

REVISIÓN DEL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA MFC PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOELECTRICIDAD A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS - ESPOCH

Ing. *Alex- Fernando Guambo¹, Ing. Washington-Nelson Logroño², Benito Mendoza³

¹ Centro de Investigación de Energías Alternativas y Ambiente, Facultad de Ciencias, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Panamericana Sur Km 1 ½, Chimborazo EC060155, Ecuador.

² University of Szeged Hungary.

Email: alexfernag@gmail.com

³ Universidad Nacional de Chimborazo (UNACH).

R esumen

Se propone una tecnología autosustentable en la biodegradación de residuos sólidos a medida que se produce bioelectricidad incentivando estudios aplicativos de las celdas de combustible microbiano (MFC). Se desarrollaron tres proyectos experimentales aprovechando las capacidades oxido-reductoras de bacterias de suelos del páramo Pichan Central para producir bioelectricidad. Sustratos orgánicos compuestos de frutas y verduras fueron empleados en los dos primeros casos de estudio, mientras que en el tercer caso se utilizó aguas residuales sintéticas de lavado de arroz. En el caso dos se encontró, que la generación de voltaje más alta y estable fue en celdas que contenían las relaciones proporcionales en la cantidad de residuos orgánicos (frutas-verduras). Para el tercer caso se propuso estudiar la incidencia de aguas residuales sintéticas en la producción de bioelectricidad.

Los valores de bioelectricidad fueron monitoreados en términos de voltaje de circuito abierto, obteniendo valores máximos de 500 mV en la mejor de las réplicas. Se establecieron relaciones significativas entre las proporciones de diferentes sustratos orgánicos como también en la Carga Orgánica (DBO) presente de las aguas residuales del lavado de arroz en la generación de bioelectricidad. A través del presente documento se pretende comunicar los hallazgos recientes y proponer los lineamientos y parámetros considerados para el desarrollo de la tecnología MFC, como también un preámbulo aplicativo de la degradación de la DBO de aguas residuales sintéticas, todo esto en un contexto en países en vías de desarrollo, buscando promover su aplicación en los mismos.

Palabras Clave: Residuos Orgánicos, Bioelectricidad, Celdas de Combustible Microbianas MFC.

A bstract

A self-sustaining technology is proposed in the biodegradation of solid waste, while the produced bioelectricity is the by-product, encouraging to study applications of microbial fuel cells (MFCs). Three pilot projects were developed, taking advantage the capabilities oxide-reducing flooring Páramo Central Pichán to produce bioelectricity. As substrates for the first two cases, it was used organic waste of fruit and vegetable, and for the third case synthetic sewage washing rice was used. In case two, the cell with more stable voltage generation was used, setting proportional relationships in the amount of organic waste. For the third case was to examine the incidence of synthetic wastewater in the production of bioelectricity.

Bioelectricity values were denoted in terms of voltage, obtaining maximum values of 500 mV at best replicas. significant relationships between the proportions of different organic substrates as in the organic load (BOD) present wastewater from washing rice in the generation of bioelectricity were established. The guidelines will be defined and parameters for the development of technology MFC, as well an application preamble in the biodegradation of BOD of synthetic wastewater

KeyWords: Organic Waste, Bioelectricity, MFC Microbial Fuel Cells.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas las investigaciones se han centrado en sustituir la dependencia creciente de combustibles de origen fósil en fuentes de energías alternativas con eficiencia similar, capaz de competir con el petróleo motivadas en razones ambientales y económicas, favoreciendo a la reducción de emisiones tóxicas al ambiente (1), buscando iniciativas de generación energética renovable vinculadas al tratamiento de residuos y biorremediación de contaminantes.

Las Celdas de combustible microbianas o Pila de Combustible Microbiana (CCM), son dispositivos bio-electroquímicos utilizados para generar bioelectricidad a partir de una amplia gama de sustratos mediante el uso de microorganismos electrogénicos, y tienen especial interés para abastecer la demanda de energía para los pequeños dispositivos y al mismo tiempo como una fuente de energía renovable y autosustentable. (2). El diseño típico de una MFC consiste en dos cámaras: una anaeróbica (ánodo) y otra aeróbica (cátodo); las mismas que están unidas a través de una Membranas de Intercambio Catiónico PEM (3), donde la transferencia de electrones entre reductor y oxidante; es comprendida como la energía utilizada por microorganismos y es influenciado por la diferencia de potencial entre ánodo y cátodo que con O_2 del ambiente forma H_2O ; formando un circuito externo; las MFCs presentan diferentes configuraciones en su estructura física que se adapta acuerdo a la propuesta de funcionamiento y al fin que se desea analizar, aprovechar y generar. (2-7).

Las celdas de combustible microbiana, pueden generar electricidad a partir de sustratos orgánicos de varias fuentes, tales como: aguas residuales domésticas, residuos vegetales, residuos de procesamiento de almidón, el chocolate indus-

trial de aguas residuales, etilo, etanol, y la glucosa. También se pueden usar como un aceptor de electrones en el tratamiento de sustancias orgánicas como compuestos de diésel, al igual que para la decoloración en el tratamiento de aguas residuales (6). Esta tecnología abarca también como fuentes de energía para sensores ambientales; siendo útil en la comprensión y modelización de ecosistemas en especial en ríos y entornos de aguas profundas donde es difícil su acceso; además de conducir reacciones deseadas para eliminar o degradar sustancias químicas; en el ámbito de biocombustibles en la producción de hidrógeno y producción de energía renovable a partir de biomasa de residuos orgánicos e inorgánicos (8)

En el presente documento se hace una revisión de tres de las principales publicaciones realizadas por el Centro de Energías Alternativas y Ambiente de la ESPOCH, línea de trabajo que inició con el propósito de aprovechar residuos orgánicos en producción de bioenergía, verificando y comprobando la acción electrogénica de consorcios microbianos mixtos de diferentes provincias (Macas- Amazonía), y (Andes- Pichan Central). En el primer estudio se obtuvo que la configuración de MFC con 12, 1 tuvo un comportamiento más estable (9), la que fue empleada, en el segundo caso con proporciones diferentes de sustratos (10), finalmente en el tercer estudio buscando fines aplicativos se investigó la influencia de la DBO de aguas residuales de lavado de arroz en la generación de bioelectricidad en una MFC como biosensor (11).

La configuración MFC seguirá evolucionando de acuerdo al propósito de requerimiento energético y biodegradación o tratamientos de desechos orgánicos, donde las células bacterianas en el ánodo del MFC consumirán el sustrato como combustible y la transferencia de electrones se dará al electrodo, generando bioelectricidad a medida de la degradación del sustrato. En el primer trabajo se alcanzó voltajes máximos en promedio de 364, 50 mV; en el segundo caso fue de 110, 52 mV; y en el tercer caso como estudio de la MFC como biosensor de la DBO sus valores fueron de 33, 16 mV.

MATERIAL Y METODOS

Se desarrollaron tres tipos de experimentos en los cuales se utilizaron para todos los casos consorcios microbianos mixtos provenientes del suelo del páramo Pichan Central 763143E - 9833826N. La adecuación de las celdas se estableció en recipientes de polietileno para todos los casos, operados a temperatura ambiental, y el oxígeno fue el aceptor final de electrones provisto desde la atmósfera

natural.

Caso 1. Amazonía-Andes.

Se estructuraron Celdas de Combustibles Microbianas de cámara simple, el compartimento anódico estuvo formada por una mezcla de suelo y materia orgánica; sobre esta capa se ubicó una capa de combinación de suelo y carbón activado (9) y esto en contacto directo con el compartimento catódico (Figura. 1), se estableció tres volúmenes de prueba 4, 12 y 20 litros con 3 repeticiones cada una, y mediante conexiones hacia el exterior se formó un circuito. El monitoreo diario se realizó manualmente a través de un multímetro (Digital Multímetro DT-832) por el transcurso de 171 días. (9). La Relación sustrato utilizado en la conformación de una MFC se observa en el cuadro 1.

Cuadro 1. Relación Sustrato MFC - Suelo de Páramo

CASO 1			
Volumen MFC (L)	Cantidad total de Suelo (Kg)	Cantidad de Residuos Orgánicos Total (Kg)	Cantidad de Carbono Vegetal (g)
20	10.5	4.5	200
12	6.3	2.7	120
4	2.1	0.9	40

Figura 1. Caso 1. Celda de Combustible Microbianas con Residuos Orgánicos Celdas de Combustible Microbianas 20 L



Celdas de Combustible Microbianas 12 L



Celdas de Combustible Microbiano de 4 litros



Fuente: Logroño, W. 2014

Caso 2. Prueba con diferentes sustratos

Se configuraron celdas de cámara simple de 12 litros, (Figura 2); con 3 proporciones distintas con 3 réplicas correspondientes; siendo la MFC de mejor generación y estabilidad en producción de bioelectricidad, se instalaron sensores de temperatura (Sensor de temperatura DS18B20), y pH (American Marine PINPOINT pH Probe Arduino) colocados en la pared interna de las celdas situados en el compartimento anódico y sensores de voltaje conectados a una tarjeta electrónica (Arduino Mega 2560 R3) para su respectivo monitoreo, la transmisión de datos fue de forma inalámbrica a un servidor receptando cada 10 minutos durante 60 días utilizando módulos XBEE PRO S2. El diseño y control del sistema de adquisición se lo realizó en Labview y procesamiento de datos se utilizó Excel (10). En el cuadro 2 se puede observar la relación de residuos orgánicos.

Cuadro 2. Relación proporción de Residuos Orgánicos – Suelo de Páramo

CASO 2		
Relación de las proporciones	Cantidad de Residuos Orgánicos Frutas (g)	Cantidad de Residuos Orgánicos Vegetales (g)
Proporción 1 50:50	125	125
Proporción 2 75:25	63	188
Proporción 3. 25:75	188	63

Figura 2. Caso 2. Celda de 12 Litros Indicar con flechas los sensores en las fotos, y describir en la leyenda de la figura



Fuente Armas, P., Ramirez, G. 2014

Caso 3. MFC- Biosensor

Se utilizó una configuración de cámara simple con un volumen útil de 3.5 L invertido donde el compartimento superior anódico servía para la entrada del agua residual sintética de lavado de arroz saturando a una velocidad de alimentación de 94 ml cada 24 h con el fin de evitar la sobresaturación en la matriz MFC. El fluido descendía por efecto de la gravedad al compartimento aeróbico (11). Se observó una interacción entre la producción de voltaje y la concentración de DBO del agua sintética (Figura 3). El monitoreo y la transmisión de datos se efectuó a través de una tarjeta electrónica (Arduino Mega 2560 R3) conectado a un servidor y asistido por el software Labview (11). Las diferentes concentraciones y la cantidad necesaria de agua residual sintética proporcionada en la MFC se muestran en el cuadro 3.

Cuadro 3. Relación Sustrato – Agua Residual Sintética

CASO 3		
MFC	Cantidad de Materia Orgánica DBO (ppm)	Preparación del Agua Residual Almidonada
SMFC1	10	1000 ml de Agua Destilada + 14.175 g de arroz
SMFC2	100	1000 ml de Agua Destilada + 56.7 g de arroz
SMFC3	200	1000 ml de Agua Destilada + 226.8 g de arroz

Figura 3. Caso 3. MFC- sensor



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características del Suelo – Páramo Pichan

Se estableció que el suelo de Paramo Pichan Central posee una cantidad de cationes elevados, más aun encontrándose porcentajes considerables de materia or-

gánica a profundidades de hasta 40 cm

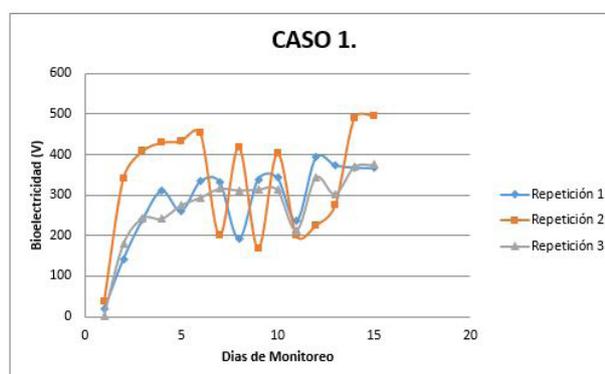
Cuadro 4. Caracterización Física- Química de Suelo- Páramo Pichan Central

CASOS DE ESTUDIO	MÉTODO OLSEN					
	PH	%MO	CE (µS)	NH4 (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)
CASO 1 “Producción de Bioelectricidad a partir de residuos orgánicos” 24/02/2013 (9)	4.6 Ac	3.2M	138.7 no salino	22.5B	79,5A	957,3A
CASO 2 “Generación de bioelectricidad con diferentes matrices” 20/05/2014 (10)	5.5 Lac.	3,7M	203 no salino	11.5B	68.1A	0,24B
CASO 3. “Estudio DBO con respecto a la generación de bioelectricidad” 02/12/2014 (11)	5.4 Lac.	2.0B	170 no salino	9.1B	40.3A	0.96A

Fuente: (Logroño., W. 2015 - 2016)

PRODUCCIÓN DE BIOELECTRICIDAD

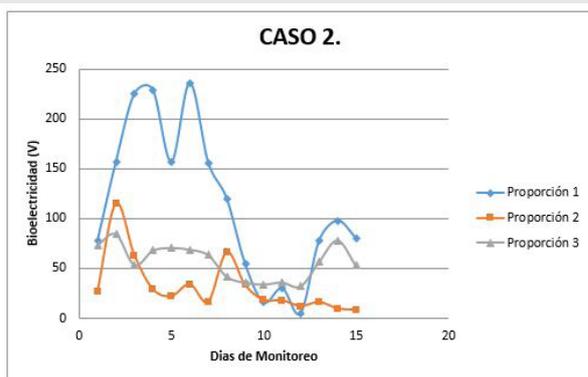
Figura 4. Producción de Bioelectricidad (MFC de mayor productividad y estabilidad)



En la Figura 4 se observa un crecimiento exponencial de los voltajes generados por los microorganismos de la región Andes de la celda de 12 Litros; durante los primeros días de la experimentación, manteniéndose alto pero variable, pero en términos generales un desempeño aceptable (9)

Considerando las celdas conformadas en la Amazonia y Andes (Pichán Central) se establece que es favorable utilizar consorcios microbianos de Andes; sugeridos de acuerdo a su alta actividad electrogénica. En la Figura 4 se observa los valores máximos de voltaje de 496 mV y mínimos de 2.5 mV con un promedio de generación de 296 mV para el caso más estable y de mayor productividad, por tal motivo datos y/o valores de voltaje para el caso de la Amazonía no han sido mostrados.

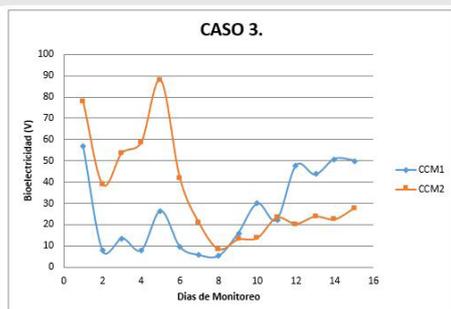
Figura 5. Producción de Bioelectricidad a diferentes proporciones de residuos orgánicos



La Figura 5 identifica una inestabilidad del voltaje de salida que puede ser explicado por condiciones experimentales y de la operación de las MFCs. Al final del experimento, los residuos ricos en celulosa no sufrieron ningún cambio significativo; mientras que los residuos de frutas se observaron completamente degradados, lo que sugiere la preferencia por consorcios microbianos a residuos fácilmente biodegradables, en medios enriquecidos con glucosa, almidón y proteínas (10).

En la figura 5 se observa la celda con proporción 1 y proporción 3 generando picos de voltajes superiores a los 230 mV, y mínimos de 30 mV. El principal hallazgo en este estudio fue que las celdas de combustible microbianas que recibieron cantidades mayores de residuos de frutas, indicaron una mejor actividad microbiana en la degradación de materia orgánica y consecuentemente en la actividad electrogénica.

Figura 6. Producción de Bioelectricidad a partir de aguas residuales sintéticas del lavado de arroz



Los resultados de la Figura 6 indicaron que el voltaje de salida de la CCM1 fue casi dos veces la de CCM2, y requiere menos tiempo para alcanzar la fase estable, por lo tanto esta sugerido que la concentración de DBO tenía incidencia en el voltaje de las CCM (11). La cantidad de voltaje máximo y mínimo durante la etapa de monitoreo alcanza valores de 179.6 mV y 0.3 mV, respectivamente (11).

La producción de bioelectricidad a partir de aguas residuales sintéticas del lavado de arroz (Figura 6) muestra una relación y estabilidad proporcional a la cantidad de concentración suministrada; indicando su actividad como como biosensor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (11) (12).

Para producir una cantidad de voltaje significativa (> 200 mV) de generación mínima constante se utilizará configuraciones que ocupen residuos orgánicos (vegetales y frutas) (9). Para establecer estudios aplicativos la configuración se podrá mantener o invertir; sin embargo la producción de voltaje estará en rangos menores a 50 mV; siendo el objetivo un previo monitoreo de aguas residuales almidonadas obteniendo un valor agregado de producción de bioelectricidad en sus salidas (11).

CONCLUSIONES Y FUTURAS PERSPECTIVAS

La evolución en la configuración de una Celda de Combustible Microbiana está sujeta a los requerimientos experimentales y miras aplicativos. La evidencia de los estudios realizados demuestra que las CCM pueden tener un impacto significativo en Ecuador, y abre perspectivas a futuras investigación para desarrollo de dispositivos que puedan ser aplicados al campo ya sea como biosensores o que puedan generar requerimientos energéticos para dispositivos de bajo consumo. Los estudios preliminares indican que las capacidades oxido reduc-

toras de los microorganismos del suelo alto andino pueden ser un objetivo claro de investigación para indagar futuras aplicaciones. Esto se confirma mediante la bioelectricidad que ha sido generada en las CCM configuradas con Suelos de Páramo Pichan Central.

La tecnología MFC presenta un gran potencial ya que busca la integración de tecnologías para dar valor agregado mediante el tratamiento, monitoreo y reutilización de residuos.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Energías Alternativas y Ambiente en el apoyo e interpretación de resultados.

Al Ing. Miguel Carrasco por el apoyo en la adecuación al formato de la revista.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores no demuestran conflicto de intereses

R eferencias

1. Guambo A, Allauca G. Estudio de la influencia de la demanda bioquímica de oxígeno de aguas residuales en la producción de bioelectricidad de una Celda de Combustible Microbiano. [Tesis de pregrado]. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Chimborazo, Ecuador, 2015. pp. 20
2. Rodríguez, F.C. Bioenergética microbiana. Biotecnología Ambiental., Madrid., España, Editorial Tebar., 2005., pp., 65-93. E-book.
3. Page S, Anbuky A, Krumdieck S, Brouwer J. Test Method and Equivalent Circuit Modeling of a PEM Fuel Cell in a Passive State. IEEE Transactions On Energy Conversion. 2007; 22 (3): 764-773. ISSN: 0885-8969. DOI: 10.1109/TEC.2007.895857. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/3270692_Test_Method_and_Equivalent_Circuit_Modeling_of_a_PEM_Fuel_Cell_in_a_Passive_State. pp. 764-77
4. Logan Bruce E, et al. Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology. 1 de Septiembre de 2006, Revista Científica: Environmental Science & Technology, Vol. 40, No. 17. DOI: 10.1021/es0605016. p 40
5. Zhang D, GE W Wang. Study of a Terrestrial Microbial Fuel Cell and the Effects of its Power Generation Performance by Environmental Factors. Published in: Proceedings of the 2013 International Conference on Advanced Mechatronic Systems, September. Luoyang, China: 27 de Septiembre de 2013, IEEE Transactions On Energy Conversion. ISSN: 2325-0682. DOI: 10.1109/ICAMechS.2013.6681825 pp. 25-27
6. Revelo Dolly M, Hurtado Nelson H, Ruiz Jaime O. Celdas de combustible microbianas (CCMS): un reto para la remoción de materia orgánica y la generación de energía eléctrica. 2013. 6, La Serena : s.n., 2013, SciELO, Vol. 24, No 6. ISSN 0718-0764. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642013000600004&script=sci_arttext pp. 17-28
7. Chen Chih-Yu, Chen Tzu-Yu, Chung Ying-Chien. A comparison of bioelectricity in microbial fuel cells with aerobic and anaerobic anodes. 3 de Agosto de 2014. Revista Científica: Environmental Science & Technology. Vol. 35. 2014
8. Logan, Bruce E, Regan John M. Microbial fuel cells-challenges and applications. Environmental Science & Technology, vol. 40. No. 17. 2006. pp. 5172-5180.
9. Logroño Washington N, et al. Bioconversión de Residuos Sólidos Orgánicos con Suelos de la región Amazónica y Alto Andina del Ecuador en Celdas de Combustible Microbiano de Cámara Simple. Información tecnológica, 2015, vol. 26, no 2, doi: 10.4067/S0718-07642015000200008. pp. 61-68

10. Logroño Washington, et al. Bioelectricity generation from vegetables and fruits wastes by using single chamber microbial fuel cells with high Andean soils. *ELSEIVER/ScienceDirect/Energy Procedia, The 7th International Conference on Applied Energy – ICAE, 2015, vol. 75, pp. 2009-2014*
11. Logroño Washington, et al. A Terrestrial Single Chamber Microbial Fuel Cell-based Biosensor for Biochemical Oxygen Demand of Synthetic Rice Washed Wastewater. *Sensors, 2016, Vol. 16, No 1, pp. 101*
12. Chang In Seop, et al. Continuous determination of biochemical oxygen demand using microbial fuel cell type biosensor. *ELSEIVER/ScienceDirect/Biosensors and Bioelectronics, 2004, Vol. 19, No 6, p 607-613*
13. Prasertsung Nattakarn, Ratanatamskul Chavalit. Effects of organic loading rate and operating temperature on power generation from cassava wastewater by a single-chamber microbial fuel cell. *Desalination and Water Treatment, DOI:10.1080/19443994.2013.826405, 2014, Vol. 52, No 4-6, pp. 937-946*
14. Liu Hong, Ramnarayanan Ramanathan, Logan Bruce E. Production of electricity during wastewater treatment using a single chamber microbial fuel cell. *Environmental science & technology, DOI: 10.1021/es034923g, 2004, vol. 38, no 7, pp. 2281-2285*