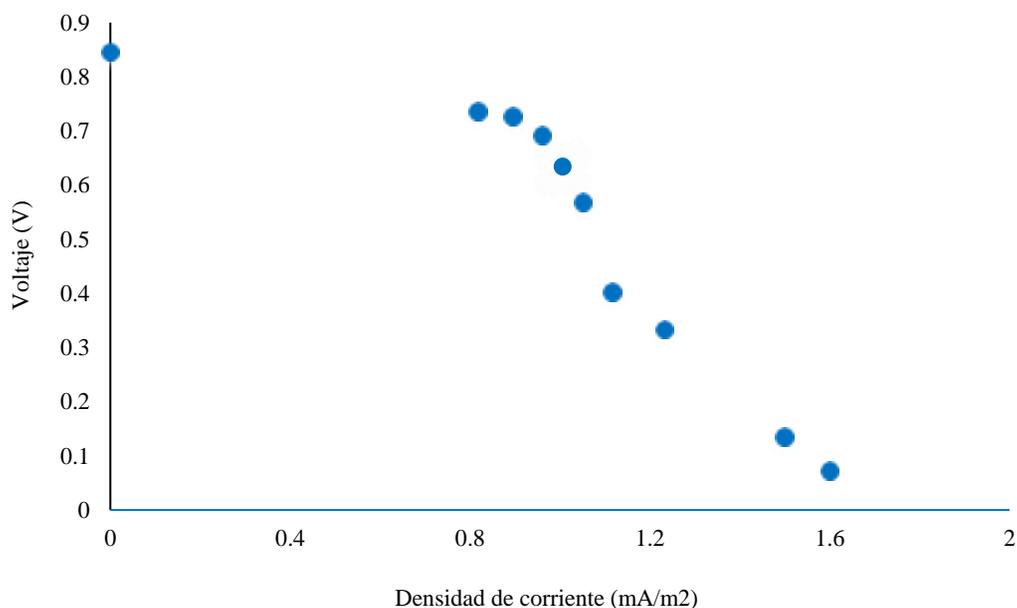
En ambientes acuáticos naturales, están presentes diferentes tipos de comunidades microbianas, éstas cooperan en la degradación de materia orgánica, siendo los microorganismos fermentativos los encargados de romper inicialmente la materia orgánica compleja en acetato y otros compuestos, que otras especies de bacterias pueden oxidar a dióxido de carbono (Lovley 2006). En este estudio no se examinó el consorcio que colonizó el ánodo de la CCMB, sin embargo, en aguas dulces, es probable la presencia de especies *Geobacter* en los sedimentos utilizados.

Gráfico 3.1. Tiempo de aclimatación de la CCMB

Fuente de consulta: Elaboración propia

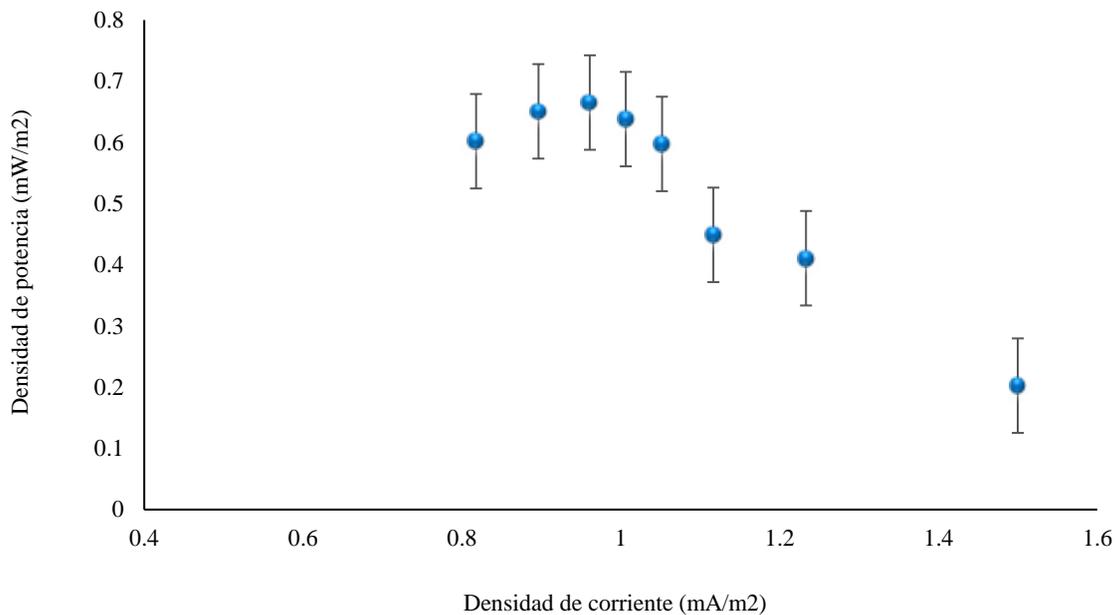
3.2. Curva de polarización y potencia de la CCMB

La curva de polarización obtenida en la CCMB se muestra en el Gráfico 3.2. Se puede observar que la celda alcanzó un voltaje a circuito abierto de 0.85 V, decayendo ligeramente en un intervalo de 0.6 y 0.7 V, y disminuyendo casi linealmente en potenciales menores a 0.5 V, lo cual es evidencia de la existencia de pérdidas óhmicas. Estas pérdidas son las más importantes en el diseño de una celda de combustible microbiana béntica, ya que es esta región de la curva donde se ubica la máxima producción de potencia que alcanza una CCMB. Las pérdidas óhmicas pueden minimizarse reduciendo la distancia entre los electrodos, incrementando la conductividad de la solución y capacidad de buffer y asegurando un buen contacto entre el circuito y los electrodos (Logan, 2008).

Gráfico 3.2. Curva de polarización

Fuente de consulta: Elaboración Propia

En el Gráfico 3.3 se muestra la densidad de potencia obtenida en la celda como una función de la densidad de corriente. Se puede observar que se obtiene un máximo pico de potencia de 0.67 mW/m² con una densidad de corriente de 0.96 mA/m², lo cual muestra que es factible utilizar sedimentos de un jagüey para la producción de energía limpia con un dispositivo de celda de combustible microbiana béntica.

Gráfico 3.3 Densidad de potencia

Fuente de consulta: Elaboración Propia

En otro estudio (Gatti 2016), utilizó sedimentos de río en una celda de dos compartimientos empleando electrodos de grafito, obteniendo una densidad de potencia de 3.57 mW/m^2 con una densidad de corriente de 20 mA/m^2 . Por otra parte (Fuentes, 2013), obtuvo una máxima densidad de potencia de 0.72 mW/m^2 con una densidad de corriente de 3.07 mA/m^2 , en una celda de combustible béntica utilizando sedimentos de una laguna. Los resultados obtenidos en este estudio muestran que es factible utilizar sedimentos de un jagüey para la producción de electricidad.

Agradecimiento

Se agradece a la Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, perteneciente a la Universidad del Estado de Morelos, por las facilidades otorgadas para la realización de este trabajo.

Conclusiones

En este trabajo se emplearon sedimentos de un jagüey en un dispositivo de celda de combustible microbiana béntica tipo estanque, aprovechando la materia orgánica y los microorganismos contenidos en estos sedimentos para la producción de electricidad. La CCMB se mantuvo en operación durante un período de 30 días, funcionando únicamente con la materia orgánica contenida en los sedimentos. El sistema alcanzó una máxima densidad de potencia de 0.67 mW/m^2 con una densidad de corriente de 0.96 mA/m^2 .

En este estudio se mostró que es factible el uso de sedimentos de un jagüey para la producción de electricidad en una celda béntica. El desafío de estos dispositivos es el diseño ingenieril para obtener un mejor desempeño.

Sugerencias para futuros trabajos

En este trabajo se planteó la propuesta de usar sedimentos provenientes de un jagüey en una celda de combustible microbiana béntica para la producción de electricidad, sin embargo, la producción de potencia del dispositivo aun es baja, así que para futuros trabajos se buscará incrementarla. Es importante monitorear el desempeño del sistema por un mayor período de tiempo para examinar el tiempo de operación de la celda con la materia orgánica contenida en los sedimentos, ya que esta investigación se llevó a cabo a escala laboratorio.

Referencias

- Andrade, H., J., Artega, C., C., Segura, M., A. (2017). Emisión De Gases De Efecto Invernadero Por Uso De Combustibles fósiles En Ibagué, Tolima (Colombia). *Ciencia Y Tecnología Agropecuaria*, 18 (1), 103-112. DOI: http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:561
- Ferrari, L. (2013). Energías fósiles: diagnóstico, perspectivas e implicaciones económicas. *Revista Mexicana de Física*, 59 (2), 36-43.
- Fuentes, A., M., C. (2013). Producción de bioelectricidad en dos diseños de celdas de combustible microbianas, evaluando el desempeño de un cátodo de carbón sin catalizar y catalizado con MnO₂. Tesis de doctorado, Centro de investigaciones en ingeniería y ciencias aplicadas, Universidad Autónoma del estado de Morelos, México.
- Gatti, M. N., Quiñones, F. & Milocco, R. H. (s. f.). Estudio de diferentes celdas de combustible microbianas para la generación de energía a partir de residuos orgánicos de efluentes líquidos, researchgate.net. Recuperado 25 de febrero de 2021.
- Girguis, P., R., Nielsen, M., E., Reimers, C., E. (2010). *Fundamentals of Benthic Microbial Fuel Cells: Theory, Development, and Applications In Bioelectrochemical Systems*. First edition. Springer Verlag Press.
- Guzmán, J., J., Cookea, K., G., Gaya, M., O., Radachowskya, S., E., Girguisb, P., R., Chiua, M., A. (2010). Benthic Microbial Fuel Cells: Long-Term Power Sources for Wireless Marine Sensor Networks. Published in Proceedings: SPIE Defense, Security, and Sensing, 1-12. <https://doi.org/10.1117/12.854896>
- Guzmán, M., A., D., L., A. (2018). Jagüeyes, patrimonio morelense para la sustentabilidad. *Inventio*, la génesis de la cultura universitaria en Morelos, 29-37.
- Joiner, K., L., Tukeman, G., L., Obraztsova, A., Y., Arias, Y., M. (2020). Impact of sediment parameters in the prediction of benthic microbial fuel cell performance. *The Royal Society of Chemistry*, 10, 26220–26228. <https://doi.org/10.1039/d0ra03459b>
- Logan, B., E. (2008). *Microbial Fuel Cells*. John Wiley & Sons Inc. New Jersey, USA.
- Lovley, D., R. (2006). Bug juice: harvesting electricity with microorganisms. *Nature reviews microbiology*, 4, 497-508. <http://dx.doi.org/10.1038/nrmicro1442>
- Mora, A. y Bravo, E. (2017). Evaluation of the Electrogenic potential of coastal sediments of la Azufrada beach, Gorgona Island. *Revista de ciencias*, 21 (1).
- Reimers, C., E., Wolf, M., Alleau, Y., Cheng, L. (2022). Benthic microbial fuel cell systems for marine applications. *Journal of power sources*, 522, 1-8. DOI:10.1016/j.jpowsour.2022.231033
- Ryckelynck, N., Stecher, H., A., Reimers, C., E. (2005). Understandig the anodic mechanism of a seafloor fuel cell: interactions between geochemistry and microbial activity. *Biogeochemistry*, 76, 113-139. DOI 10.1007/s10533-005-2671-3
- Scott, K., Cotlarciuc, I., Lakerman, J., B., Browning, D. (2008). Power from marine sediment fuel cells: the influence of anode material. *Journal of Applied Electrochemistry*, <https://doi.org/10.1007/s10800-008-9561-z>
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, SAGARPA (2017). Diseño y construcción de jagüeyes., Segunda Edición, México. https://0201.nccdn.net/1_2/000/000/170/8fa/Dise--o-y-Construcci--n-de-Jagueyes.pdf. Fecha de consulta: 30 de octubre 2022.
- Wall, J., D., Harwood, C., S., Demain, A. (2008). *Bioenergy*, ASM Press, Washington, DC. DOI:10.1128/9781555815547