Facultad de Ciencias Naturales y Exactas
Universidad del Valle

ACTIVIDAD ELECTROGÉNICA DE LODOS DEL LAGO DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE

Mara Alejandra Fernández O.
Universidad del Valle

Enrique Bravo M.
Universidad del Valle

William H. Lizcano-Valbuena
Universidad del Valle

Recibido: octubre 11, 2012 Aceptado: noviembre 26, 2012

Pág. 161-167

Resumen

En este trabajo se estudió la respuesta electrogénica de lodos y aguas provenientes del lago del campus de la Universidad del Valle, con un pH entre 7,60 y 7,96 sin renovación del combustible microbiano durante 34 días mediante curvas de potencial de celda vs. densidad de corriente obtenidas en una celda de combustible microbiana sedimentaria (SMFC), de una cámara, en condiciones que pueden considerarse anaeróbicas, usando materiales de bajo presupuesto. El desempeño de esta SMFC dio como densidad de potencia máxima 0,018 $\mu W/cm^2$ en el día 19 de la operación. La obtención de imágenes de electrón secundario del ánodo permitió visualizar el comienzo de la formación de una biopelícula microbiana, posiblemente responsable de la actividad electrogénica encontrada.

Palabras claves: Celda de combustible microbiana, microorganismos electrogénicos, lodos lacustres.

Abstract

In this work, the electrogenic response of sludge and water from the lake in the campus at Universidad del Valle (Cali, Colombia) was studied. Observations were made during 34 days at pH 7.60 to 7.96 and without microbial fuel renewal by curves of cell potential vs. current density obtained in a sedimentary microbial fuel cell (SMFC) of one chamber, under anaerobic conditions, using inexpensive materials. The performance of this MFC gave maximum power density of 0.018 $\mu W/cm^2$ at day 19 of operation. Obtaining secondary electron images allowed visualizing the beginning of microbial biofilm formation on the anode possibly responsible for the electrogenic activity found.

Keywords: Microbial fuel cell, electrogenic microorganisms, lake sludge.

1 Introducción

Las aguas con altos niveles de materia orgánica biodegradable como las domésticas o algunos tipos de aguas industriales, han ganado importancia, no solo por la necesidad de su potabilización, sino también por el potencial aprovechamiento para la conversión de esta materia en energía empleando celdas de combustible microbianas (*Microbial fuel cell*, MFC) las cuales son capaces de capturar los electrones producidos durante los procesos metabólicos de óxido-reducción microbianos generando electricidad [1]. Sin embargo, este sistema posee limitaciones como es la relación costo-efectividad de los materiales

que restringen su aplicación industrial. Diferentes investigaciones han demostrado la influencia de diversos factores sobre el desempeño de una MFC: (i) la configuración del reactor [2], (ii) el tipo de materiales de los electrodos [3], (iii) la distancia entre electrodos [2], (iv) el tipo de inóculo [4], (v) la temperatura de operación [5], (vi) el pH [2], (vii) el mediador del transporte de los electrones entre el microorganismo y el electrodo [6], (viii) el área superficial de los electrodos [4], (ix) el tamaño del reactor [7] y (x) el tiempo de operación [6].

Numerosas investigaciones se han enfocado en aumentar la eficiencia de estos sistemas. Se ha utilizado una extensa gama de diseños de sistemas en MFC para mejorar el rendimiento del reactor en términos de la tensión de salida, la eficiencia de Coulomb, la estabilidad y la longevidad [8]. Algunos de estos diseños son: (i) un sistema que contiene un puente salino [9], (ii) sistema con cámaras separadas por la membrana (sin tubo) y unidas por pernos [10], (iii) MFC tipo fotoheterotrófica [11], (iv) de una sola cámara donde el cátodo está aireado [12], (v) sistema de dos cámaras tipo-H donde la cámara anódica y catódica son burbujeadas con gas inerte [13]. No menos importante es el estudio de la biodiversidad bacteriana y cómo el metabolismo de las mismas favorece los procesos de electrogeneración [8]. Algunos reportes obtenidos con MFC de doble cámara con biopelículas aclimatadas muestran valores de densidad de potencia de 4,310 mW/m^2 y eficiencia de Coulomb hasta de un 89% [14-17].

La presente investigación pretende contribuir al estudio de la generación de electricidad con un menor impacto ambiental aprovechando el potencial existente en sistemas microbianos que contienen bacterias electrogénicas. En particular, este reporte presenta los primeros resultados de actividad electrogénica de las aguas y lodos del lago de la Universidad del Valle empleando el primer sistema de bajo presupuesto construido en nuestros laboratorios.

2 Metodología

En este trabajo se usó una MFC de una cámara, construida usando un recipiente de plástico y dos electrodos de tejido de carbono como colector/soporte de corriente en los electrodos. El ensayo utilizó lodos y aguas procedentes del lago de la Universidad del Valle, para alimentar la cámara anódica microbiana, sin restablecer el combustible (substrato) a medida que se consumía en el transcurso del experimento.

2.1 Diseño de la celda

La celda de un compartimiento se construyó en plástico con un volumen de 1,6 L. En ella se introdujeron dos electrodos de tejido de carbono, con dimensiones de 4,5 x 4,5 cm^2. Se utilizó un alambre de acero inoxidable para conectar el circuito.

2.2 Preparación del tejido de carbono para los electrodos

La preparación de los electrodos se llevó a cabo tratando inicialmente el tejido de carbono (Stackpole), con área aproximada de 20,25 cm^2, con ácido nítrico 0,5 M y posteriormente con un tratamiento térmico a condiciones de temperatura y tiempo adecuadas.

En el caso particular del cátodo, sobre el tejido se depositó Pt/C 20% p/p, de Electrochem, Inc. mediante un proceso de pintado [14], empleando una tinta catalítica preparada con el catalizador soportado de Pt y solución de Nafion® (Aldrich al 12% en peso en alcoholes de bajo peso molecular. La carga de Pt/C (20% p/p) fue de 0,125 g/cm^2 [18].

2.3 Análisis del crecimiento microbiano por SEI

Los análisis de la biopelícula en el tejido microbiano se realizaron por imágenes de electrón secundario (SEI) empleando un microscopio electrónico Jeol modelo JMS-6490LV. Se fijaron dos muestras del ánodo en glutaraldehído a una temperatura de 0 ºC durante 40 horas y posteriormente se realizaron lavados con agua destilada nuevamente a 0 ºC. Para deshidratar el electrodo, este fue sumergido en concentraciones crecientes de etanol entre 30 y 99,8% (v/v). El secado se realizó introduciendo las muestras durante 30 segundos en 1, 1, 1-trimetil-N-(trimetilsilil) Silaramine (HMDS).

2.4 Evaluación de actividad electrogénica de las aguas del lago

La evaluación de actividad electrogénica en las aguas del lago se realizó por medio de la colecta de curvas potencial de la celda vs. densidad de corriente variando una resistencia externa variable de 1.000 kΩ. Los valores de potencial y corriente se registraron usando dos multímetros digitales (UNI-T UT70A). La densidad de corriente fue normalizada por el área geométrica del ánodo.

3 Resultados y discusión

3.1 Medidas electroquímicas

Se realizaron curvas de potencial de celda vs. densidad de corriente durante 34 días con el fin de observar el desempeño del sistema, encontrando actividad electrogénica desde el comienzo. En la figura 1A se observa la curva de potencial de celda vs. j para el día 19 la cual presenta un comportamiento lineal, indicando que la pendiente de la misma es igual a la resistencia interna del sistema [3], en este caso, de 544,49 Ω , siendo resultado de: i) la resistencia de los electrolitos y las diferentes partes del sistema que generan caídas óhmicas, ii) la resistencia a la transferencia de carga en la superficie de los electrodos, lo cual afecta la cinética de las reacciones y iii) los problemas de transporte de masa hasta la superficie de los electrodos debidos a dificultades en general de difusión de las especies [19]. Dado que la difusión en un medio sólido como un lodo, es difícil por el restringido movimiento entre los átomos, el transporte de masa fue un importante factor a considerar cuando las especies electroactivas que alimentaban a los microorganismos exoelectrogénicos se consumieron en la doble capa y fue necesario suplir y recurrir a las especies presentes en el seno de la solución.

El comportamiento de los valores de potencia máxima observados con el tiempo (figura 1B) muestra que hay un período de latencia al inicio (0 – 5 días) donde la densidad de potencia producida es pequeña, después del cual hay un rápido aumento de la corriente asociado con el crecimiento exponencial de las células bacterianas en el medio, lo cual indicó el incremento del número de bacterias en el ánodo [20] alcanzando un valor máximo

igual a 0,0180 μW/cm^2 el día 19, a partir del cual se observó una oscilación de los valores de potencia máxima hasta el día 30, diferente de un comportamiento de valores de potencia estables esperado siempre que la disponibilidad de combustible microbiano sea suficiente [3]. Este comportamiento oscilatorio puede ser atribuido al fenómeno de "sucesión autógena bacteriana", el cual consiste en que unas especies bacterianas van agotando sus nutrientes y acumulando sustancias de desecho, modificando el microambiente del entorno y preparando el terreno para la proliferación de otras especies bacterianas que utilizarán como nutrientes las sustancias de desecho de las cepas bacterianas precedentes [21]. Hacia el día 25 los valores de densidad de potencia comenzaron a disminuir manteniendo el comportamiento oscilatorio, probablemente por la falta del combustible empleado por los microorganismos para generar corriente.

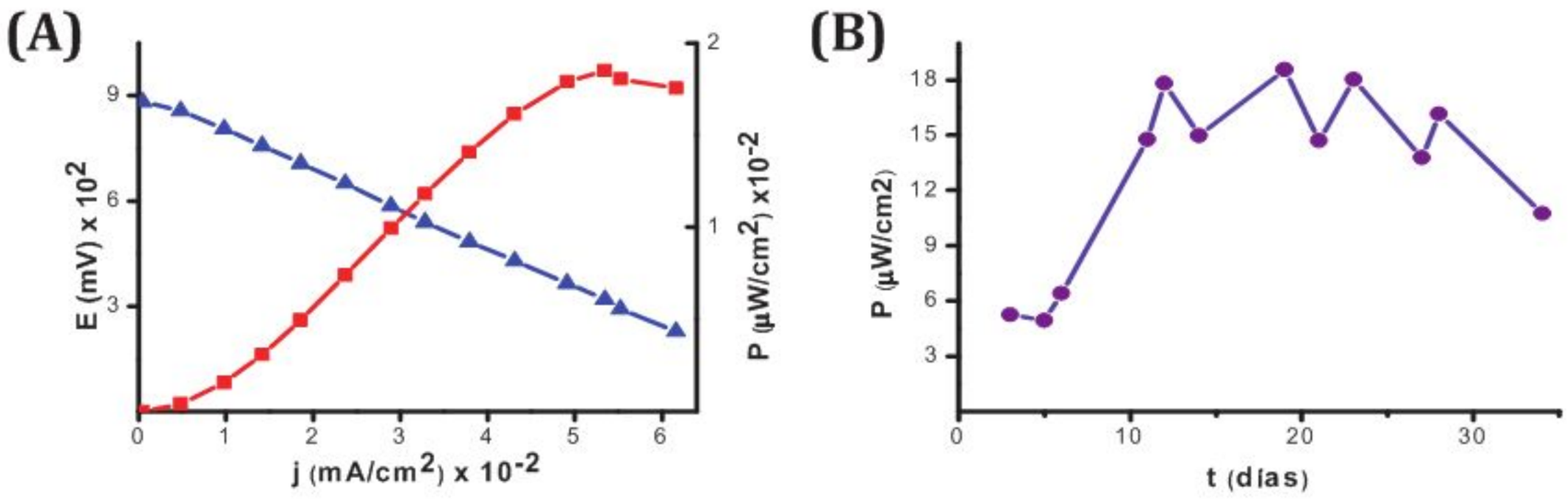

Figura 1. *A) Potencial de celda vs. densidad de corriente (▲) y densidad de potencia vs. densidad de corriente (■) con electrodos de tejido de carbono en el día 19 de operación de la celda, B) Densidad de potencia máxima vs tiempo (●) de la MFC construida operando con lodos del lago.*

Esta MFC presenta valores de densidad de potencia notables bajo las condiciones en que fue operada, lo que muestra la necesidad de estudiar más a fondo aspectos como la diversidad bacteriana presente, los mecanismos de transferencia de carga y también el mejoramiento de la eficiencia de estos dispositivos, dado que la MFC se mantuvo en funcionamiento tras un periodo de 34 días sin ser sustituido el combustible microbiano, sugiriendo que el agua y el lodo del lago poseen una importante concentración de especies químicas electroactivas usadas en el metabolismo de los microorganismos electrogénicos. La comparación de los resultados no es fácil de llevar a cabo con otras MFCs y su eficiencia, debido a los diferentes montajes que se reportan en cada laboratorio, las condiciones medioambientales y la alta variabilidad en la microbiología de cada sistema estudiado.

3.2 Análisis de la biopelícula por imágenes de electrón secundario (SEI)

Al realizar el análisis de la biopelícula encontrada sobre el tejido de carbono por imágenes de electrón secundario (SEI) después de 34 días de operación, se observó la formación de una incipiente biopelícula en la superficie del ánodo, las células bacterianas no cubrieron completamente la superficie del ánodo como se ha reportado en otros estudios (Figura 2). Posiblemente, la formación de la biopelícula bacteriana tarda más en celdas sedimentarias, con un contenido de materia orgánica probablemente inferior al de las aguas residuales domésticas o industriales, que inducen la formación de biopelículas anódicas más pobladas en un periodo de tiempo de operación de la MFC similar al utilizado en este experimento. Por otro lado, los mecanismos de transferencia electrónica en este

sistema pueden involucrar a los mediadores redox, también conocidos como lanzadores de electrones al ser sustancias que actúan como intermediarios entre la membrana celular y el ánodo. Estos mediadores harían del contacto directo de las bacterias con el electrodo, pero éstas podrían quedar posicionadas en el medio sedimentario, es decir, en el lodo, mas no directamente en el electrodo.

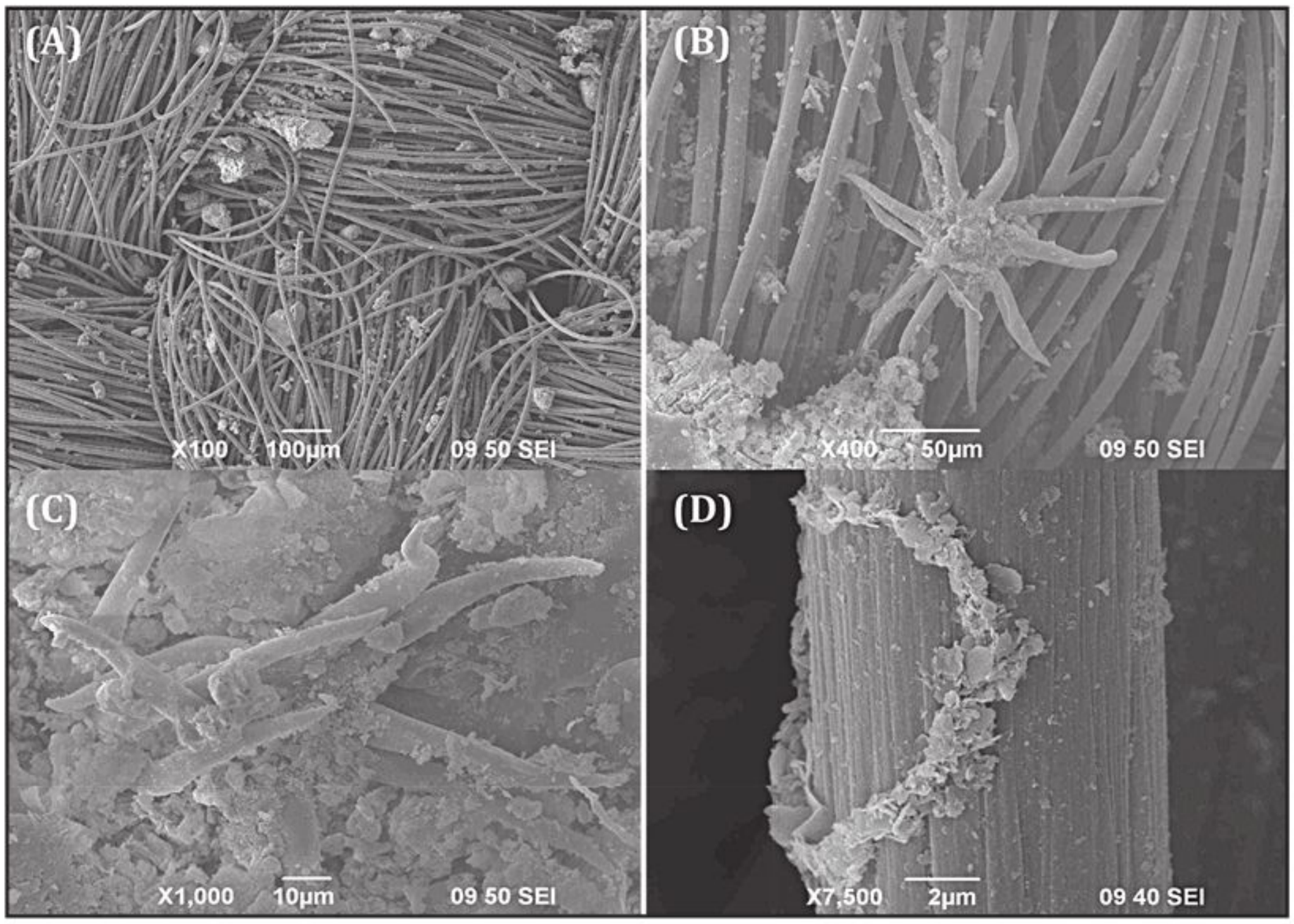

Figura 2. *Imágenes SEI del ánodo de tejido de carbono de la MFC. (A) Tejido de carbono al aumento de 100 X; (B) y (C) Biopelícula incipiente sobre el ánodo, incluyendo la presencia de lo que parece ser un protozoario, observados a 400 y 1.000 aumentos, respectivamente; (D) Biopelícula en formación sobre el filamento de carbono anódico, observada a 7.500 aumentos.*

4 Conclusiones

Lodos del lago de la Universidad del Valle usados en una MFC de bajo presupuesto y una cámara mostraron una interesante actividad catalítica para la potencial oxidación de materia orgánica o inorgánica. Los lodos del lago muy posiblemente poseen una biota microbiana que involucra bacterias con gran actividad electrogénica, además de una alta concentración de nutrientes orgánicos e inorgánicos. Se están adelantando estudios más detallados sobre la diversidad microbiana del lago y de la composición química de sus sedimentos.

Agradecimientos

A la Universidad del Valle por la financiación para la ejecución de este proyecto. M. A. F. desea agradecer en particular a la estudiante de química Gisella Ibáñez, al estudiante de biología Felipe Vejarano y al químico Alfredo Calderón por su colaboración en la construcción del montaje y del sistema de medición de las curvas potencial de celda vs. densidad de corriente.

Referencias bibliográficas

[1] Daniel, D.; Mankidy, B.; Ambarish, K.; Manogari, R. (2009). Construction and operation of a microbial fuel cell for electricity generation from wastewater, *Int. J. of Hydrogen Energy, 34*: 7555-7559.

[2] Vázquez, A.; Ríos, E.; Solorza, O.; Poggi, H. (2010). Influencia de la temperatura sobre las características y desempeño de celdas de combustible microbiana, México: Editorial CINVESTAV, 147-159.

[3] Logan, B.; Hamelers, B.; Rozendal, R.; Schröder, U.; Keller, J.; Freguia, S.; Aelterman, P.; Verstraete, W.; Rabaey, K. (2006). Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology, *Environ. Sci. Technol. 40* (17): 5181-5192.

[4] Berk, R.; Canfield, J. (1964). Bioelectrochemical energy conversión, *Appl. Microbiol. 12:* 10-12.

[5] Rao, J; Richter, G.; Von Sturm, F.; Weidlich, E. (1976). The performance of glucose electrodes and the characteristics of different biofuel cell constructions, *Bioelectrochem.Bioenerg. 3*: 139-150.

[6] Davis, J.; Yarbrough, H. (1962). Preliminary experiments on a microbial fuel cell, *Science 137*: 615-616.

[7] Cohen, B. (1931) The bacterial culture as an electrical half-cell, *J. Bacteriol. 21*: 18-19.

[8] Kong, W.; Guo, Q.; Wang, X.; Yue, X. (2011). Electricity Generation from Wastewater Using an Anaerobic Fluidized Bed Microbial Fuel Cell, *Ind. Eng. Chem. Res. 85*: 621-630.

[9] Min, B.; Cheng, S.; Logan, B. (2005). Electricity generation using membrane and salt bridge microbial fuel cells, *Water Res. 39*: 1675-1680.

[10] Rabaey, K.; Boon, N.; Hofte, M.; Verstraete, W. (2005). Microbial phenazine production enhances electron transfer in biofuel cells, *Environ. Sci. Technol. 39*: 3401- 3407.

[11] Rosenbaum, M.; Schröder, U.; Scholz, F. (2005). *In situ* electrooxidation of photobiological hydrogen in a photobioelectrochemical fuel cell based on *Rhodobacter sphaeroides*. *Environ. Sci. Technol. 39*: 6328-6335.

[12] Liu, H., Logan, B. E. (2004). Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell in the presence and absence of a proton exchange membrane, *Environ. Sci. Technol. 38*: 4040-4051.

[13] Logan, B. E., Murano, C., Scott, K., Gray, N. D., Head, I. M. (2005). Electricity generation from cysteine in a microbial fuel cell, *Water Res. 39*: 942-952.

[14] Logan, B. (2004). Biologically extracting energy from wastewater: Biohydrogen production and microbial fuel cells *Environ. Sci. Technol. 38* (9): 160-167.

[15] Bennetto, H. P. (1990). Electricity generation by microorganisms, *Biotechnol. Educ. 1*: 163-170.

[16] Rabaey, K., Lissens, G., Siciliano, S. D., Verstraete, W. (2003). A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency *Biotechnol. Lett.* 25: 1531-1539.

[17] Rabaey, K., Boon, N., Siciliano, S. D., Verhaege, M., Verstraete, W. (2004). Biofuel cells select for microbial consortia that self-mediate electron transfer *Appl. Environ. Microbiol. 70*(9): 5373-5380.

[18] Riyazuddin, P. (1991). Fabrication of a multipurpose graphite electrode assembly, *J. Chem. Educ. 68* (4): 342-346.

[19] Vázquez, A., Ríos, E., Solorza, O., Poggi, H. (2010). Efecto del tipo de inóculo sobre el desempeño de una celda de combustible microbiana de nuevo diseño, México: Editorial CINVESTAV, 133-140.

[20] Richter, H., McCarthy, K., Nevin, K., Johnson, J., Rotello, V., Lovley, D. (2008). Electricity Generation by *Geobacter sulfurreducens* Attached to Gold Electrodes, *Langmuir 24* (8): 4376-4382.

[21] Jaramillo, D. (2003). Fundamentos de odontología: odontología pediátrica, 3ra. Ed. Colombia: Editorial CIB, 72-77.

Dirección de los autores

Mara Alejandra Fernández O.
Departamento de Química, Universidad del Valle, Cali - Colombia
alejafer13@gmail.com

William H. Lizcano Valbuena
Departamento de Química, Universidad del Valle, Cali - Colombia
william.lizcano@correounivalle.edu.co

Enrique Bravo M.
Departamento de Biología, Universidad del Valle, Cali - Colombia
enrique.bravo@correounivalle.edu.co