

Sustainable electricity generation through apple waste.

Segundo Rojas Flores¹, Santiago M. Benites¹, Magaly De La Cruz Noriega², Renny Nazario-Naveda¹, Moises Gallozzo-Cardenas³, Félix Diaz⁴, and Daniel Delfín-Narciso⁵

¹Vicerrectorado de Investigación, Universidad Autónoma del Perú, Lima 15842, Perú, *segundo.rojas.89@gmail.com, santiago.benites@autonoma.pe, reddy.nazario@autonoma.pe*

²Instituto de Investigación en Ciencias y Tecnología de la Universidad César Vallejo, Trujillo 13001, *mdelacruz@ucv.edu.pe*

³Universidad Tecnológica del Perú, Trujillo 13011, Perú, *C21228@utp.edu.pe*

⁴Escuela Académica Profesional de Medicina Humana, Universidad Norbert Wiener, Lima 15046, Perú, *felix.diaz@uwiener.edu.pe*

⁵Grupo de Investigación en Ciencias Aplicadas y Nuevas Tecnologías, Universidad Privada del Norte, Trujillo 13007, Perú, *daniel.delfin@upn.edu.pe*

Abstract– Due to the increase in the production of fruits for consumption and export, large amounts of waste from the same fruits are being generated, causing a great environmental problem, especially in developing countries that do not have an adequate process for their use or treatment. In this context, microbial fuel cells are presented as a novel technology that could provide a solution to this problem in the future by reusing organic waste as an energy source. In the present work, microbial fuel cells (MFC) were manufactured on a laboratory scale using apple waste as a substrate with Zinc and Copper electrodes. It was possible to generate electrical current and voltage peaks of $7.567 \pm .0117$ mA and 1.452

± 0.023 V, which operated with an electrical conductivity of the substrate of 152.326 ± 4.58 mS/cm and with an acid pH on day 16, where it was observed their maximum values. An internal resistance of approximately 31.548 ± 4.871 Ω was found, whose power density was 466.27 ± 16.824 mW/cm² at a current density of 4.424 A/cm². The microbial fuel cells were connected in series managing to generate a voltage of 3.17 V, enough to light a red LED light.

Keywords-- microbial fuel cells, apple waste, electric current generation, bioelectricity.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Generación de electricidad sostenible a través de desechos de manzana.

Segundo Rojas Flores¹, Santiago M. Benites¹, Magaly De La Cruz Noriega², Renny Nazario-Naveda¹, Moises Gallozzo-Cardenas³, Félix Diaz⁴, and Daniel Delfín-Narciso⁵

¹Vicerrectorado de Investigación, Universidad Autónoma del Perú, Lima 15842, Perú, segundo.rojas.89@gmail.com, santiago.benites@autonoma.pe, renny.nazario@autonoma.pe

²Instituto de Investigación en Ciencias y Tecnología de la Universidad César Vallejo, Trujillo 13001, mdelacruz@ucv.edu.pe

³Universidad Tecnológica del Perú, Trujillo 13011, Perú, C21228@utp.edu.pe

⁴Escuela Académica Profesional de Medicina Humana, Universidad Norbert Wiener, Lima 15046, Perú, felix.diaz@uwiener.edu.pe

⁵Grupo de Investigación en Ciencias Aplicadas y Nuevas Tecnologías, Universidad Privada del Norte, Trujillo 13007, Perú, daniel.delfin@upn.edu.pe

Resumen- Debido al aumento de la producción de frutos para consumo y exportación se está generando grandes cantidades de residuos de los mismos frutos, ocasionando un gran problema medio ambiental, sobre todo en los países en vías de desarrollo que no cuentan con un proceso adecuado para su utilización o tratamiento. En este contexto, se presentan las celdas de combustible microbiana como una tecnología novedosa que a futuro podrían dar solución a este problema mediante la reutilización de residuos orgánicos como fuente de energía. En el presente trabajo se fabricaron celdas de combustible microbiana (CCM) a escala de laboratorio utilizando como sustrato desechos de manzana con electrodos de Zinc y Cobre. Se logró generar picos de corriente eléctrica y voltaje de $7.567 \pm .0117$ mA y 1.452 ± 0.023 V, los cuales operaron con una conductividad eléctrica del sustrato de 152.326 ± 4.58 mS/cm y con un pH ácido en el día 16, donde se observó sus valores máximos. Se encontró una resistencia interna de aproximadamente 31.548 ± 4.871 Ω , cuya densidad de potencia fue de 466.27 ± 16.824 mW/cm² en una densidad de corriente de de 4.424 A/cm². Las celdas de combustible microbiana fueron conectadas en serie logrando generar un voltaje de 3.17 V lo suficiente para encender un foco LED rojo.

Palabras Claves-- celdas de combustible microbiana, desechos de manzana, generacion de corrientes electrica, bioelectricidad.

I. INTRODUCCIÓN

El consumo de fruta es vital para la vida de un ser humano durante toda su existencia, debido a los diferentes nutrientes que estos proporcionan al organismo [1]. Sin embargo, el aumento de la población humana ha generado también el aumento del consumo de estos frutos [2], generándose así una mayor cantidad de residuos. Se ha reportado que en el 2016 se generó un aproximado de 117 millones de toneladas de residuos de frutas [3,4]. Dentro de la gran variedad de frutos se encuentra la manzana, que según la FAOSTAT (Food and Agriculture Organization of the United Nations) la producción de manzanas a partir del 2011 ha aumentado exponencialmente, logrando generar ganancias desde 595 609 a 1149983 dólares en el 2001 y 2020 respectivamente [5]. El consumo por persona es de 9.2 kg per cápita, siendo China el mayor productor a nivel mundial con un 45% y seguido por USA con un 9.5 % [6,7]. El alto consumo de esta fruta se debe principalmente por ser una fuente rica en compuestos fenólicos, fibra digerible y pectina, contenidas en la pulpa y piel (95 %), semillas (2 al 4 %) y tallos (1 %) [8]. Los contenidos de los compuestos fenólicos tienen grandes variaciones, esto principalmente a las diferentes variedades y partes de las manzanas, pero las cascarras de las manzanas contiene una mayor concentración de compuestos fenólicos que la pulpa [9,10]. Debido a esto, el aumento del consumo de manzana es muy grande, y aunque no existe un reporte de la cantidad de desechos de manzanas que se generan, se puede tener la idea que la cantidad de residuos está en proporción con la cantidad de fruta producida [11].

Por otro lado, se propone la tecnología de las celdas de combustible microbiana como una excelente alternativa a corto plazo para la generación ecoamigable de energía eléctrica, utilizando como combustible diferentes tipos de desechos, aprovechando el proceso de conversión de energía química a eléctrica que ocurre dentro de las CCMs [12-14]. Estos procesos de conversión están fuertemente asociados a las reacciones de

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

reducción y oxidación que ocurren en la cámara anódica y catódica de las celdas [15]. La potencia de la generación de energía eléctrica depende de muchos parámetros, entre los principales están el pH de operación, temperatura de operación, materiales de los electrodos, diseño de las CCMs, sustrato utilizado como combustible y otros [16,17]. Se han logrado reportar el uso de desechos de mostaza vegetal como sustratos, logrando generar picos de corriente eléctrica y voltaje de 20.1 mA y 72.13 mV respectivamente [18]. Así también, Din et al. (2020) logró generar picos de voltaje y corriente eléctrica de 1.12 V y 12.45 mA en sus CCMs de una sola cámara, las cuales operaron a un pH 7 y con una resistencia interna de 90 Ω [19]. Tremouli et al. (2019) de forma similar logró generar picos de voltaje y potencia máxima de aproximadamente 0.5 V y 3.14 mW con una resistencia interna que variaba entre 12.21-12.78 Ω , utilizando como sustrato fermentable extractos de residuos domésticos en CCMs de una sola cámara [20]. De forma similar, Asefi et al. (2019) utilizó desechos de comida como combustible en CCMs logrando generar picos de voltaje y densidad de potencia de 775 ± 21 mV and 422 mW/m², concluyendo que estos altos valores obtenidos fueron por la buena adhesión de los microorganismos al electrodo anódico para la formación de la biopelícula [21].

Esta investigación tiene como objetivo principal observar el potencial para generar energía eléctrica a través de celdas de combustible microbiana a escala de laboratorio utilizando como combustible (sustrato) desechos de manzana. Para lo cual se monitoreó los parámetros de pH, conductividad eléctrica, voltaje y corriente eléctrica. Así también, se calculó la resistencia interna, densidad de potencia y densidad de corriente de las celdas de combustible microbiana. Finalmente se logró obtener a una novedosa forma de generar energía eléctrica utilizando desechos de fruta para que, a futuro y a escalas mayores, los agricultores y empresas dedicadas a la importación y exportación de frutos como la manzana puedan beneficiarse.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Fabricación de las celdas de combustible microbiana

Para esta investigación se utilizaron tres CCMs, las cuales fueron adquiridas de la empresa SAIDKOCC (SAIDKOCC-10091720, Fujian, China), mientras que los electrodos utilizados fueron de cobre (Cu, área= 35 cm²) y zinc (Zn, área= 52.5 cm²) para el ánodo y catodo, respectivamente. Mientras que, para el circuito externo se utilizó un alambre de cobre (6 mm de grosor) y una resistencia de 100 Ω , y como membrana de intercambio protónico (MIP) se utilizó Nafion 117 (Merck). Un esquema de la celda de combustible microbiana es mostrada en la Figura 1.

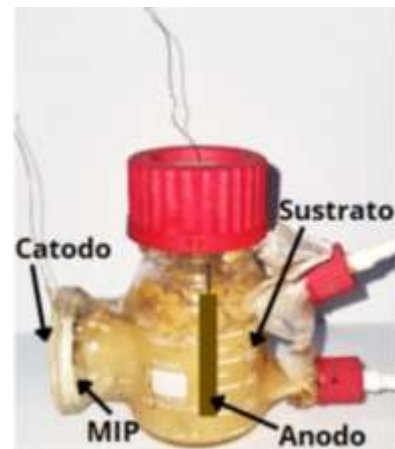


Figura 1. Esquemática del diseño de las celdas de combustible microbiana.

2.2 Recolección de los desechos de manzana

Los desechos de manzana se obtuvieron del mercado Palermo - Ex Mayorista, Trujillo, Perú; de donde se recolectó 1.0 Kg para luego ser llevados al laboratorio y ser lavados varias veces para eliminar cualquier tipo de contaminante adherido del medio ambiente. Los desechos fueron triturados en una extractora (Labtron, LDO-B10-USA) logrando obtener aproximadamente 650 mL.

2.3 Caracterización de las celdas de combustible microbiana.

Los valores de corriente y voltaje fueron monitoreados por 30 días utilizando un multímetro (Prasek Premium PR-85, USA), mientras que los valores de densidad de potencia y densidad de corriente fueron medidos mediante el método descrito por Rojas-Flores et. al (2022) cuyas resistencias externas fueron 10 ± 0.2 , 40 ± 2.3 , 50 ± 2.7 , 100 ± 3.2 , 300 ± 6.2 , 390 ± 7.2 , 560 ± 10 , 680 ± 12.3 , 820 ± 14.5 , 1000 ± 20.5 Ω [22]. Por otro lado, la resistencia interna fue determinada utilizando el sensor de energía (Vernier- $\pm 30V$ & ± 1000 mA, USA) y usando la ley de ohm. Así también, se monitoreó los valores de pH y conductividad eléctrica con un pH-metro (110 Series Oakton, USA) y conductímetro (CD-4301, USA), durante los 30 días de operación.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la Figura 2 (a) se muestran los valores de voltaje obtenidos durante el periodo de monitoreo de las CCMs, observando un incremento de los valores desde el primer día (0.224 ± 0.01 V) hasta el día 16 (1.452 ± 0.023 V) para después decaer lentamente hasta el día 30 (0.798 ± 0.023 V). Como se puede observar, los valores de voltaje aumentan desde el primer día; estos resultados según la literatura se pueden deber al alto contenido de materia orgánica en el estado inicial de la operación de las CCMs, llegando a un punto máximo para después decaer debido a la disminución de los nutrientes de los microorganismos presentes en las CCMs. Estos valores

obtenidos son más altos que los obtenidos por Priya y Setty (2019) donde en sus celdas de combustible microbiana de doble cámara lograron generar picos máximos de voltaje de 0.4 V usando como sustrato desechos de manzana con electrodos de platino recubiertos con carbono [23]. Así mismo, Yaqoob et al. (2022) utilizó desechos de mango, rambutan y lanzón logrando generar picos de voltaje 300, 270 y 490 mV respectivamente en sus CCMs de una sola cámara con electrodos de grafito [24].

disminución de los valores de corriente eléctrica se debió a la disminución de celulosa en las celdas y la degradación por completo de los compuestos de las frutas [26]. Mientras que Kamau et al. (2018) menciona en su investigación que los valores de corrientes tienden a aumentar cuando los microorganismos tienen una buena adsorción en el electrodo anódico y depende principalmente de la porosidad del electrodo utilizado [27].

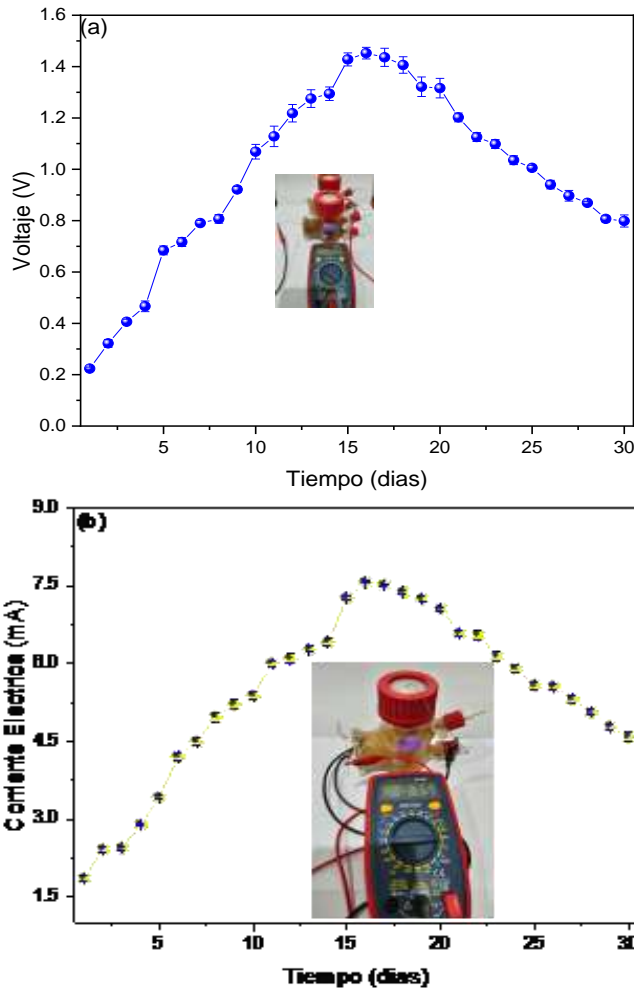


Figura 2: Valores obtenidos de (a) voltaje y (b) corriente eléctrica obtenidos a partir del monitoreo de las celdas de combustible microbiana.

Mientras que en la Figura 2 (b) se muestran los valores de la corriente eléctrica, éstas incrementan desde el primer día (1.86 ± 0.049 mA) hasta el día 16, logrando un valor pico de $7.567 \pm .0117$ mA para después descender ligeramente hasta el día 30 (4.583 ± 0.082 mA). El aumento de los valores de la corriente eléctrica es debido al proceso de oxidación metabólica que ocurre por parte de los microorganismos contenidos en la celda, y los valores observados se debe a una buena formación de la biopelícula del electrodo anódico [25]. Mientras que la

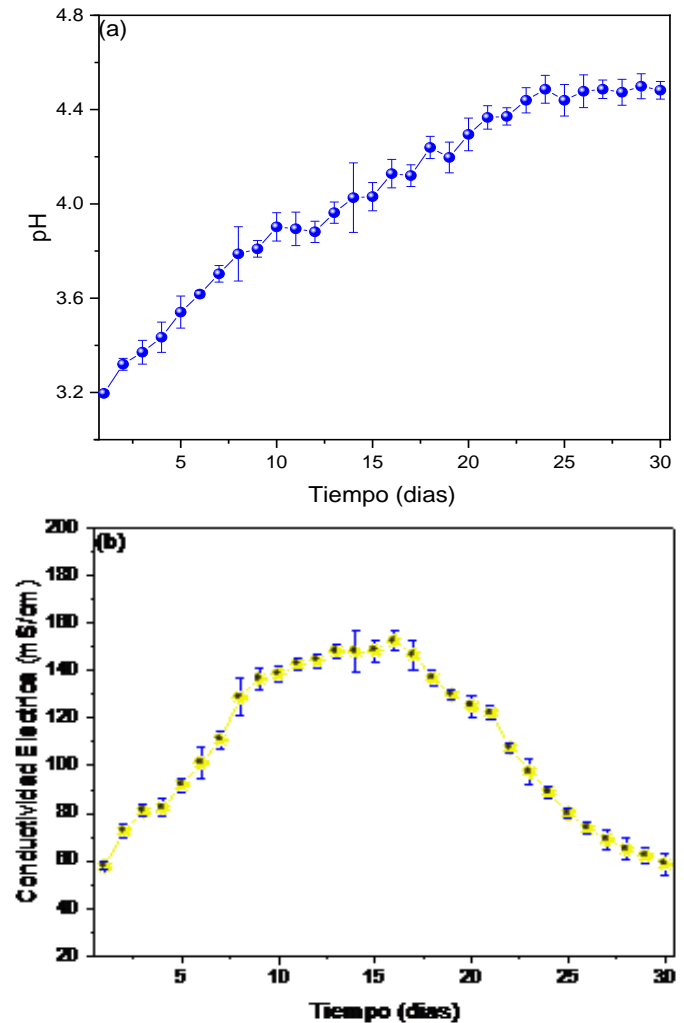


Figura 3. Valores obtenidos de (a) pH y (b) conductividad eléctrica del sustrato obtenidos a partir del monitoreo de las celdas de combustible microbiana.

En la Figura 3, se muestran los valores de pH observados durante el monitoreo, se observa que permanecieron en el régimen ácido, siendo su pH de operación de 4.12 en el día 16. El pH anódico bioelectrogénico es uno de los parámetros cruciales, que influyen en el metabolismo de los microorganismos y conducen a la alteración en la eficiencia de

la celdas de combustible microbiana, así como el poder de degradación del sustrato [28].

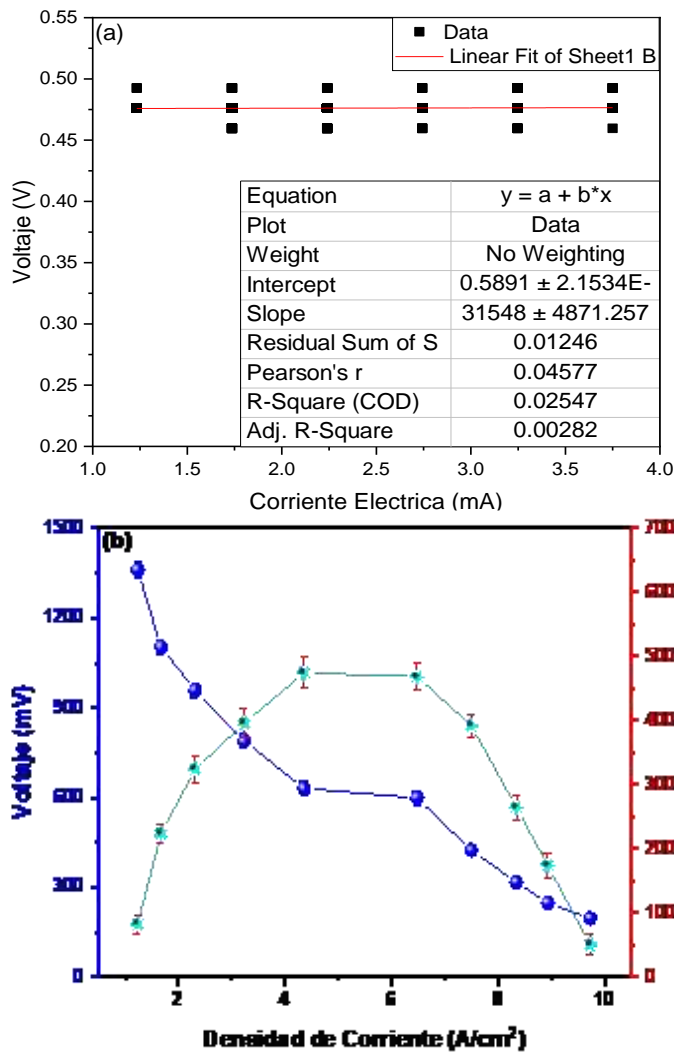


Figura 4. (a) Resistencia interna y (b) densidad de potencia en función de la densidad de corrientes de las celdas de combustible microbiana.

Se han reportado pH óptimos de operación para tipo de sustrato, aún no hay una estandarización de este parámetro, debido a que cada microorganismo presente en cada sustrato es diferente [29]. Por otro lado, los valores de la conductividad eléctrica del sustrato utilizado son mostrados en la Figura 3 (b), lográndose observar que los valores aumentan desde el día primer día (57.792 ± 1.732 mS/cm) hasta el día 16 (152.326 ± 4.58 mS/cm) para después disminuir hasta el último día (58.556 ± 7.485 mS/cm). Los valores de la conductividad eléctrica, dependen de la resistencia de las celdas; el aumento de estos valores nos indica una disminución de a la resistencia interna del sustrato para el paso de flujo de electrones, observándose en los últimos

días una disminución que depende de la sedimentación observada en los últimos días de operación de las celdas de combustible microbiana [30,31].

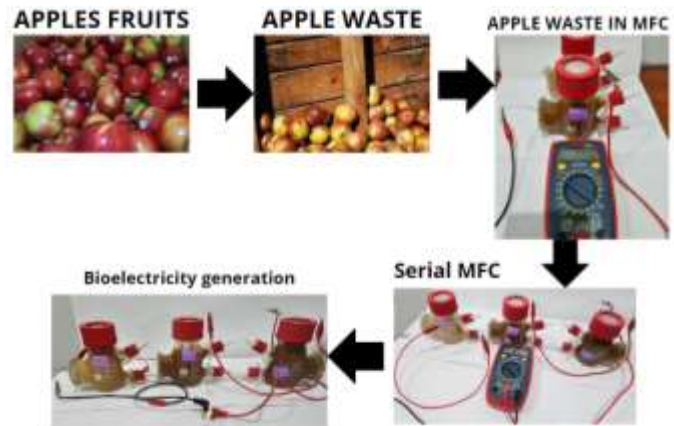


Figura 5. Esquematzación del proceso de generación de bioelectricidad usando como combustible desechos de manzana.

En la Figura 4 (a) se observa el modelamiento de la Ley de Ohm, el cual se describe multiplicando los valores de la corriente eléctrica (I) por la resistencia (R) para obtener el voltaje (V), en decir, $V = IR$. Motivo por el cual se asignó al eje x los valores de corriente electrica, mientras que los valores del potencial electrico fue asignado al eje y. Ajustando los valores experimentales a la ecuación, se obtuvo que $y = 31548 x \pm 4871.257$ con $R^2 = 0.02547$, donde la pendiente de la grafica representa la resistencia interna promedio (R_{int}) de las celdas de combustible microbiana ($31.548 \pm 4.871 \Omega$), este valor bajo reportado se deberia principalmente a una correcta adhesión de los microorganicos en los electrodos, asi como en la naturaleza metálica de los electrodos usados, lo que permitio una buena conducción de los electrones en el sistema electrico [32]. Mientras que en la Figura 4 (b) se muestran los valores de la densidad de potencia (DP) en función de la densidad de corriente (DC), lograndose observar que la DP maxima fue de 466.27 ± 16.824 mW/cm² con una DC de 4.424 A/cm² con un voltaje pico de 1360.47 ± 24.581 V. Estos valores encontrados son mayores a los reportados en la literatura, por ejemplo, Simeon et al. (2020) logró generar picos de densidad de potencia de 124 mW/m² utilizando como sustrato aguas residuales con orina [33]. De forma similar, Kondaveeti et al. [2019], logró generar picos de DP de 71.1 mW/m² utilizando como sustrato cascaras de cítricos en sus CCMs de una sola cámara con electrodos de grafito [34]. En la Figura 5, se muestra la esquematización del proceso de la generación de corriente electrica a través de las celdas de combustible microbiana, las cuales fueron conectadas en serie logrando generar 3.17 V, lo suficiente para encender una LED rojo.

IV. CONCLUSIONES

Se logró generar bioelectricidad exitosamente a través de desechos de manzana en celdas de combustible microbiana de bajo costo a escala de laboratorio. Se obtuvieron picos de voltaje y corriente eléctrica de 1.452 ± 0.023 V y $7.567 \pm .0117$ mA, respectivamente, los cuales operaron con un pH ácido y con una conductividad eléctrica del sustrato de 152.326 ± 4.58 mS/cm. Así mismo se calculó la resistencia interna de la celda de aproximadamente 31.548 ± 4.871 Ω , y con densidad de potencia de 466.27 ± 16.824 mW/cm² en una densidad de corriente de 4.424 A/cm² en el día 16. Todas las celdas de combustible microbiana se conectaron en serie logrando encender un foco LED rojo, con un voltaje de 3.17 V. Este trabajo contribuye con nuevo conocimiento al desarrollo de nuevas tecnologías para la generación de electricidad mediante el aprovechamiento de los residuos orgánicos.

REFERENCES

- [1] Cabot, M. I., Lado, J., Clemente, G., & Sanjuán, N. (2022). Towards harmonised and regionalised life cycle assessment of fruits: A review on citrus fruit. *Sustainable Production and Consumption*.
- [2] Manhongo, T. T., Chimphango, A. F. A., Thornley, P., & Röder, M. (2022). Current status and opportunities for fruit processing waste biorefineries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 155, 111823.
- [3] Li, B. Y., Xia, Z. Y., Gou, M., Sun, Z. Y., Huang, Y. L., Jiao, S. B., ... & Tang, Y. Q. (2022). Production of volatile fatty acid from fruit waste by anaerobic digestion at high organic loading rates: Performance and microbial community characteristics. *Bioresource Technology*, 346, 126648.
- [4] Selvarajoo, A., Wong, Y. L., Khoo, K. S., Chen, W. H., & Show, P. L. (2022). Biochar production via pyrolysis of citrus peel fruit waste as a potential usage as solid biofuel. *Chemosphere*, 294, 133671.
- [5] Li, Q. Y., Munawar, M., Saeed, M., Shen, J. Q., Khan, M. S., Noreen, S., ... & Li, C. X. (2022). Citrullus colocynthis (L.) Schrad (Bitter Apple Fruit): Promising traditional uses, pharmacological effects, aspects, and potential applications. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 3848.
- [6] Musacchi, S., & Serra, S. (2018). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae*, 234, 409-430.
- [7] Pollini, L., Juan-García, A., Blasi, F., Manes, J., Cossignani, L., & Juan, C. (2022). Assessing bioaccessibility and bioavailability in vitro of phenolic compounds from freeze-dried apple pomace by LC-Q-TOF-MS. *Food Bioscience*, 48, 101799.
- [8] Horvacki, N., Andrić, F., Gašić, U., Đurović, D., Tešić, Ž., Fotirić Akšić, M., & Milojković-Opsenica, D. (2022). Phenolic compounds as phytochemical tracers of varietal origin of some autochthonous apple cultivars grown in Serbia. *Molecules*, 27(21), 7651.
- [9] Maisto, M., Schiano, E., Novellino, E., Piccolo, V., Iannuzzo, F., Salviati, E., ... & Tenore, G. C. (2022). Application of a Rapid and Simple Technological Process to Increase Levels and Bioaccessibility of Free Phenolic Compounds in Annurca Apple Nutraceutical Product. *Foods*, 11(10), 1453.
- [10] Adamcová, A., Horna, A., & Šatinský, D. (2022). Determination of phloridzin and other phenolic compounds in apple tree leaves, bark, and buds using liquid chromatography with multilayered column technology and evaluation of the total antioxidant activity. *Pharmaceuticals*, 15(2), 244.
- [11] Ramadan, M. F., & Farag, M. A. (Eds.). (2022). *Mediterranean Fruits Bio-Wastes: Chemistry, Functionality and Technological Applications*. Springer Nature.
- [12] Boas, J. V., Oliveira, V. B., Simões, M., & Pinto, A. M. (2022). Review on microbial fuel cells applications, developments and costs. *Journal of Environmental Management*, 307, 114525.
- [13] Ramya, M., & Kumar, P. S. (2022). A review on recent advancements in bioenergy production using microbial fuel cells. *Chemosphere*, 288, 132512.
- [14] Priya, A. K., Subha, C., Kumar, P. S., Suresh, R., Rajendran, S., Vasseghian, Y., & Soto-Moscoso, M. (2022). Advancements on sustainable microbial fuel cells and their future prospects: A review. *Environmental Research*, 210, 112930.
- [15] Nguyen, H. D., & Babel, S. (2022). Insights on microbial fuel cells for sustainable biological nitrogen removal from wastewater: A review. *Environmental Research*, 204, 112095.
- [16] Jadhav, D. A., Park, S. G., Eisa, T., Mungray, A. K., Madenli, E. C., Olabi, A. G., ... & Chae, K. J. (2022). Current outlook towards feasibility and sustainability of ceramic membranes for practical scalable applications of microbial fuel cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 167, 112769.
- [17] Nawaz, A., ul Haq, I., Qaisar, K., Gunes, B., Raja, S. I., Mohyuddin, K., & Amin, H. (2022). Microbial fuel cells: Insight into simultaneous wastewater treatment and bioelectricity generation. *Process Safety and Environmental Protection*, 161, 357-373.
- [18] Ginting, C. V. N., Nasution, J. S., Sembiring, M. A., & Simorangkir, M. (2019). The effect of composition and substrate fermentation duration on microbial fuel cell electrical energy. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 11(3), 116-121.
- [19] Din, M. I., Iqbal, M., Hussain, Z., & Khalid, R. (2020). Bioelectricity generation from waste potatoes using single chambered microbial fuel cell. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-11.
- [20] Tremouli, A., Karydogiannis, I., Pandis, P. K., Papadopoulou, K., Argiris, C., Stathopoulos, V. N., & Lyberatos, G. (2019). Bioelectricity production from fermentable household waste extract using a single chamber microbial fuel cell. *Energy Procedia*, 161, 2-9.
- [21] Asefi, B., Li, S. L., Moreno, H. A., Sanchez-Torres, V., Hu, A., Li, J., & Yu, C. P. (2019). Characterization of electricity production and microbial community of food waste-fed microbial fuel cells. *Process Safety and Environmental Protection*, 125, 83-91.
- [22] Rojas-Flores, S., De La Cruz-Noriega, M., Cabanillas-Chirinos, L., Nazario-Naveda, R., Gallozzo-Cardenas, M., Diaz, F., & Murga-Torres, E. (2023). Potential Use of Coriander Waste as Fuel for the Generation of Electric Power. *Sustainability*, 15(2), 896.
- [23] Priya, A. D., & Setty, Y. P. (2019). Cashew apple juice as substrate for microbial fuel cell. *Fuel*, 246, 75-78.
- [24] Yaqoob, A. A., Guerrero-Barajas, C., Ibrahim, M. N. M., Umar, K., & Yaakop, A. S. (2022). Local fruit wastes driven benthic microbial fuel cell: A sustainable approach to toxic metal removal and bioelectricity generation. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(22), 32913-32928.
- [25] Verma, M., & Mishra, V. (2023). Bioelectricity generation by microbial degradation of banana peel waste biomass in a dual-chamber S. cerevisiae-based microbial fuel cell. *Biomass and Bioenergy*, 168, 106677.
- [26] Logroño, W., Ramirez, G., Recalde, C., Echeverría, M., & Cunachi, A. (2015). Bioelectricity generation from vegetables and fruits wastes by using single chamber microbial fuel cells with high Andean soils. *Energy Procedia*, 75, 2009-2014.
- [27] Kamau, J. M., Mbui, D. N., Mwaniki, J. M., & Mwaura, F. B. (2018). Utilization of rumen fluid in production of bio-energy from market waste using microbial fuel cells technology. *J Appl Biotechnol Bioeng*, 5(4), 227-231.

- [28] Kondaveeti, S., Mohanakrishna, G., Kumar, A., Lai, C., Lee, J. K., & Kalia, V. C. (2019). Exploitation of citrus peel extract as a feedstock for power generation in microbial fuel cell (MFC). *Indian journal of microbiology*, 59, 476-481.
- [29] Rojas-Flores, S., Ramirez-Asis, E., Delgado-Caramutti, J., Nazario-Naveda, R., Gallozzo-Cardenas, M., Diaz, F., & Delfin-Narciso, D. (2023). An Analysis of Global Trends from 1990 to 2022 of Microbial Fuel Cells: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*, 15(4), 3651.
- [30] Rojas-Flores, S., Cabanillas-Chirinos, L., Nazario-Naveda, R., Gallozzo-Cardenas, M., Diaz, F., Delfin-Narciso, D., & Rojas-Villacorta, W. (2023). Use of Tangerine Waste as Fuel for the Generation of Electric Current. *Sustainability*, 15(4), 3559.
- [31] Segundo, R. F., De La Cruz-Noriega, M., Nazario-Naveda, R., Benites, S. M., Delfin-Narciso, D., Angelats-Silva, L., & Díaz, F. (2022). Golden Berry Waste for Electricity Generation. *Fermentation*, 8(6), 256.
- [32] Rojas-Flores, S., De La Cruz-Noriega, M., Nazario-Naveda, R., Benites, S. M., Delfin-Narciso, D., Angelats-Silva, L., & Murga-Torres, E. (2022). Use of Banana Waste as a Source for Bioelectricity Generation. *Processes*, 10(5), 942.
- [33] Simeon, M. I., Asoiro, F. U., Aliyu, M., Raji, O. A., & Freitag, R. (2020). Polarization and power density trends of a soil-based microbial fuel cell treated with human urine. *International Journal of Energy Research*, 44(7), 5968-5976.
- [34] Kondaveeti, S., Mohanakrishna, G., Kumar, A., Lai, C., Lee, J. K., & Kalia, V. C. (2019). Exploitation of citrus peel extract as a feedstock for power generation in microbial fuel cell (MFC). *Indian journal of microbiology*, 59, 476-481.