

# Revista CiBIyT

Publicación de difusión científica e investigación multidisciplinaria  
Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnología



**5** Simposio Nacional  
de Ingeniería Química  
y Bioquímica Aplicada.

*Comité ditorial del 5° Simposio Nacional  
de Ingeniería Química y Bioquímica Aplicada*

Dr. Víctor Manuel Ovando Medina  
Dra. Elsa Cervantes González  
Dr. Miguel Angel Corona Rivera  
Dr. José Elías Pérez López

*Editores invitados*

Dr. José Antonio Rodríguez de la Garza  
Dra. Silvia Y. Martínez Amador  
Dr. Alfredo Márquez Herrera  
Dra. Zaira Pineda Rico  
Dra. Iveth D. Antonio Carmona  
Dra. Lorena Farías Cepeda  
Dr. Isidro Palos Pizarro  
Dra. Lucero Rosales Marín  
Dra. Shirley Carro Sánchez  
Dra. Nancy V. Pérez Aguilar  
Dr. Hugo Martínez Gutiérrez  
M.C. José Luis Argüelles Ojeda  
Dr. Francisco J. Martínez López  
Dra. Martha Alejandra Cerpa Gallegos  
Lic. Eduardo Arciniega Vázquez  
Dr. Omar González Ortega  
Q. Camerina J. Guzmán Álvarez  
Lic. América Pecina  
Dra. Candy Carranza Álvarez  
Dr. Hugo Martínez Gutiérrez

Revista CiBlyT está indizada en Latindex

*Revista CiBlyT*, septiembre de 2016, año 11, número 32, es una publicación cuatrimestral de difusión científica e investigación multidisciplinaria, fundada en 2004. Editada por Arnulfo Feliciano Sánchez Cortés. Mariano Matamoros 702, Col. Centro, Apizaco, Tlax. C. P. 90300, Tel: (01 241) 417 58 44, e-mail: ciblyt@hotmail.com y ciblyt@gmail.com.

Reserva de Derechos de uso exclusivo de título otorgado por el INDAUTOR: 04-2007-090509361300-102. ISSN: 1870-056X, con Licitud de Título y Licitud de Contenido en trámite. Impresa por Digitimagen, Esmeralda 501, San Luis Apizaquito, Apizaco, Tlax. C.P. 90401, Tel: (01 241) 417 72 28. Este número se terminó de imprimir el 10 de septiembre de 2016 con un tiraje de 1,000 ejemplares.

El **materias de investigación publicado es original e inédito** en las áreas de Ingeniería, de Ciencias Sociales y de Ciencias Exactas. La **autorización** para la publicación de los artículos es **responsabilidad exclusiva de los autores**. Cada artículo es propiedad intelectual de su autor(es), así como la institución de procedencia del autor(es) es propietaria del resultado de esas investigaciones. Las opiniones expresadas por los autores no reflejan la posición del editor. Se podrá autorizar solo la reproducción parcial de los contenidos para fines académicos y sin fines de lucro con previa autorización del editor y con la mención de la fuente.

Los requisitos de publicación aparecen en cada número publicado.

*Revista CiBlyT*

*Directorio editorial*

Arnulfo Sánchez Cortés  
*Director y Editor*

Ivonne Ilhuicatzí Cortés  
*Coordinador Editorial*

Roberto Carlos Cruz Becerril  
*Coordinador de Arbitraje*

Silvia Tomasa Rivera del Ángel  
*Asesora Editorial*

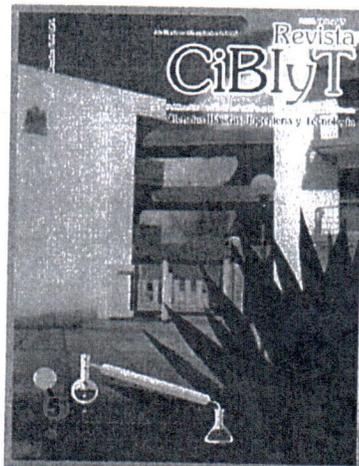
José Botello Hernández  
*Coordinador de Diseño Gráfico y Edición*

María Isabel Silva Aldrete  
*Corrección y Revisión de Textos*

María de los Ángeles Patiño Dorantes  
*Traductora*

Gustavo Sánchez Rodríguez  
*Exprimidor de cerebros*

**Nuestra portada**



*Vista parcial del edificio de Ingenierías  
de la COARA-UASLP donde se imparte la  
carrera de Ingeniería Química  
Foto de América Pecina*

Agradeceremos sus comentarios y sugerencias a:  
ciblyt@hotmail.com  
ciblyt@gmail.com

No olviden visitar nuestro blog:  
<http://revistaciblyt.wordpress.com>

## Consejo de Arbitraje

*Dr. Sergio Eduardo Algarra Cerezo*  
*Dr. Jorge Álvarez Mena*  
*Dr. Jorge Bedolla Hernández*  
*Dr. Marcos Bedolla Hernández*  
*Dr. Saúl Cano Hernández*  
*Dr. Miguel Ángel Carrasco Aguilar*  
*Dra. Shirley Carro Sánchez*  
*Dr. Jorge Luis Castañeda Gutiérrez*  
*Dr. Jorge Castillo Tejas*  
*Dr. José Manuel Cervantes Vázquez*  
*Dra. Barbarela Dávila Carmona*  
*Dr. Nery Delgadillo Checa*  
*Dr. Héctor Domínguez Martínez*  
*Dr. Arturo Elías Domínguez*  
*Dra. Adelina Espejel Rodríguez*  
*Dr. Norberto Farfán García*  
*Dra. Rosa María Flores Hernández*  
*Dr. Vicente Flores Lara*  
*Dra. Leticia Flores Pulido*  
*Dr. Abelardo Flores Vela*  
*Dr. Alan Augusto Gallegos Cuéllar*  
*Dr. Brian Manuel González Contreras*  
*Dr. Antonio Guevara García*  
*Dra. María Elena Hernández Hernández*  
*Dr. Héctor Hugo Hernández Mendoza*  
*Dra. Lidia Patricia Jaramillo Quintero*  
*Dra. Friné López Medina*  
*Dra. Araceli López y López*

*Dra. Ana Berta Luna Miranda*  
*Dra. Margarita Martínez Gómez*  
*Dra. Marva Angélica Mora Lumbreras*  
*Dr. Roberto Morales Caporal*  
*Dr. Miguel Ángel Munive Rojas*  
*Dr. Arturo Ortiz Arroyo*  
*Dr. José Erasmo Pérez Vázquez*  
*Dr. Fernando Pérez Villaseñor*  
*Dr. Alberto Portilla Flores*  
*Dr. Edgar Alfredo Portilla Flores*  
*Dr. P. Malaquías Quintero Flores*  
*Dr. Federico Ramírez Cruz*  
*Dr. Carlos Alberto Reyes García*  
*Dr. J. Margarito Rivera Badillo*  
*Dr. Miguel Ángel Rodríguez Lozada*  
*Dr. Héctor Rosas Lezama*  
*Dr. Rogelio Alberto Sánchez Cortés*  
*Dr. Carlos Sánchez López*  
*Dra. Alejandra Torres López*  
*Dr. Adrián Trevera Juárez*  
*M. C. Antonio Durante Murillo*  
*M. C. Verónica Hernández Ruiz*  
*M. A. María Elena Jiménez Lorenzini*  
*M. C. Marlon Luna Sánchez*  
*M. C. Juventino Montiel Hernández*  
*M. I. A. Carlos Pérez Corona*  
*M. C. Carlos Santacruz Olmos*  
*M. C. Ángela Suárez Rojas*

ISSN: 1870-056X

Fecha: septiembre de 2016

## TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL MUNICIPAL MEDIANTE UN SISTEMA BIOELECTROQUÍMICO A ESCALA PLANTA PILOTO

Pedro Pérez Rodríguez <sup>a</sup>, José Antonio Rodríguez de la Garza <sup>b</sup>, Víctor Manuel Ovando Medina <sup>c</sup>, Luis Alonso Valdez Aguilar <sup>a</sup>, Adalberto Benavides Mendoza <sup>a</sup>, Manuel De La Rosa Ibarra <sup>a</sup>, Silvia Yudith Martínez Amador <sup>a\*</sup>

<sup>a</sup> Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Calzada Antonio Narro 1923, Colonia Buenavista, Saltillo, Coahuila, 25315, México\*, <sup>b</sup> Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma de Coahuila, Bulevar Venustiano Carranza y José Cárdenas Valdés, Colonia República, Saltillo, Coahuila, 25280, México, <sup>c</sup> Ingeniería Química, Coordinación Académica Región Altiplano, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, Carr. Cedral Km 5+600 Ejido San José de las Trojes, Matehuala, S.L.P. 78700, México

silvia.martinez@uaaan.mx\*

Recibido el 15 de abril de 2016.

**Resumen.** En este trabajo, se utilizó una celda de combustible microbiana (12 L) para tratar agua residual municipal en forma secuencial del compartimento anódico hacia el compartimento catódico con un tiempo de retención hidráulica de 36 horas en cada compartimento. Al mismo tiempo, se estudió la generación de energía eléctrica producida a partir de la oxidación de dicho sustrato utilizando un compuesto de espuma de poliuretano/grafito/polipirrol como ánodo y de espuma de poliuretano/grafito como cátodo. Se aplicó una resistencia externa de 5578  $\Omega$ , valor obtenido a partir de la curva de polarización. Se obtuvo una eficiencia de remoción del 92.2% de DQO y 30.4% de sólidos totales. De igual forma, el voltaje, densidad de potencia y eficiencia coulombica máximos alcanzados fue de 107.2 mV, 0.325 mW/m<sup>3</sup> y 0.011%, respectivamente. Los resultados obtenidos fueron comparados con otros anteriormente reportados y mostraron ser prometedores para la aplicación de este tratamiento a escala industrial.

**Abstract.** Municipal wastewater treatment process was carried out in a microbial fuel cell (12 L) in sequential mode (influent first entered the anodic compartment and subsequently the cathodic compartment) with a hydraulic retention time of 36 h. Bioelectrochemical characterization of the cell was also carried out. Composite electrodes were made of polyurethane foam/graphite/polypyrrole as anode and polyurethane foam/graphite as cathode. External resistance (electrical load) used was of 5578  $\Omega$ , obtained from polarization curve experiments. COD removal efficiency was 92.2% and total solids 30.4%. Maximum Voltage, Potential density and Columbic efficiency was 107.2 mV, 0.325 mW/m<sup>3</sup> and 0.011% respectively. Results obtained in the present work shows promising application at large scale in the wastewater treatment process.

**Keywords:** municipal wastewater, microbial fuel cell, composite electrodes

### Introducción

Las celdas de combustible microbianas (CCM) son sistemas bioelectroquímicos que utilizan bacterias para catalizar la oxidación de materia orgánica, produciendo con esto una corriente eléctrica. Los electrones generados en la degradación del sustrato, son transferidos al ánodo y posteriormente al cátodo a través de un material conductor aplicando una resistencia externa [1]. El diseño más utilizado en CCM a microescala es el de doble cámara, el cual consta de un compartimento anódico y un compartimento catódico separados por una membrana de intercambio catiónico. En el compartimento anódico, microorganismos anaerobios oxidan al sustrato, produciendo electrones y protones. Los protones migran desde la región del ánodo al compartimento catódico en la solución acuosa y a través de la

membrana (así como otros cationes de bajo peso molecular). Finalmente, los electrones fluyen a través de un circuito externo del ánodo al cátodo, siendo utilizados para reducir un aceptor de electrones en el compartimento catódico. Recientemente, las aguas residuales y la biomasa lignocelulósica han sido utilizadas como sustratos en las CCM [2, 3].

Actualmente, los polímeros conductores, han comenzado a tener un mayor impacto en áreas relacionadas a la biotecnología. Estos materiales, combinan propiedades eléctricas similares a las de los metales con ventajas propias de los polímeros, como su alta flexibilidad, resistencia a la corrosión y daño mecánico, alta biocompatibilidad y bajos costos de producción. En años recientes, el estudio del polipirrol (PPy) ha incrementado considerablemente. El polipirrol puede ser sintetizado por métodos químicos (oxidación catalizada del pirrol) y electroquímicos (electropolimerización variando el voltaje aplicado) dependiendo la capacidad de producción. Existen múltiples variables que pueden afectar las propiedades de este compuesto; el método de síntesis, tasa de polimerización, naturaleza del solvente, temperatura, y el pH del medio de reacción, por mencionar algunas [4].

### Sección Experimental

**Síntesis de los electrodos:** se utilizó espuma de poliuretano (PU) grado industrial como material base, recubriendo su superficie con grafito en aerosol (Dry Graphite Lube - CRC Industrial) y pirrol monomérico (Sigma-Aldrich, >99 % Toluca, México), añadiendo finalmente el agente oxidante en solución ( $\text{FeCl}_3$ ) para realizar la polimerización química. La espuma PU fue lavada con agua destilada, removiendo los restos de polipirrol sin adherir y agente oxidante residual, colocando las muestras en una estufa de secado a una temperatura de  $80^\circ\text{C}$  durante un lapso de una hora, o hasta llegar a peso constante. Se produjeron un total de 16 electrodos, 8 de ellos recubiertos únicamente con grafito en aerosol (cátodos) y los restantes con el polímero conductor (ánodos).

**Ensamble de las CCM:** Como se muestra en la figura 1, se utilizó una CCM de doble compartimento (diseño en H) de un volumen aproximado de 12 L, colocando 8 electrodos sintetizados en cada compartimento (ánodo compuesto de PU/Grafito/PPy, y cátodo de PU/Grafito) y sujetándolos con tornillería y varillas de acero inoxidable como colector de electrones. Los compartimentos fueron separados por una membrana de intercambio catiónico (CMI-7000 marca International Membranes Inc.) colocada a presión. La celda fue alimentada con agua residual municipal de planta tratadora del Gran Bosque Urbano, Ejército Mexicano, por medio de una bomba peristáltica (MANOSTAT, 72-310-000), produciendo un tratamiento secuencial iniciando en el compartimento anódico (anaerobio) y finalizando en el compartimento catódico

(aerobio). El monitoreo de las celdas fue llevado a cabo utilizando un multímetro digital (Fluke 289 - Trendcapture) con el cual se determinó el voltaje de la celda 2 veces al día (mañana y noche) durante toda la reacción

(aproximadamente 10 días para cada TRH), empleando una resistencia externa con un valor similar al de la resistencia interna de la celda (calculada por el método de resistencia variable) para cerrar el circuito.

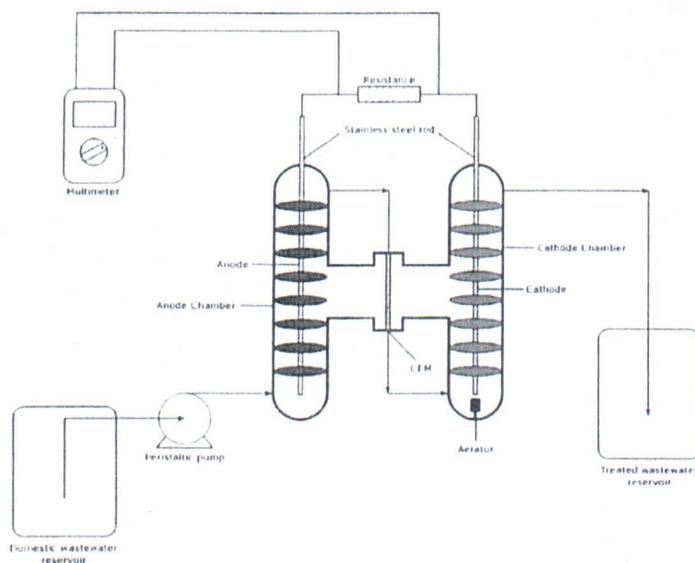


Figura 1. Esquema de la CCM de doble compartimento

Del agua residual domestica cruda y tratada se midió, la demanda química de oxígeno (DQO), sólidos totales (ST), pH y remoción de helmintos según metodologías establecidas en la norma 003-SEMARNAT-1997 a tres tiempos de retención hidráulica 12 (12 horas en compartimento anódico+12 horas compartimento catódico), 24 (24 horas en compartimento anódico+ 24 horas compartimento catódico) y 36 horas (36 horas en compartimento anódico+36 horas compartimento catódico).

## Resultados y Discusión

Como se puede observar en la tabla 1, los mejores resultados se presentaron a un TRH de 36 horas, donde se puede observar que las eficiencias de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Sólidos Totales (ST) alcanzo valores del 92% y 28% respectivamente. Por otra parte, el pH final en este TRH llego solo hasta un valor de 8.1, pudiendo optar por verter el agua tratada a los mantos acuíferos sin riesgo a contaminar o

[5]. Finalmente, en los parámetros electroquímicos analizados Resistencia Interna, Densidad de Potencia y Eficiencia energética, no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos más allá de pequeñas variaciones de voltaje, que pueden

deberse a ligeros cambios de temperatura o en la concentración inicial de la materia orgánica en el agua residual (tomando en cuenta que el voltaje depende de la tasa de remoción del sustrato) [6].

Tabla 1. Resultados obtenidos en el tratamiento de agua residual municipal a distintos tiempos de retención hidráulica en un sistema bioelectroquímico secuencial

Parámetro	TRH 12	TRH 24	TRH 36
Remoción DQO (%)	58.34	76.88	91.76
Remoción ST (%)	26.54	23.87	27.7
pH Final	8.3	8.23	8.1
RI ( $\Omega$ )	3923.998	6132.695	5572.758
Voltaje (V)	0.091	0.0771	0.0932
Potencia ( $mW/m^3$ )	0.332	0.153	0.249
EC (%)	0.0437	0.0143	0.00795

### Conclusiones

La aplicación de un recubrimiento de grafito y polipirrol a la espuma de poliuretano, incrementó considerablemente la eficiencia del tratamiento del agua residual municipal en las celdas de combustible microbianas de forma proporcional al aumento del tiempo de retención hidráulica. Los resultados obtenidos hasta el momento muestran un gran potencial para el uso de electrodos con compósitos en sistemas bioelectroquímicos para tratamiento de aguas residuales a escala mayor.

### Agradecimientos

El autor P.P.R. agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México (Beca # 371995).

### Referencias

- [1] Buitrón, G., and Cervantes-Astorga, C., *Water, Air, & Soil Pollution*, 1470 (224), 1-8, (2013).
- [2] Li, W.-W., Sheng, G.-P., Liu, X.-W., & Yu, H.-Q., *AMB*, 102(1), 244-252, (2011).
- [3] Zhou, M., Wang, H., Hassett, D. J., & Gu, T., *JCTB*, 88, 508-518, (2013).
- [4] Gil, G. C., Chang, I. S., Kim, B. H., Park, H. S., & Kim, H. J., *B&B*, 18, 327-334, (2003).
- [5] Wen, Q., Wu, Y., Zhao, L., Sun, Q., & Kong, F., *JZUSB*, 11(2), 87-93, (2010).
- [6] Park, H. H., Wu, C., & Lin, L.-S., *B&BE*, 17, 654-660, (2012)

---

La investigación en las Ingenierías  
Revista

CiBlyT

Publicación de difusión científica e investigación multidisciplinaria

***Visita nuestro sitio:***

**<http://revistacibiyt.wordpress.com/>**

latindex

**Publicación de Difusión Científica e Investigación Multidisciplinaria**

---