

Generación bioelectricidad a partir de aguas residuales mediante celdas de combustible microbiano de bajo costo.

Generation Bioelectricity from wastewater using low-cost microbial fuel cells.

Rojas-Flores S.¹, Santiago M. Benites², De La Cruz –Noriega M.², Cabanillas-Chirinos L.², Nélida Milly Otiniano², Rodríguez-Yupanqui M.³, Valdiviezo-Dominguez F.³, Rojas-Villacorta W.⁴

¹Grupo de Investigación en Ciencias Aplicadas y Nuevas Tecnologías, Universidad Privada del Norte, Trujillo 13007, Perú. segundo.rojas.89@gmail.com

²Instituto de Investigación en Ciencias y Tecnología de la Universidad Cesar Vallejo, Trujillo 13001, Perú. sbenites@ucv.edu.pe, maguii_12@hotmail.com, lcabanillas@ucv.edu.pe

³Escuela de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo 13001, Perú. mrodriguez@ucv.edu.pe, fernahis.14@hotmail.com, fiorelavaldiviezo815@gmail.com

⁴ Escuela de Postgrado de Biotecnología agroindustrial y ambiental, Universidad Nacional de Trujillo, Perú. wrojasv33@gmail.com

Las celdas de combustible microbianas (CCMs) son una tecnología prometedora para el tratamiento de las aguas residuales y generación de bioelectricidad al mismo tiempo. Esta investigación se basó en la fabricación de CCMs de una sola cámara a escala de laboratorio; utilizando como combustible aguas residuales (ARs) y electrodos metálicos de cobre y zinc. Logrando generar valores picos de 0.349 ± 0.21 V y 254.3 ± 3.23 μ A de voltaje y corriente respectivamente. El monitoreo de las CCMs mostro que las ARs mostraron un pH alcalino y valores de conductividad mayores a 70 mS/cm, pasado los 15 días. La densidad de potencia máxima fue de 1.67 ± 0.33 W/cm² en 393.08 mA/cm² de densidad de corriente y los espectros de FTIR de las ARs iniciales y finales mostraron alta disminución de los picos de intensidad de los enlaces de polisacáridos, alcanos, N-H y O-H. Estos resultados demostraron la utilidad del diseño de las CCMs de una sola cámara para la producción de bioelectricidad, dando una solución eco amigable con el medio ambiente y la sociedad.

Palabras claves: bioelectricidad, corriente, aguas residuales, celdas de combustible microbiana.

Abstract- *Microbial fuel cells (CCMs) are a promising technology for treating wastewater and generating bioelectricity at the same time. This research was based on the manufacture of CCMs single chamber on a laboratory scale; using as fuel wastewater (ARs) and copper and zinc metal electrodes. Being able to generate peak values of 0.349 ± 0.21 V and 254.3 ± 3.23 μ A of voltage and current respectively. The monitoring of the CCMs showed that the ARs showed an alkaline pH and conductivity values greater than 70 mS/cm, after 15 days. The maximum power density was 1.67 ± 0.33 W/cm² at 393.08 mA/cm² of current density and the FTIR spectra of the initial and final ARs showed the abrupt decrease of the intensity peaks of the polysaccharides, alkanes, NH and OH. These results*

demonstrated the usefulness of the design of single chamber CCMs for the production of bioelectricity, providing an eco-friendly solution with the environment and society.

Keywords: bioelectricity, current, wastewater, microbial fuel cells

I. INTRODUCCIÓN

La demanda energética cada vez mayor ha conllevado a un aumento en el consumo de combustibles fósiles y en consecuencia al calentamiento global generándose así una crisis energética en todo el mundo [1]. Por toda esta problemática, hoy en día existe un gran interés en generar energía a partir de fuentes limpias, a un bajo costo y de fácil acceso, todo ello teniendo como base principal, evitar efectos negativos al medio ambiente [2]. Una de estas fuentes con un gran potencial son las celdas de combustible microbianas (CCMs), los cuales son sistemas electroquímicos microbianos que aprovechan las funciones metabólicas de los microorganismos para convertir la energía química almacenada en un material orgánico para la producción de corriente bioeléctrica [3].

Estas celdas presentan diversos diseños, las más versátiles son las CCM de dos y una sola cámara; cabe mencionar que las CCMs de una sola cámara debido a su bajo costo de fabricación se desprende como la más prometedora. Este último diseño de CCM consta de una cámara en donde se encuentra el ánodo, mientras que le cátodo se coloca expuesto al aire [3-4]. Dentro de las CCMs los electrodos son esenciales para la oxidación/reducción del sustrato dentro de las cámaras, entre

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.129>
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

los materiales más usados se encuentra el grafito, carbón activado, titanio, entre otros [5]. En los últimos años el interés por el desarrollo de nuevos materiales para ser utilizados en las CCMs ha ido en aumento, surgiendo nuevos materiales como los electrodos metálicos tales como la plata, aluminio, molibdeno, oro y cobre entre otros, los cuales son muy útiles para el desempeño eficiente en una CCM debido a su mayor conductividad eléctrica, ávida facilitación de adhesión microbiana y su durabilidad [6].

En cuanto a los microorganismos destacan la utilización de especies como *Geobacter sp*, *Chlorella vulgaris*, *Shewanella*, *Clostridium*, entre otros [7]. Dentro de este contexto es importante mencionar que las CCMs presentan diversas ventajas por ejemplo es posible utilizar diversos sustratos como desechos orgánicos, sedimentos de suelos, aguas residuales entre otros, para la generación de energía. Asimismo, las CCMs tienen la capacidad de trabajar a presión atmosférica y temperatura ambiente [8]. Además de ello las CCMs pueden ser útiles para su aplicación en lugares que carecen instalaciones eléctricas [9]. Siendo así esta una alternativa sostenible y futurista a los combustibles fósiles [10].

En el Perú en el año 2018 los vertimientos de aguas residuales industriales ascendieron a 522 millones 336 mil 831 metros cúbicos. Asimismo, la descarga de aguas residuales domésticas sin tratamiento se incrementó en 5,2% en relación al año anterior. Entre los departamentos, Lima registro el mayor volumen de vertimiento de aguas residuales con aproximadamente 383 millones 62 mil 314 metros cúbicos [11]. Por todo ello se evidencia que la generación de aguas residuales en el Perú representa un problema latente que genera una serie de problemas ambientales, por lo que la tecnología de las CCMs es una alternativa sostenible la cual permite aprovechar estas aguas residuales y darles un valor agregado.

En países desarrollados se promueven diversas investigaciones sobre las CCMs como una tecnología prometedora para ser utilizados en procesos de remoción de materia orgánica, biorremediación y generación de bioelectricidad. Cabe mencionar que existe una gran diversidad de sustratos que pueden contribuir al desarrollo de CCMs [12], así como también microorganismos que se encuentran en forma abundante en las aguas residuales, material de desecho de rellenos sanitarios y muchas otras fuentes [13].

Por ello, actualmente el uso de biomasa como sustrato de las CCMs es investigado debido a las aplicaciones para generar electricidad a partir de las aguas residuales; diversas investigaciones tales como Harshal et al., en donde se empleó aguas residuales como sustrato en una CCM para la generación de electricidad logrando una densidad de potencia de $469.48 \text{ W} / \text{m}^2$; mientras que el voltaje máximo alcanzado fue de 1.0 V, la potencia máxima para la CCM de dos cámaras fue 1.0 W [14]. Asimismo, Rawat, Shweta en su investigación empleo aguas

residuales como sustrato, logrando monitorear el voltaje y la corriente generada en diferentes intervalos de tiempo. Se observó que en los primeros días los valores de voltaje y corriente variando entre 140.8 a 182.5 mV en el último día; mientras que la corriente fluctuó de 51 a 352 μA con una potencia entre 7180.8 a 66439.1 mW [15].

El motivo del presente trabajo es la fabricación de CCMs de una sola cámara utilizando electrodos de cobre (Cu) y zinc (Zn); mientras como sustrato aguas residuales de la Ciudad de Trujillo. En las cuales se monitoreó los valores de voltaje, corriente, conductividad, pH, densidad de corriente, densidad de potencia; y los espectros de espectrofotometría de furrier inicial y final. También se observó las biopelículas del electrodo anódico final. Este trabajo de investigación dará una forma de generación de bioelectricidad amigable con el medio ambiente.

II. MATERIAL Y MÉTODO

2.1. Construcción de las celdas de combustible microbiana de una sola cámara

Se fabricaron tres (3) celdas de combustible microbiana de bajo costo utilizando electrodos de cobre y zinc como se observa en el prototipo la Fig. 01. El sustrato utilizado como combustible fue agua residual obtenido de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), Trujillo, Perú.



Fig. 1: Esquema del prototipo de las celdas combustible microbiana.

El agua residual se colocó dentro de un frasco de 500 mL (marca Schott), a cuyo frasco se le realizó un agujero de 2.5 cm de diámetro para la acoplar un tubo de 2.5 y 10 cm de diámetro y largo respectivamente de policloruro de vinilo. El electrodo de Cu (área de 20 cm^2) se colocó dentro de la botella y electrodo de Zn (área de 15.7) se colocó en el extremo del tubo (como

tapón); ambos electrodos se unieron mediante una resista externa unida con cable de cobre (de 0.2 cm de diámetro).

2.2. Recolección de las muestras

Se recolectaron 2 litros (ver Fig. 02 (b)) de muestra de agua residual en frascos herméticos de la planta de tratamiento de aguas residuales Covicorti, ver Fig. 02 (a) ubicada en la ciudad de Trujillo, Perú. En cada CCM contuvo 500 mL de agua residual, las cuales fueron utilizados como combustible como se muestra en la Fig. 02 (c).

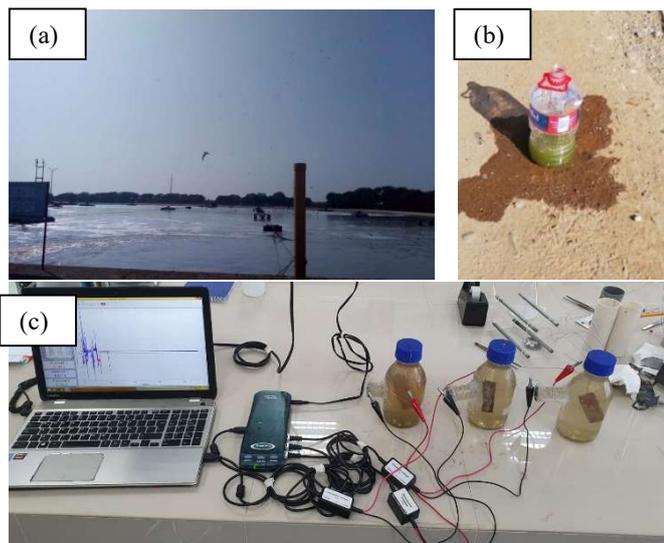


Fig. 2: Proceso de la selección de muestras de la (a) planta de tratamiento de las (b) aguas residuales y (c) comienzo de monitoreo en las celdas de combustible microbiano.

2.3 Caracterización de las Celdas de Combustible Microbiana

2.3.1 Parámetros físico-químicos

Las CCMs fueron monitoreadas por 35 días, en los cuales se observó las variaciones de voltaje durante las primeras 24 horas mediante los sensores de voltaje (Marca Venier) y el programa Logger Pro. El monitoreo restante de voltaje y corriente fue mediante un multímetro (Prasek Premium PR-85). Mientras que la mediciones de la densidad de corriente y potencia uso la misma forma utilizada por LOGAN [16] donde la densidad de potencia (DP) y la densidad de corriente (DC) lo calculo así como de las resistencias de 2.4 ± 0.1 , 9.9 ± 1.2 , 19.8 ± 2.2 , 29.6 ± 2.8 , 49.2 ± 3.1 , 192.2 ± 5.7 , 384 ± 10.2 , 564 ± 30.5 , 812 ± 34.8 y $996 \pm 42.5 \Omega$. Los valores de pH (pH meter 110 series Oakton) y conductividad (Conductivity meter CD-430) también fueron monitoreados.

Las muestras analizadas por el Espectrofotómetro con Transformada de Fourier-FTIR (IS50-Thermo Scientific) se prepararon recolectando materia del sustrato y depositada sobre placas, dejándolas secar en un horno a 60°C toda la noche.

III. RESULTADOS Y ANALISIS

En la Fig. 03 (a) se muestran los valores del monitoreo de voltaje, donde se puede observar que el voltaje inicial fue de $0.189 \pm 0.12 \text{ V}$. Estos valores de voltaje fueron incrementando hasta el día 21, donde muestra un valor pico de $0.349 \pm 0.21 \text{ V}$; después del cual decae drásticamente hasta $0.025 \pm 0.008 \text{ mV}$ en el último día de monitoreo.

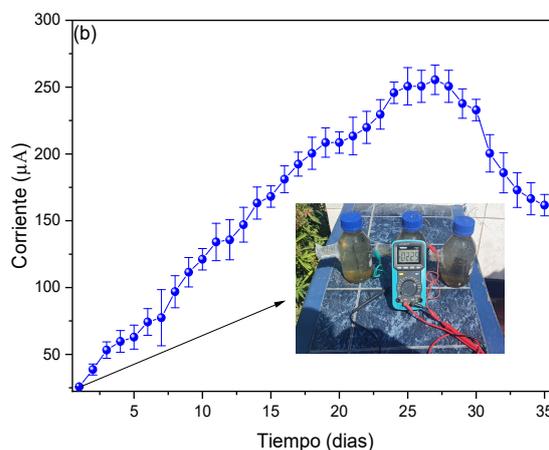
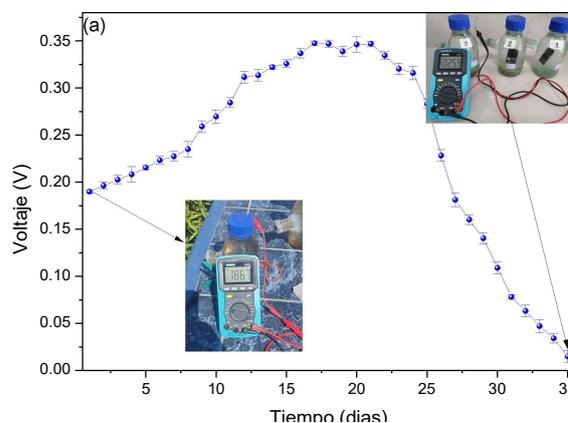


Fig. 3: Monitoreo de los valores (a) voltaje y (b) corriente de celdas de combustible microbianas.

El aumento progresivo del voltaje en los días iniciales se debe principalmente a la aclimatación y la degradación la materia orgánica (sustrato) utilizado por los microorganismos generadores de electricidad, en el electrodo anódico, en su

metabolismo [17]. Por otro lado, al ser el Cu un material altamente tóxico para muchos microorganismos, podría haber generado en los últimos días de monitoreo la baja generación de voltaje y purificación del agua residual [18]; como se observa en las Fig. 3 (a). Adebule et al. (2018) encontró que en los desechos orgánicos existen biopolímeros macromoleculares como la celulosa, que se degradan gradualmente a compuestos de bajo peso molecular por los microbios alrededor del ánodo, dando como resultado a un aumento gradual del voltaje [19]. En la Fig. 3 (b) se puede observar el monitoreo de los valores de corriente de las CCMs, en la cual se puede observar que el valor inicial fue de $24.53 \pm 0.21 \mu\text{A}$; logrando aumentar al transcurrir del tiempo hasta un valor máximo de $254.3 \pm 3.23 \mu\text{A}$ en el día 27 para luego decaer hasta el último día de monitoreo. Según Kim et al, (2016) el alto contenido de humedad observado en las aguas residuales facilita la formación de soluciones móviles de electrones y promueve la transferencia de electrones al cátodo de la CCM [20]. De la misma forma Jiang et al. (2016) estableció que la naturaleza de la fuente de carbono en un sustrato usado en CCMs juega un papel importante en la selección de la población microbiana, lo que conlleva a la formación de las biopelículas electrogénicas óptimas en las CCMs [21].

En la Fig. 4 (a) se observa el monitoreo de los valores de pH de las celdas de combustible microbiana, como se puede apreciar los valores comienzan con un pH de 7 a pasar del tiempo este aumenta hasta 8.54 en el último día, sugiriendo un pH óptimo para este tipo de celdas de 8 debido que para ese valor se logró observar los picos de generación de electricidad. Estos valores guardan relación con lo encontrado por He et al. (2008), donde reporta que cada sustrato y diseño de celdas de combustible microbiana tiene su propio pH de mayor generación de bioelectricidad debido a que los diferentes tipos de cultivos puros o mixtos de microorganismos son favorecidos por los valores de pH del medio donde viven para su crecimiento [22], ya que al oxidar el sustrato se generan protones. El rápido consumo de estos conduce al aumento del pH del sustrato [23][24]. En la Fig. 4 (b) se observan los valores de la conductividad de las celdas, donde se aprecia que a partir del día 15 llegan a valores casi constantes; siendo su pico máximo en el día 25 ($87.37 \pm 2.34 \text{ mS/cm}$) y a partir del día 29 se observa que los valores comienzan a disminuir hasta el día 35 ($79.87 \pm 3.42 \text{ mS/cm}$).

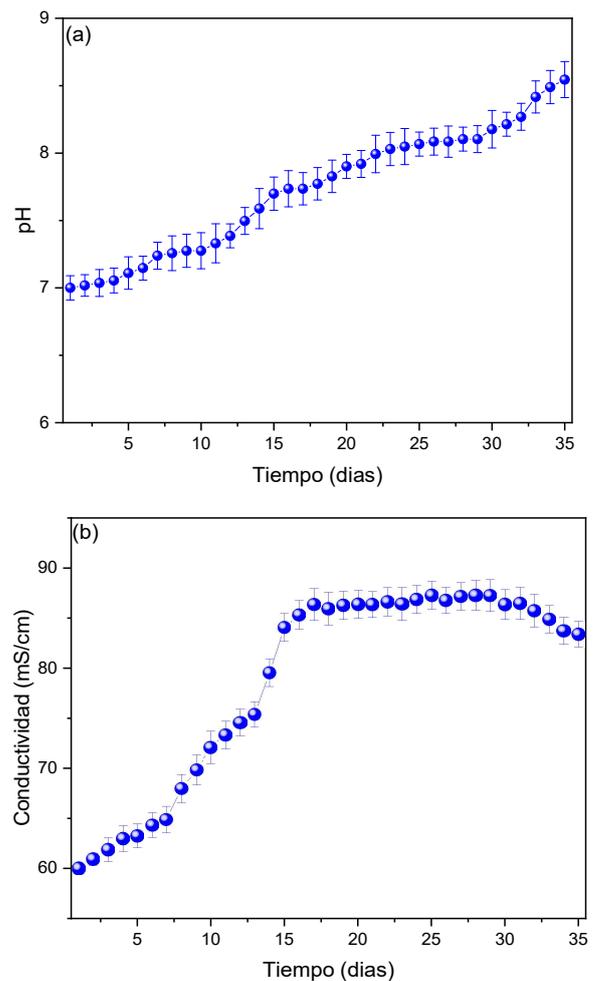


Fig. 4: Monitoreo de los valores de (a) pH y (b) conductividad de las celdas de combustible microbiana

En la Fig. 5 se puede apreciar los valores de densidad de corriente (DC) y densidad de potencia (DP). Se puede apreciar que la densidad de potencia máxima fue de $1.67 \pm 0.33 \text{ W/cm}^2$ en una DC de 393.08 mA/cm^2 y un voltaje máximo de 0.352 V . Esta investigación obtuvo buenos resultados en términos de DP y DC comparados con otros trabajos, por ejemplo, en el trabajo realizado por Liang et al. (2018) utilizando celdas en serie y agua residual como sustrato lograron generar aproximadamente 100 mW/cm^2 , aunque su voltaje es mayor al que esta investigación presenta se puede deber a la configuración en serie que uso [25]. Así también, Yang et al. (2018) diseñaron CCMs con sustrato de aguas residuales domésticas, lograron generar una DP máxima de 60 mW/cm^2 y un voltaje máximo de 550 mV [26].

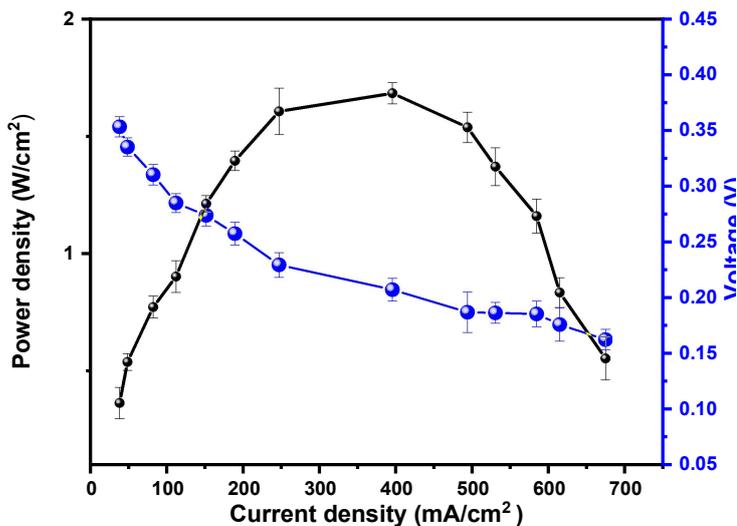


Fig. 5: Valores de densidad de corriente, densidad de potencia y voltaje de las celdas de combustible microbiana.

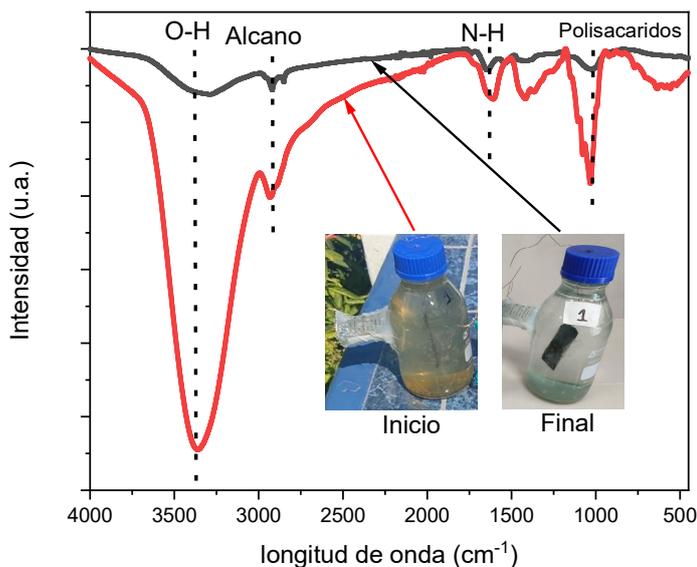


Fig. 6: Espectro de FTIR de la celda de combustible microbiana inicial y final.

En la Fig. 6 se observa el FTIR de aguas residuales iniciales (color rojo) y finales (color negro) de las CCMs. Se muestra que la intensidad de los picos de los enlaces de O-H (3352 cm^{-1}), de alcanos (2920 cm^{-1}), N-H (1600 cm^{-1}) y polisacáridos (1000 cm^{-1}) disminuyen enormemente en relación con el espectro inicial [27][28]. Dentro de las celdas de combustible microbianas la generación de corriente eléctrica se debe al flujo continuo de electrones los cuales se extraen del sustrato anódico mediante el metabolismo bacteriano en las biopelículas [29]. Finalmente,

se realizó un recuento de termotolerantes (datos no mostrados) inicial y final, siendo $2,7 \times 10^5$ NMP inicial (i) y 6 PNMP final (f) respectivamente. Estos valores demuestran que las CCM tiene un enorme potencial para poder reducir la carga microbiana contaminante.

CONCLUSIONES

Este estudio revela que las aguas residuales tienen gran potencial para su uso como combustible en la generación de bioelectricidad, así como también la gran versatilidad que tiene los electrodos metálicos en comparación con los electrodos derivados del carbón que son los más usados. Las celdas de combustible microbiana lograron generar picos de voltaje y corriente de aproximadamente $0.349 \pm 0.21\text{ V}$ y $254.3 \pm 3.23\text{ }\mu\text{A}$ respectivamente. Todas las celdas presentan un pH inicial neutro, pero al transcurrir el tiempo pasa a un pH alcalino, mientras que los valores de conductividad aumentan hasta un pico $87.37 \pm 2.34\text{ mS/cm}$ en el día 25. Por otro lado, la densidad de potencia máxima fue de $1.67 \pm 0.33\text{ W/cm}^2$ en una densidad de corriente de 393.08 mA/cm^2 ; con un voltaje máximo de 0.352 V . Finalmente se mostró los espectros de FTIR de las aguas residuales iniciales y finales; logrando observar las disminuciones de los picos de intensidad de los enlaces de polisacáridos, alcanos, N-H y O-H; posiblemente al efecto del electrodo de cobre. Esta investigación da una forma novedosa y económica para generación de electricidad en las plantas de tratamientos de las aguas residuales; dando un valor agregado a estos despidieros con el fin de dar un beneficio a la sociedad.

REFERENCIAS

- [1] Pandit S., Das D. (2018) Principles of Microbial Fuel Cell for the Power Generation. In: Das D. Author (ed.) Microbial Fuel Cell. (pp 22-41). New Delhi, India.
- [2] Arshad, M. (2017). Clean and Sustainable Energy Technologies. In: Rasul, M., Azad, A., Sharma, S. Authors (ed.) Clean Energy for Sustainable Development. (pp 73-89). Queensland, Australia
- [3] Wang, H., & Ren, Z. (December 2013). A comprehensive review of microbial electrochemical systems as a platform technology. *Biotechnology Advances*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.10.001>
- [4] Venkata Mohan, S., Velvizhi, G., Annie Modestra, J., & Srikanth, S. (December 2014). Microbial fuel cell: Critical factors regulating biocatalyzed electrochemical process and recent advancements. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.109>
- [5] Zhang, Q., & Liu, L. (May 2020). A microbial fuel cell system with manganese dioxide/titanium dioxide/graphitic carbon nitride coated granular activated carbon cathode successfully treated organic acids industrial wastewater with residual nitric acid. *Bioresource Technology*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122992>
- [6] Yamashita, T., & Yokoyama, H. (February 2018). Molybdenum anode: a novel electrode for enhanced power generation in microbial fuel cells, identified via extensive screening of metal electrodes. *Biotechnology for Biofuels*. Retrieved from <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1046-7>
- [7] Palanisamy, G., Jung, H.-Y., Sadhasivam, T., Kurkuri, M. D., Kim, S. C., & Roh, S.-H. (June 2019). A comprehensive review on microbial fuel cell technologies: Processes, utilization, and advanced developments in electrodes and membranes. *Journal of Cleaner Production*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.172>
- [8] Du, Z., Li, H., & Gu, T. (May 2007). A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and

- bioenergy. *Biotechnology Advances*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.05.004>
- [9] Stams, A., de Bok, F., Plugge, M., Eekert, M., Dolfig, J., & Schraa, G. (February 2006). Exocellular electron transfer in anaerobic microbial communities. *Environmental Microbiology*. Retrieved from <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2006.00989.x>
- [10] Massoud, M. A., Tarhini, A., & Nasr, J. A. (March 2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.001>
- [11] Anuario de estadísticas ambientales (2019). Instituto Nacional de Estadística e Informática. Recuperado de https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1704/libro.pdf
- [12] Pant, D., Van Bogaert, G., Diels, L., & Vanbroekhoven, K. (2010). A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresource Technology*, 101(6), 1533–1543. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.017>
- [13] Fuentes, C., Del Razo, A., Juarez, K., & Alvarez, A. (April 2012). Influence of NaCl, Na₂SO₄ and O₂ on power generation from microbial fuel cells with non-catalyzed carbon electrodes and natural inocula. *Solar Energy*. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.12.011>
- [14] Harshal, D., Ranveer, C., Chavan, R. (September 2017). Electricity generation from wastewater using a microbial fuel cell by using mixed bacterial culture. *Biochemical Technology Society*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/319981317_Electricity_generation_from_wastewater_using_a_microbial_fuel_cell_by_using_mixed_bacterial_culture
- [15] Rawat, Shweta (November 2016). Analysis of Waste Water for Bioelectric Generation Using Microbial Fuel Cells. *International Journal of Applied Sciences and Biotechnology*. Retrieved from <https://doi.org/10.3126/ijasbt.v4i3.15395>
- [16] Logan, B. E., & Rabaey, K. (2012). Conversion of wastes into bioelectricity and chemicals by using microbial electrochemical technologies. *Science*, 337(6095), 686-690.
- [17] Włodarczyk, B., & Włodarczyk, P. P. (2020). The Membrane-Less Microbial Fuel Cell (ML-MFC) with Ni-Co and Cu-B Cathode Powered by the Process Wastewater from Yeast Production. *Energies*, 13(15), 3976.
- [18] Włodarczyk, B., & Włodarczyk, P. P. (2020). Comparison of Cu-B Alloy and Stainless Steel as Electrode Material for Microbial Fuel Cell. In *Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation* (pp. 1057-1063). Springer, Cham.
- [19] Adebule, A. P., Aderiye, B. I., & Adebayo, A. A. (2018). Improving bioelectricity generation of microbial fuel cell (MFC) with mediators using kitchen waste as substrate. *Ann Appl Microbiol Biotechnol J*, 2(1), 1008.
- [20] Kim, K. Y., Yang, W., Evans, P. J., & Logan, B. E. (2016). Continuous treatment of high strength wastewaters using air-cathode microbial fuel cells. *Bioresource technology*, 221, 96-101.
- [21] Jiang, Y. B., Zhong, W. H., Han, C., & Deng, H. (2016). Characterization of electricity generated by soil in microbial fuel cells and the isolation of soil source exoelectrogenic bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1776.
- [22] He, Z., Huang, Y., Manohar, A. K., & Mansfeld, F. (2008). Effect of electrolyte pH on the rate of the anodic and cathodic reactions in an air-cathode microbial fuel cell. *Bioelectrochemistry*, 74(1), 78-82.
- [23] Karthikeyan, R., Selvam, A., Cheng, K. Y., & Wong, J. W. C. (2016). Influence of ionic conductivity in bioelectricity production from saline domestic sewage sludge in microbial fuel cells. *Bioresource technology*, 200, 845-852.
- [24] Prabowo, A. K., Tiarasukma, A. P., Christwardana, M., & Ariyanti, D. (2016). Microbial Fuel Cells for Simultaneous Electricity Generation and Organic Degradation from Slaughterhouse Wastewater. *International Journal of Renewable Energy Development*, 5(2), 107-112.
- [25] Liang, P., Duan, R., Jiang, Y., Zhang, X., Qiu, Y., & Huang, X. (2018). One-year operation of 1000-L modularized microbial fuel cell for municipal wastewater treatment. *Water Research*, 141, 1-8.
- [26] Yang, Z., Pei, H., Hou, Q., Jiang, L., Zhang, L., & Nie, C. (2018). Algal biofilm-assisted microbial fuel cell to enhance domestic wastewater treatment: nutrient, organics removal and bioenergy production. *Chemical Engineering Journal*, 332, 277-285.
- [27] Wang, Z., DeWitt, J. C., Higgins, C. P., & Cousins, I. T. (2017). A never-ending story of per-and polyfluoroalkyl substances (PFASs).
- [28] El Ashrya, M. F., El Hashashb, M. A., Negmc, N. A., Abou Kanad, M. T., & Betihac, M. A. (2020). Remediation of wastewaters from chlorophenol using agricultural wastes as adsorbents: adsorption, kinetics and chemical evaluation. *DESALINATION AND WATER TREATMENT*, 177, 60-70.
- [29] Ronald, O., Dueñas, A., Ursulo P., Vega, P., Romero, M., Tapia, J., Molina, L., Lazarte, A., Pacheco, D., Esparza, M. (October 2017). Bioelectrogenesis with microbial fuel cells (MFCs) using the microalga *Chlorella vulgaris* and bacterial communities. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2017.10.013>.