

ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE ORGANISMOS MICROSCÓPICOS PRESENTES EN EL SUELO

RENEWABLE ENERGY FROM MICROSCOPIC ORGANISMS PRESENT IN THE SOIL

LUIS FERNANDO MARTÍNEZ BRUM¹.

Fecha recibido: 06/mayo/2023

Fecha aprobado: 23/junio/2023

Derivado del proyecto: Energía renovable a partir de microorganismos

Institución financiadora: Universidad Evangélica Boliviana

¹Univ., UEB, Ocupación Estudiante, UEB, correo electrónico: martinezblf@ueb.edu.bo.

RESUMEN

La alta demanda de energía a nivel mundial es un constante problema que está servido sobre la mesa debido a la disminución, cada vez mayor, de los combustibles fósiles. Al mismo tiempo, el combate contra el cambio climático es constante y duro, por lo que las personas en los últimos días están optando por fuentes de energía poco convencionales, es aquí donde entran las energías renovables, como la solar, la eólica, la hidroeléctrica o como la que veremos en el presente proyecto, las celdas de combustible microbianas. En el presente trabajo se describirá y se pondrá en práctica, con el objetivo de difundir e informar a las masas, las celdas de combustible microbianas, una relativamente nueva forma de producir energía renovables, de forma amigable con el medio ambiente. Este sistema aprovecha el metabolismo de ciertos microorganismos presentes e manera natural en el suelo, llamados electrogénicos, y su capacidad para intercambiar electrones con los electrodos del sistema para poder producir energía renovable. Los materiales usados para este sistema fueron: electrodos hechos a base de carbón activado granulado y malla de acero inoxidable, cables comunes de aluminio y se probó un resistor de 1000Ω . Se realizaron dos sistemas, uno con electrodos de una sola capa y otra con doble capa. Los resultados para la primera fueron de $5,82 \text{ mW/m}^2$ sin presentarse ningún inconveniente; mientras que los resultados del segundo sistema fueron $0,21 \text{ mW/m}^2$, presentando algunos inconvenientes de continuidad del sistema eléctrico presentado.

PALABRAS CLAVE: *Microorganismos 1, electrogénicos 2, energía 3, renovable 4, celdas 5, combustible 6.*

ABSTRACT

The high global demand for energy is a constant problem that is on the table due to the increasing depletion of fossil fuels. At the same time, the fight against climate change is ongoing and challenging. As a result, people in recent days have been opting for unconventional energy sources, and this is where renewable energies come into play, such as solar, wind, hydroelectric, and, as we will see in this project, microbial fuel cells. In this work, microbial fuel cells will be described and put into practice with the aim of disseminating and informing the masses about this relatively new way of producing renewable energy in an environmentally friendly manner. This system takes advantage of the metabolism of certain microorganisms naturally present in the soil, known as electrogenic microorganisms, and their ability to exchange electrons with the electrodes of the system to produce renewable energy. The materials used for this system were electrodes made of granulated activated carbon and stainless steel mesh, common aluminum cables, and a 1000Ω resistor was tested. Two systems were constructed, one with single-layer electrodes and another with double-layer electrodes. The results for the first system were 5.82 mW/m^2 without any issues, while the results for the second system were 0.21 mW/m^2 , presenting some issues with the continuity of the electrical system.

KEYWORDS: *Microorganism 1, electrogenic 2, energy 3, renewable 4, cell 5, fuel 6.*

INTRODUCCIÓN

Con la disminución de los combustibles fósiles en el mundo y los crecientes retos ambientales que tienen como objetivo reducir el impacto del cambio climático sobre la tierra y nuestras vidas, se ha comenzado un interés global sobre el cambio energético hacia fuentes de energía que tengan un impacto positivo en el medio ambiente a la vez que sean sustentables para el ser humano según WWF (2023). Aquí es donde las fuentes de energías renovables se hacen presentes, pretendiendo ser la alternativa más cercana a los combustibles fósiles, pudiendo estas disminuir el impacto ambiental y a la vez, proporcionarnos una fuente de energía inagotable (Badii et al., 2016).

La energía renovable es un tipo de energía derivada de fuentes naturales e interminables o que se regeneran más rápido de lo que se consumen. Existen distintas formas de poder generar este tipo de energía, entre las más comunes podemos encontrar la fotovoltaica, hidroeléctrica y eólica, según la UN (2022). Sin embargo, según el Gobierno de Argentina (2020), a lo largo del tiempo se han empezado a percatar del potencial de otros tipos de energía renovable poco convencionales como pueden ser: la geotérmica, la biomasa, el biogás, los biocombustibles, las celdas de combustible de hidrogeno o las celdas de combustible microbianas. En el presente trabajo se explorará más a profundidad este último método de producción de energía renovable.

Las celdas de combustible microbianas son actualmente un campo en crecimiento dentro de los sistemas bio-electroquímicos. Fue propuesta por primera vez hace aproximadamente 100 años, sin embargo, alcanzaron la popularidad recientemente, gracias a sus propiedades para el tratamiento de aguas residuales y la producción de energía eléctrica renovable, según Santoro et al. (2021). Son un sistema que realiza su producción de energía al captar por medio de un par de electrodos (ánodo y cátodo), los electrones liberados por el metabolismo de las bacterias producida en la mitocondria. Esto ocurre gracias a la actividad redox catalítica biológica que ocurre en los microorganismos vivos. En resumen, podemos decir que las celdas de combustible combinan las baterías electroquímicas abióticas convencionales, con la catálisis redox biológica de los microorganismos (Santoro et al., 2017).

El metabolismo de los microorganismos comprende un complejo de reacciones de óxido-reducción, donde las principales biomoléculas catalizadoras participativas son las enzimas, en mayor medida, y las proteínas, en menor medida. Estas son capaces de acelerar el proceso de intercambio de electrones mediante las moléculas y átomos en las células, sin embargo, con el objetivo de aprovechar la energía producida por el electrón, este se pierde ya sea en la célula o se transfiere al oxígeno, lo que imposibilita el aprovechamiento, según Martínez et al. (2022). No obstante, existe un grupo de microorganismos que evolucionaron para tener de compartir los electrones, estos son llamados electrogénicos, que son capaces de transferir por vía directa los electrones a los electrodos de las celdas de combustible microbianas, algunos ejemplos comprobados de microorganismos electrogénicos son: *Geobacter sulfurreducens*, *Shewanella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Rhodospirillum rubrum*, *Aeromonas hydrophila*, *Clostridium butyricum* y *Enterococcus gallinarum* (Redondo, 2018).

De igual manera, existe una variante de las celdas de combustible microbianas, la cual es celdas de combustible microbianas vegetales. Según Helder (2012) estas combinan las CCM con plantas, con el objetivo de generar una mayor cantidad de materia orgánica que pueda ser oxidada por los microorganismos. Esto se debe a que la planta, al realizar la fotosíntesis, libera compuestos orgánicos al suelo, promoviendo la vida en la rizosfera, a esta acción se le llama rizodeposición, y promueve la alimentación y propagación de microorganismos en el suelo. De esta forma se logra incrementar el rendimiento del sistema, sin daño alguno a la planta.

Para medir el rendimiento eléctrico de las CCM, se obtiene comúnmente la densidad de potencia (mW/m^2) o la densidad de potencia volumétrica (mW/m^3), el cual nos da indicios del potencial de la celdas por determinada superficie, según Choudhury et al. (2021), y esto nos ayudará a conocer la energía total producida (J/m^2) (Helder, 2012).

Algunos resultados que se han logrado obtener en distintas investigaciones son las siguientes: Toledo (2022) obtuvo $360 \text{ mW}/\text{m}^2$, $8000 \text{ mW}/\text{m}^2$ obtenidos por Sonawane et al. (2017), Juárez Murguía (2020) obtuvo $10 \text{ mW}/\text{m}^3$ y $0,44 \text{ W}/\text{m}^2$ obtenidos por Helder (2012), este último dedicado al sistema de CCMV. Los resultados anteriormente mostrados son los máximos rendimiento logrados por las CCM en distintas investigaciones realizadas a lo largo del mundo, como se puede notar es una ciencia naciente que está en constante desarrollo.

El objetivo del presente trabajo será presentar y realizar un modelo de celdas de combustible microbianas convencionales para poder dar a conocer y expandir esta relativamente nueva forma de producir energía de manera renovable y amigable con el medio ambiente, beneficiando así a las personas y al planeta. Se espera obtener un mínimo $100 \text{ mW}/\text{m}^2$.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en el departamento de Santa Cruz-Bolivia; en la provincia Andrés Báñez, en el municipio de Santa Cruz de la Sierra; coordenadas: $17^{\circ}48'02''\text{S}$ $63^{\circ}10'41''\text{O}$. La zona presenta una temperatura máxima aproximada de 30°C y una mínima aproximada de 20°C . Para el presente proyecto no se realizó ningún tipo de análisis estadístico, a razón de lo que se pretende evaluar, el funcionamiento del sistema para lograr entregar una descripción amplia del funcionamiento y de los materiales necesarios para producirlo, además de dar a conocer su potencia a futuro.

Para la elección de materiales, se dividió el sistema en las siguientes secciones: ánodo, cátodo, sustrato, recipiente y sistema eléctrico.

Para el ánodo se usó como base una malla de acero inoxidable, recubierta con carbón activado granulado. El carbón activo es uno de los materiales de electrodo ampliamente utilizados para realizar celdas de combustible microbianas, ya que presenta una alta área de superficie y presenta una buena porosidad que ayuda en la interacción entre el electrodo y los microorganismos. Este se encontrará al fondo del sistema, en un ambiente anaeróbico. Para el cátodo se utilizó los mismos materiales que en el ánodo. Lo que diferenciará el cátodo del ánodo será la posición en la que se encontrara. Este estará en la superficie del sistema, ya que debe estar en

con el oxígeno para poder realizar un intercambio de electrones con este elemento. El intercambio de protones se realizará por medio del mismo sistema. El sustrato utilizado fue suelo negro, debido a que este es rico en minerales, materia orgánica y microorganismos. Este se mantendrá húmedo para que los electrones y microorganismos se mantengan en movimiento constantemente. Se utilizaron envases de plástico cilíndricos de 6 cm de diámetro y 6 cm de altura para armar el sistema y así disminuir los costos. En este se pondrán los electrodos para poder almacenarlos y a su vez almacenar la planta. Los materiales eléctricos utilizados fueron cables de aluminio y un resistor de 1000Ω . Para la medición del voltaje y del amperaje se usó un multímetro, para la potencia y la densidad de potencia se usó fórmulas.

El sistema sería de una sola cámara con el objetivo de la limitación de materiales y para abaratar los costos. El sistema se armó de la siguiente manera: primero se hicieron los electrodos, ambos de la misma manera, donde en una base de malla de acero inoxidable, se adjuntó un cable de aluminio y se procedió a esparcir carbón activo granulado para expandir la superficie del electrodo; luego se realizó el llenado de los envases con lodo de tierra negra, dejando el electrodo que hará función de ánodo en el fondo, y el que hará función de cátodo en la superficie para que este en contacto con el oxígeno del ambiente; para finalizar se colocó un resistor de 1000Ω , para cerrar el circuito. Se realizaron dos sistemas, uno con electrodos de una capa, y otro con electrodos de doble capa

RESULTADOS

Para la toma de resultados se utilizó un multímetro, el cual nos indicó los amperios (mA) y los voltios (mV). La potencia (mW) se midió utilizando una fórmula ($P=V*I$) y la densidad de potencia (mW/m²) se midió de igual manera utilizando una fórmula (Densidad de potencia= $P/\text{área del sistema}$).

Se realizó la primera medición tras haber desarrollado los sistemas. Para el sistema de una sola capa los resultados obtenidos fueron 10,25 mV y 0,1mA, esto nos daría una potencia de 1,025 mW y una densidad de potencia de 3,64 mW/m². Para el sistema de doble capa los resultados fueron 32,4 mV y 0,13 mA, esto nos daría una potencia de 4,21 mW y una densidad de potencia de 14,93 mW/m².

Se efectuó una segunda medición transcurridas las 8 horas, donde se obtuvieron los siguientes resultados. Para el sistema de una sola capa los resultados obtenidos fueron 23,2 mV y 0,11 mA, lo cual da una potencia de 2,55 mW y una densidad de potencia de 9,04 mW/m². Para el sistema de doble capa los resultados fueron inesperados debido a que el circuito se invirtió causando una baja de continuidad dando los siguientes resultados: 7 mV y 0,01 mA, dando como potencia 0,07 mW y una densidad de potencia de 0,25 mW/m².

Para finalizar la toma de muestra, se consumió una tercera muestra pasadas las 24 horas, donde se obtuvieron los siguientes resultados. Para el sistema de una sola capa los resultados obtenidos fueron 16,4 mV y 0,1 mA, esto nos daría una potencia de 1,64 mW y una densidad de potencia de 5,82 mW/m². Para el sistema de doble capa pasadas las 24 horas el sistema volvió a estabilizarse, sin embargo, la energía no mejoró, los resultados fueron 5,61 mV y 0,01 mA, esto nos daría una potencia de 0,06 mW y una densidad de potencia de 0,21 mW/m².

CONCLUSIONES

Los resultados finales obtenidos del proyecto muestran una superioridad, en cuanto a densidad de potencia se refiere, del sistema de solo una capa de carbón activo en el sistema, sobre el de doble. Sin embargo, aun con esto la densidad de potencia obtenida es menor a la esperada de 100 mW/m², obteniendo una cantidad máxima de 5,82 mW/m² en un total de 24 horas.

Con esto podemos concluir que, a pesar de lograr conseguir energía del sistema con escasos recursos, es notoria la necesidad de tener a la disposición materiales especializados para poder optimizar la producción de energía del sistema, logrando así poder alcanzar densidades de potencia altas como 8000 mW/m² por Sonawane et al. (2017) o 360 mW/m² obtenidos por Toledo (2022).

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en el presente proyecto son menores a los obtenidos por otros autores como Toledo (2022). Estos resultados bajos pueden deberse a la baja calidad de los materiales utilizados en comparación con los autores mencionados, por lo que se lograra la obtención de materiales especializados, estos resultados podría llegar incrementarse.

Los dos sistemas fueron hechos con la finalidad de probar su rendimiento con un bajo costo, lo cual se logró. El segundo sistema demostró problemas en su funcionamiento, esto pudo deberse al pequeño tamaño del envase de plástico y a la colocación de los cables. El primer sistema mostro menos energía pero mayor estabilidad. También algo a tener en cuenta para poder mejorar el funcionamiento del sistema es realizar un sistema de doble cámara para que la oxidación y reducción de los electrodos sea más precisa he individual.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Badii, M. H., Guillen, A., & Abreu, J. L. (2016). Energías renovables y conservación de energía. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 141–155. [http://www.spentamexico.org/v11-n1/A12.11\(1\)141-155.pdf](http://www.spentamexico.org/v11-n1/A12.11(1)141-155.pdf)

Choudhury, P., Bhunia, B., Bandyopadhyay, T. K., & Ray, R. N. (2021, 8 enero). The overall performance improvement of microbial fuel cells connected in series with dairy wastewater treatment. *Journal of electrochemical science and technology*. <https://doi.org/10.33961/jecst.2020.01284>

Gobierno de Argentina. (2020, 11 septiembre). ¿Qué son las energías renovables? <https://www.argentina.gob.ar/economia/energia/energia-electrica/renovables/que-son-las-energias-renovables>

Helder, M. (2012). Design criteria for the Plant-Microbial fuel cell: Electricity generation with living plants – from lab to application [Tesis de doctorado]. Wageningen University.

Juárez Murguía, Z. A. (2020). Evaluación del efecto del tamaño del cátodo sobre el desempeño global de una celda de combustible microbiana sin membrana para el tratamiento de aguas residuales y generación de energía [Tesis de Maestría]. Centro De Investigación y Desarrollo Tecnológico En Electroquímica, SC.

Martínez, M., Ferreira, P., & Medina, M. (2022, 29 agosto). Estrategias en la transferencia de electrones de los sistemas biológicos. <https://revista.sebbm.es/articulo.php?id=806&url=estrategias-en-la-transferencia-de-electrones-de-los-sistemas-biologicos>

Redondo, J. J. (2018). Microorganismos electrogénicos: Células de combustible microbianas [Trabajo de fin de grado]. Universidad de Alcalá.

Santoro, C., Arbizzani, C., Erable, B., & Ieropoulos, I. (2017, 15 julio). Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review. *Journal of Power Sources*. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.03.109>

Santoro, C., Brown, M., Gajda, I., Greenman, J., Obata, O., García, M. L. S., Theodosiou, P., Walter, A., Winfield, J., You, J., & Ieropoulos, I. (2021, 1 octubre). *Microbial Fuel Cells, Concept, and Applications*. Springer eBooks. https://doi.org/10.1007/978-3-030-23217-7_93

Sonawane, J. M., Yadav, A., Ghosh, P. C., & Adeloju, S. B. O. (2017). Recent advances in the development and utilization of modern anode materials for high performance microbial fuel cells. *Biosensors and Bioelectronics*, 558–576. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2016.10.014>

Toledo, F. (2022, junio). Evaluación del efecto de distintos factores en el rendimiento de celdas de combustible microbianas con visión a un futuro escalamiento del sistema. <http://rdi.uncoma.edu.ar/bitstream/handle/uncoma/id/16864/PI-P%20Toledo%20Fernanda.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

UN. (2022, 27 mayo). ¿Qué son las energías renovables? <https://www.un.org/es/climate-change/what-is-renewable-energy>

WWF. (2023, 25 abril). El cambio a la energía renovable debe proteger la naturaleza. <https://www.wwf.org.bo/?uNewsID=382512>