

Tangerine waste and pH variation to improve bioelectricity generation in microbial fuel cells

Rojas-Flores Segundo¹, Nancy Soto-Deza¹, De La Cruz Noriega Magaly¹, Mayra De La Cruz-Cerquin¹, Luis Cabanillas-Chiriños

¹ Institutos y Centros de Investigación de la Universidad Cesar Vallejo, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo 13001, Perú. segundo.rojas.89@gmail.com; nsoto@ucv.edu.pe; mdelacruz@ucv.edu.pe; mdelacruz@ucv.edu.pe; nterronesr@ucv.edu.pe

² Investigación Formativa e Integridad Científica, Universidad César Vallejo, Trujillo 13001, Perú. lcabanillas@ucv.edu.pe

Abstract – Fruit yields have increased in recent years due to the increase in population and the lack of organization in the harvesting sector, causing a series of environmental problems for society. Based on this, this investigation leads to knowing a new form of generating bioelectricity through waste of mandarin in microbial fuel cells at the laboratory scale, varying the pH (3, Target, 7 and 9) of the substrate used (waste of mandarin). If I observe that the pH-3 cell generates the highest values of electrical current (8.497 mA), voltage (1.203 V) and electrical conductivity (164 mS/cm), and the pH-9 cell shows the values lower (0.408 V, 2.76 mA and 47.8 mS/cm). It should be noted that the internal resistance values increase with the increase in the pH values of the cells, being the pH cell 3 and 9, the lowest ($24.365 \pm 1.274 \Omega$) and highest ($134.788 \pm 15.492 \Omega$) recorded. Likewise, the values of the power densities were calculated, the pH-3 range being the highest recorded value, being $507.888 \pm 16.184 \text{ mW/cm}^2$ at a current density of $5,786 \text{ A/cm}^2$. This investigation generates an opportunity to reduce gas emissions for businesses and farmers dedicated to the export and import of this fruit, due to the fact that in the near future they will be able to use their own designs as fuel for the generation of electricity.

Key words—tangerine, pH, organic waste, microbial fuel cells, sustainable.

Residuos de mandarina y variación del pH para mejorar la generación de bioelectricidad en pilas de combustible microbianas

Tangerine waste and pH variation to improve bioelectricity generation in microbial fuel cells

Rojas-Flores Segundo¹, Nancy Soto-Deza¹, De La Cruz Noriega Magaly¹, Mayra De La Cruz-Cerquin¹, Luis Cabanillas-Chiriños

¹ Institutos y Centros de Investigación de la Universidad Cesar Vallejo, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo 13001, Perú. segundo.rojas.89@gmail.com; nsoto@ucv.edu.pe; mdelacruz@ucv.edu.pe; mdelacruz@ucv.edu.pe; nterronesr@ucv.edu.pe

² Investigación Formativa e Integridad Científica, Universidad César Vallejo, Trujillo 13001, Perú. lcabanillas@ucv.edu.pe

Resumen—Los desechos de frutas han aumentado en los últimos años debido al aumento de la población y a la falta de organización en el recojo de desecho, ocasionando una serie de problemas ambientales para sociedad. Debido a estos, esta investigación da a conocer una novedosa forma de generar bioelectricidad a través de desecho de mandarina en celdas de combustible microbiana a escala de laboratorio, variando el pH (3, blanco, 7 y 9) del sustrato utilizado (desechos de mandarina). Se observó que la celda a pH-3 generó los valores más altos de corriente eléctrica (8.497 mA), voltaje (1.203 V) y conductividad eléctrica (164 mS/cm), y la celda a pH-9 fueron las que mostraron los valores más bajos (0.408 V, 2.76 mA y 47.8 mS/cm). Se logró observar que los valores de la resistencia interna aumentaban al incremento de los valores de pH de las celdas, siendo la celda de pH 3 y 9, el más bajo ($24.365 \pm 1.274 \Omega$) y alto ($134.788 \pm 15.492 \Omega$) registrado. Así también, se calcularon los valores de las densidades de potencia, siendo la celda de pH-3 el valor más alto registrado, siendo de $507.888 \pm 16.184 \text{ mW/cm}^2$ en una densidad de corriente de 5.786 A/cm^2 . Esta investigación genera una oportunidad para reducir los gastos para las empresas y agricultores dedicadas a la exportación e importación de este fruto, debido a que en futuro próximo podrán usar sus propios desechos como combustible para la generación de electricidad.

Palabras claves—mandarina, pH, desechos orgánicos, celdas de combustible microbiana, sostenible.

Abstract – Fruit yields have increased in recent years due to the increase in population and the lack of organization in the harvesting sector, causing a series of environmental problems for society. Based on this, this investigation leads to knowing a new form of generating bioelectricity through waste of mandarin in microbial fuel cells at the laboratory scale, varying the pH (3, Target, 7 and 9) of the substrate used (waste of mandarin). It was observed that the cell at pH-3 generated the highest values of electrical current (8.497 mA), voltage (1.203 V) and electrical conductivity (164 mS/cm), and the cell at pH-9 were the ones that showed the lowest values (0.408 V, 2.76 mA and 47.8 mS/cm). It was observed that the internal resistance values increased with the increase in the pH values of the cells, being the pH cell 3 and 9, the lowest ($24.365 \pm 1.274 \Omega$) and highest ($134.788 \pm 15.492 \Omega$) recorded. Likewise, the values of the power densities were calculated, the pH-3 range being the highest recorded value, being $507.888 \pm 16.184 \text{ mW/cm}^2$ at a current density of 5.786 A/cm^2 . This investigation generates an opportunity to reduce gas emissions for businesses and farmers dedicated to the export and import of this fruit, due to the fact that in the near future they will be able to use their own designs as fuel for the generation of electricity.

observe that the pH-3 cell generates the highest values of electrical current (8.497 mA), voltage (1.203 V) and electrical conductivity (164 mS/cm), and the pH-9 cell shows the values lower (0.408 V, 2.76 mA and 47.8 mS/cm). It should be noted that the internal resistance values increase with the increase in the pH values of the cells, being the pH cell 3 and 9, the lowest ($24.365 \pm 1.274 \Omega$) and highest ($134.788 \pm 15.492 \Omega$) recorded. Likewise, the values of the power densities were calculated, the pH-3 range being the highest recorded value, being $507.888 \pm 16.184 \text{ mW/cm}^2$ at a current density of 5.786 A/cm^2 . This investigation generates an opportunity to reduce gas emissions for businesses and farmers dedicated to the export and import of this fruit, due to the fact that in the near future they will be able to use their own designs as fuel for the generation of electricity.

Key words—tangerine, pH, organic waste, microbial fuel cells, sustainable.

I. INTRODUCCIÓN

El aumento de los desechos orgánicos viene generado grandes daños al medio ambiente convirtiéndose en un problema para los gobiernos de diferentes países, más aún en los que se encuentran en vías de desarrollo, donde los residuos de vegetales y frutas son arrojados alrededor de los centros de abastos generando malos olores, atrayendo roedores y aves que pueden ocasionar problemas de salud para las personas que viven cerca de dichos lugares [1-4]. En ese sentido, muchos centros de investigación han comenzado a orientar sus trabajos en la reutilización de los desechos para un segundo uso [5,6]. Motivo por el cual, las celdas de combustible microbiana (CCM) ha tomado gran importancia en las últimas décadas, esta tecnología puede utilizar diferentes tipos de sustratos (desechos orgánicos) como combustible para generar energía eléctrica [7,8]. Las celdas constan de una cámara anódica y otra catódica unidas por un PEM (membrana de

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

intercambio protónico) y los electrodos que se encuentran dentro de las CCMs (anódico y catódico) se unen por el exterior mediante un circuito externo [10]. Las CCMs generan bioelectricidad a través del proceso redox, es decir, convierten la energía química en energía eléctrica, la energía química se genera a partir de los compuestos que contienen los sustratos usados (aguas residuales, residuos de comida, residuos de vegetales, residuos de fruta, etc.) [11,12].

Por otro lado, la ONU (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) reportó que en el 2019 se produjo un aproximado de 0.5 billones de toneladas de desechos (frutas y vegetales), generando pérdidas no solo en la etapa agrícola, sino también en las etapas de procesamiento en planta [13,14]. Uno de los frutos más cosechados y vendidos son los cítricos, específicamente la naranja, debido a que se usa como plantas medicinales y tanto su pulpa como su cascara tienen un gran potencial antibacteriano, además de otras propiedades [15,16]. Se ha reportado que los frutos de naranja desecha aproximadamente entre el 50 y 60 % de su masa, y su acumulación de año tras año generan más de 4 toneladas de CO₂ por cada tonelada de desperdicio que se pudre y descompone [17]. En este sentido, diferentes tipos de desechos de frutas han sido utilizados para combustibles en CCMs para la generación de bioelectricidad, por ejemplo, Prasadha et al. (2020) logró generar 373 mV, 25.7 mW/m² y 21.4 mA/m² de voltaje, densidad de potencia y densidad de corriente respectivamente, utilizando desechos de vegetales y frutas a un pH de 6.9 de operación de las CCMs [18]. Así también, Rincón et al. (2022) logró generar picos 286 mV en CCMs donde utilizaron desechos de banana como combustible, dichas CCMs operaron a 4.5 ± 0.10 de pH [19]. Un factor importante en la operación de las CCMs son los valores pH a los cuales operan, debido a que los microorganismos generadores de la corriente eléctrica y que forman la biopelícula crecen a condiciones adecuadas dentro de las celdas, motivo por el cual, el estudio de este factor es de vital importancia [20,21]. En consecuencia, Igboamalu et al. (2019) estudió el efecto del pH en CCM usando como sustrato aguas residuales con valores de pH de 6,7,8 y 9; logrando observar que las CCMs con pH 9 obtuvieron mejores valores de voltaje (197.2 mV) y densidad de potencia (10.3 mW/m²) [22]. Así también, se ha estudiado a los residuos de papaya a diferentes valores de pH (4, 5.73, 7, and 9), lográndose observar que a pH 7 se obtuvieron los mejores valores de voltaje (1.02 V) y corriente eléctrica (17.97 mA) [23]. De la misma forma, se han reportado en la literatura diferentes valores de pH óptimos para cada sustrato, y varios autores afirman que para cada sustrato los valores de pH son diferentes y es importante conocerlos para poder hacer escalable esta tecnología [24,25].

Esta investigación tuvo como objetivo principal evaluar la generación de bioelectricidad en celdas de combustible

microbiana a escala de laboratorio usando desechos de mandarina a diferentes pH (3, 3.29, 7 y 9), para ello se monitoreo los valores de voltaje, corriente eléctrica y conductividad eléctrica del sustrato, por un periodo de 30 días. Así también, se calculó los valores de resistencia interna, densidad de potencia y densidad de corriente de celdas. De esta manera, en la investigación se encontrará un pH óptimo de operación para el sustrato de desechos de mandarina, para una futura ampliación a gran escala; para que los agricultores y empresas dedicadas a la producción, exportación e importancia de este fruto puedan utilizar sus desechos como combustible para generar su propia energía eléctrica.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Fabricación de las celdas de combustible microbiana

Se utilizaron cuatro celdas de combustible microbiana (uno para cada CCM), las cuales fueron adquiridas de la empresa SAIDKOCC (SAIDKOCC-10091720, Fujian, China), mientras que los electrodos utilizados fueron de cobre (Cu, con un área de 40 cm²) y zinc (Zn, con un área de 62.5 cm²) para el ánodo y catodo, respectivamente. Mientras que, para el circuito externo se utilizó un alambre de cobre (6mm de grosor) y una resistencia de 100 Ω, y como membrana de intercambio protónico se utilizó Nafion 117 (Merck); como se muestra en la Figura 1.



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

B. Recojo de los desechos de mandarina y su variación de pH.

Los desechos de mandarina se obtuvieron del mercado Palermo -Ex Mayorista, Trujillo, Perú; de donde se recolectaron 1.5 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 800 mL. Los valores de pH fueron de 3, 7, 9 y el blanco para ajustar el pH a 3 se utilizó 6 mL de ácido clorhídrico a 0.1N, mientras que para

ajustar el pH a 7 y 9 se utilizó 16 y 22 mL de hidróxido de sodio a 0.1 N respectivamente; por último, el pH del blanco (desecho de mandarina natural) fue de 3.29.

C. Caracterización de las celdas de combustible microbiana.

Los valores de corriente y voltaje se monitorearon por 30 días utilizando un multímetro (Prasek Premium PR-85, USA), mientras que los valores de densidad de potencia y densidad de corriente se midieron 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 , $1000 \pm 20.5 \Omega$ [26]. En este sentido, la resistencia interna se encontró utilizando el sensor de energía (Vernier- $\pm 30V$ & ± 1000 mA, USA) y usando la ley de ohm. Así también, se monitoreo los valores de pH y conductividad eléctrica con un pH-metro (110 Series Oakton, USA) y conductímetro (DC-4301, USA), durante los 30 días de operación.

III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la Figura 2 (a) se observa los valores de voltaje monitoreados durante los 30 días, donde la CCM a pH 3 (1.203 V) logró generar picos más altos de voltaje comparados con las otras celdas a pH blanco (1.106 V), 7 (0.927 V) y 9 (0.408 V), en el quinceavo día; para después descender hasta el último día, donde el CCM a pH-3 genero 0.872 V y la de pH-9 0.132 V.

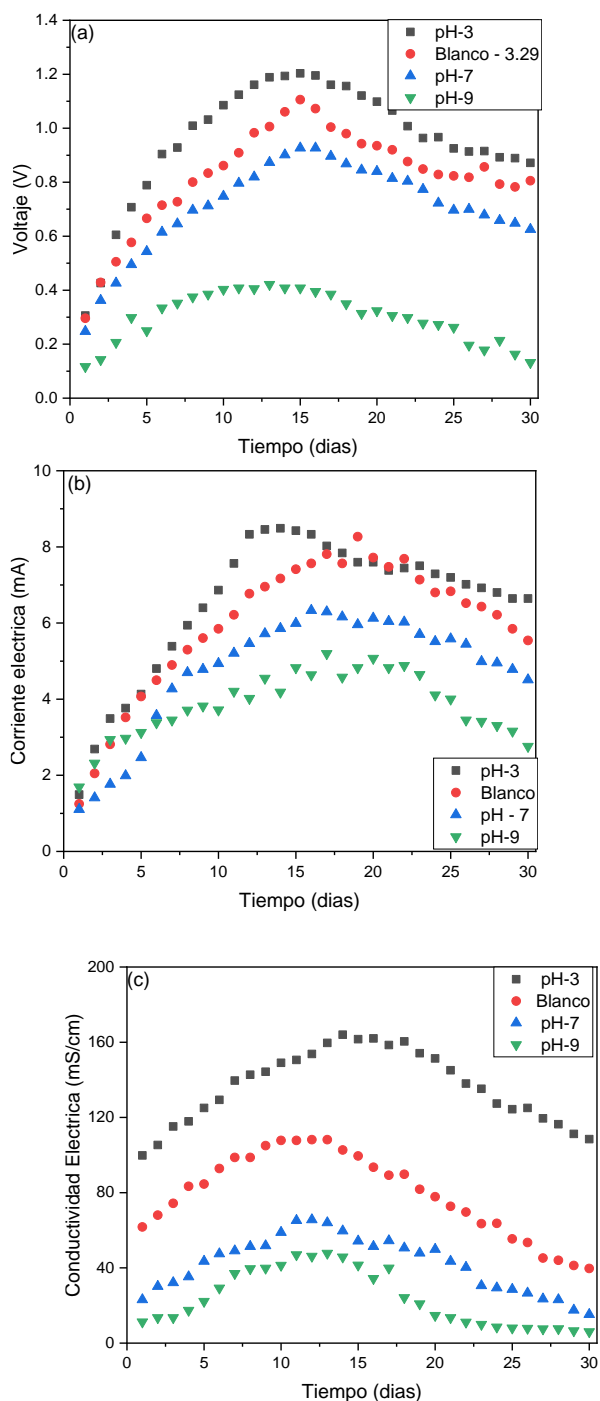
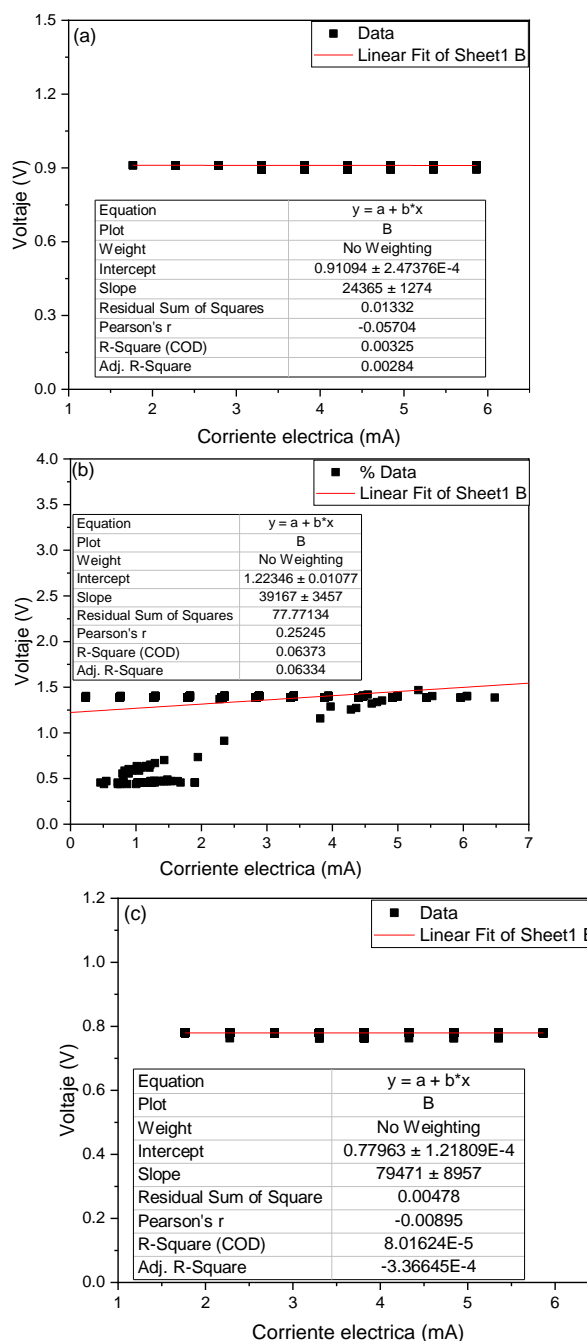


Figure 2. Valores de (a) voltaje, (b) corriente eléctrica y (c) conductividad eléctrica obtenidos de las celdas de combustible microbiana durante el monitoreo

En la Figura 2 (b) se muestra los valores de la corriente eléctrica generada por las celdas de combustible microbiana, lográndose observar que todas las celdas aumentaron sus valores desde el primer día hasta el día 14 para la CCM a pH-

3 la que generó un pico máximo de 8.497 mA seguida por la CCM a pH-Blanco de 8.27 mA en el día 16; todas las CCMs mostraron el mismo comportamiento después de alcanzar algunos días el pico máximo de sus valores para después descender hasta el último día, siendo las CCM con pH-9 (2.76 mA) la que generó menos corriente eléctrica en el día 30. El aumento de los valores de corriente y voltaje se debe al alto contenido de material ricos en carbón que son usados como fuentes de alimentos por los microorganismos generados de electrones, mientras que la disminución en cierto punto del monitoreo se debe a que el sustrato orgánico usado como fuente de alimentación se comenzó a disminuir en la cámara anódica [27-29]. Mientras que los valores pH fueron los principales influyentes para los diferentes valores obtenidos, debido a que cada microorganismo crece en pH específicos y al estandarizar cada valor de pH para CCM algunos crecieron y otros no [30,31]. Los valores obtenidos en la CCM a pH-3 fueron altos en comparación con otros trabajos, por ejemplo, Kalagbor y Akpotayire (2020) usando desechos de Watermelon and Paw-paw como sustrato logró genera picos de 46.70m V para 1 kg de sustrato en sus celdas de combustible de una sola cámara [32]. Así también, Kondaveeti et al. (2019) logró generar picos de voltaje de 262 V usando como sustrato cascara de cítricos en CCMs de una sola cámara con electrodos de grafitos [33]. En la Figura 2 (c) se muestran los valores de la conductividad eléctrica, en las cuales se logran apreciar que la conductividad eléctrica de todos los sustratos utilizados aumenta, siendo el sustrato con el pH ajustado a 3 el que muestra un mayor valor (164 mS/cm) y el de pH-9 el de menor valor (47.8 mS/cm) en el día 14 y 13 respectivamente, para después descender hasta el último día. Se ha encontrado en la literatura que el aumento de los valores de la conductividad eléctrica se debe principalmente a la disminución de la resistencia interna del sustrato utilizado, los cuales se pueden deber a varios factores (proliferación de microorganismos, liberación de electrones a grandes a cantidad, etc.), mientras que la disminución de estos mismos valores se debería a la sedimentación de la materia orgánica en el etapa final del monitoreo o degradación de la materia orgánica [34-36].

En la Figura 3 se observa los valores de las resistencias internas de las celdas de combustible microbiana, para las cuales se utilizó la Ley Ohm ($V=IR$), donde los valores del voltaje se ajustaron al eje “Y” mientras que los valores de la corriente eléctrica al eje “X”, cuya pendiente del ajuste lineal resulta ser la resistencia del dispositivo. Los valores de resistencia interna fueron 24.365 ± 1274 , 39.167 ± 3.457 , 79.471 ± 8.957 y $134.788 \pm 15.492 \Omega$ para las CCMs a pH-3, blanco, 7 y 9 respectivamente, logrando observar que los valores de resistencia interna aumentan al aumento del pH.



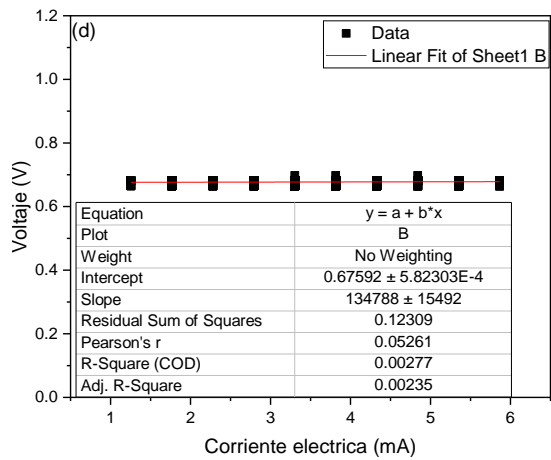
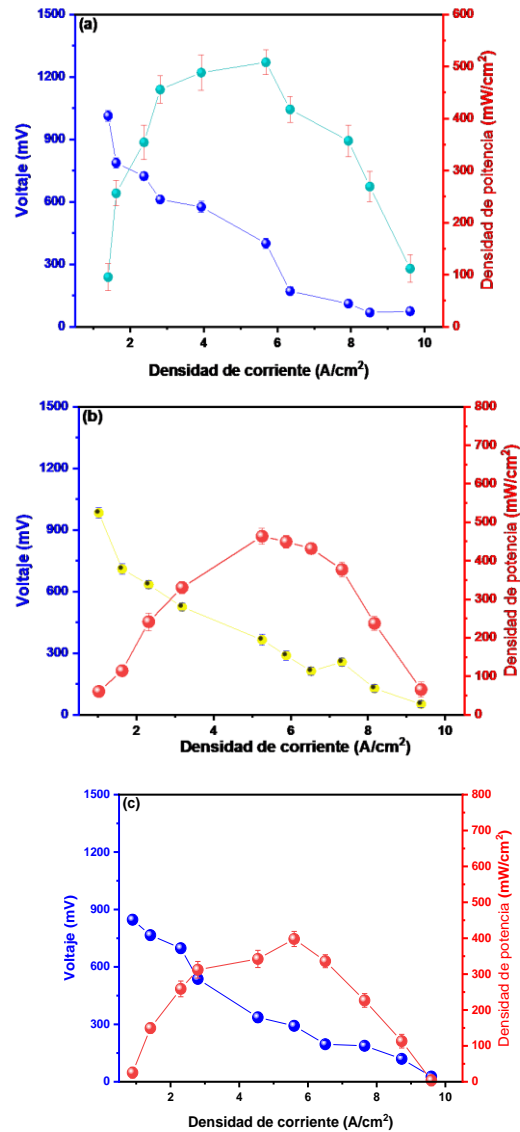


Figure 3. Valores de la resistencia interna de las celdas de combustible microbiana a pH (a) 3, (b) blanco, (c) 7 y (d) 9.

Según Christwardana et al. (2020) mencionada en su investigación que los valores de la resistencia interna tienen una dependencia de la biopelícula formada y que el pH en las CCMs varía las características de las biopelículas (forma, grosos y porosidad) [37]. En este sentido, la corrosión de los electrodos al paso del tiempo también se vio influenciada en la generación de energía eléctrica, debido a que al usar un electrodo puramente metálico la superficie se desgasta; cabe resaltar que la resistencia interna de las CCMs están constituidas por tres tipos de resistencia: resistencia a la reacción electroquímica (que está relacionada con la barrera de energía de activación del metabolismo microbiano del sustrato), la resistencia óhmica (está asociada con la barrera de transferencia de electrones de los electrogénicos al ánodo y del ánodo al cátodo) y la resistencia a la transferencia de masa (surge de las limitaciones de transferencia de masa tanto del sustrato hacia el ánodo como de la comunidad microbiana y los metabolitos fuera del ánodo) [38-41].

En la Figura 4 se observa los valores de la densidad de potencia (DP) en función de la densidad de corriente (DC), donde las valores de DP_{max} fueron 507.888 ± 16.184 , 464.348 ± 13.1547 , 393.75 ± 14.578 y 213.740 ± 8.471 mW/cm^2 cuyos valores de DC fueron de 5.786, 5.275, 5.649 y 5.4487 A/cm^2 con un voltaje pico de 1016.12, 974.978, 835.877 y 388.889 mV para las CCMs con pH 3, blanco, 7 y 9; respectivamente. Los valores de DP encontrados en la CCM a pH-3 son mayores a reportados en otras investigaciones, por ejemplo, Torlaema et al. (2022) logro generar una DP_{max} de 1.068 mW/m^2 en una DC de 123.684 mA/m^2 en sus CCMs de una sola cámara utilizando desechos de arroz, estos valores pueden deberse a la alta resistencia interna encontrada (733 Ω), cuya posible solución sería reduciendo la distancia entre los electrodos anódicos y catódicos de la CCM [42]. Así también, Christwardana et al. (2021) logro generar picos de DP de 1.13 ± 0.23 mW/m^2 en CCMs de una sola cámara utilizando

como sustrato bagazo de caña, logrando observar que al agregar glucosa en el sustrato ayuda a incrementar los valores de las densidades de potencia [43]. En la Figura 5 se muestra la esquematización del proceso de generación de bioelectricidad a través de celdas de combustible microbiana utilizando desechos de mandarina a diferentes valores de pH, logrando observar que las CCMs conectadas en serie lograron generar picos de voltaje de 4.01 V lo capaces para encender un foco led (rojo).



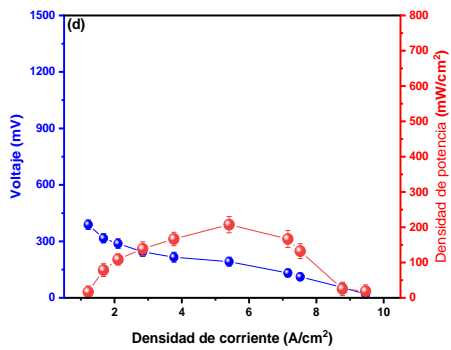


Figure 4. Values of the power densities as a function of the current density of the microbial fuel cells at (a) 4, (b) blanco, (c) 7, and (c) 9 of pH.

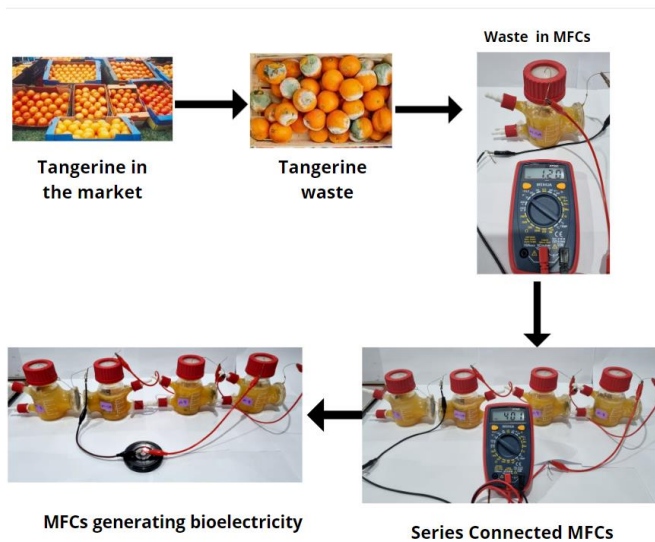


Figura 5. Esquemización del proceso de generación de bioelectricidad usando desechos de mandarina a diferentes pH.

IV. CONCLUSIONES

Se logro generar bioelectricidad exitosamente a través de desechos de mandarina a diferentes pH (3, blanco, 7 y 9) en celdas de combustible microbiana a escala de laboratorio. Las celdas a pH-3 fue la genero picos de voltaje (1.203 V), corriente eléctrica (8.497 mA) y conductividad eléctrica (164 mS/cm) más altos que las demás, pero todas las celdas mostraron comportamientos similares, es decir, aumentaron hasta cierto punto y luego disminuyeron lentamente. Así también, se observó que los valores de la resistencia interna de las celdas de combustible microbiana fueron directamente proporcional a los valores de voltaje y corriente obtenidos, es decir para las celdas a pH-3, blanco, 7 y 9 se obtuvieron resistencia de 24.365 ± 1274 , 39.167 ± 3.457 , 79.471 ± 8.957 y $134.788 \pm 15.492 \Omega$, respectivamente. Mientras que las densidades de potencia máxima y mínima calculadas fueron de 507.888 ± 16.184 y $213.740 \pm 8.471 \text{ mW/cm}^2$ en densidad de

corriente de 5.786 y 5.4487 A/cm^2 para las celdas a pH 3 y 9 respectivamente. Esta investigación da grandes avances para la estandarización del uso de desechos de mandarina usados como sustratos, debido a que se observó que a un pH acido el potencial de generación de energía eléctrica es mejor, así como también, el uso de electrodos metálicos ayuda aumentar los parámetros eléctricos.

AGRADECIMIENTO

La investigación fue financiada por la Universidad Cesar Vallejo, con código de resolución P-2023-113.

REFERENCIAS

- [1] Tanga, C. M., Waweru, J. W., Tola, Y. H., Onyoni, A. A., Khamis, F. M., Ekesi, S., & Paredes, J. C. (2021). Organic waste substrates induce important shifts in gut microbiota of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.): coexistence of conserved, variable, and potential pathogenic microbes. *Frontiers in microbiology*, 12, 635881.
- [2] Gadaleta, G., De Gisi, S., & Notarnicola, M. (2021). Feasibility analysis on the adoption of decentralized anaerobic co-digestion for the treatment of municipal organic waste with energy recovery in urban districts of metropolitan areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1820.
- [3] Feng, K., Wang, Q., Li, H., Zhang, Y., Deng, Z., Liu, J., & Du, X. (2020). Effect of fermentation type regulation using alkaline addition on two-phase anaerobic digestion of food waste at different organic load rates. *Renewable Energy*, 154, 385-393.
- [4] Dasgupta, A., & Chandel, M. K. (2019). Enhancement of biogas production from organic fraction of municipal solid waste using hydrothermal pretreatment. *Bioresource Technology Reports*, 7, 100281.
- [5] Gadkari, S., Shemfe, M., & Sadhukhan, J. (2019). Microbial fuel cells: a fast converging dynamic model for assessing system performance based on bioanode kinetics. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(29), 15377-15386.
- [6] Fang, C., & Achal, V. (2019). The potential of microbial fuel cells for remediation of heavy metals from soil and water—review of application. *Microorganisms*, 7(12), 697.
- [7] Aiyer, K. S. (2020). How does electron transfer occur in microbial fuel cells?. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 36(2), 1-9.
- [8] Dai, M., Wu, Y., Wang, J., Lv, Z., Li, F., Zhang, Y., & Kong, Q. (2022). Constructed wetland-microbial fuel cells enhanced with iron carbon fillers for ciprofloxacin wastewater treatment and power generation. *Chemosphere*, 305, 135377.
- [9] Sahu, O. (2019). Sustainable and clean treatment of industrial wastewater with microbial fuel cell. *Results in Engineering*, 4, 100053.
- [10] Hassan, S. H., Abd el Nasser, A. Z., & Kassim, R. M. (2019). Electricity generation from sugarcane molasses using microbial fuel cell technologies. *Energy*, 178, 538-543.
- [11] Rodríguez García, S. L., & Raghavan, V. (2021). Green extraction techniques from fruit and vegetable waste to obtain bioactive compounds—A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1-21.
- [12] Hallaji, S. M., Kuroshkarim, M., & Moussavi, S. P. (2019). Enhancing methane production using anaerobic co-digestion of waste activated sludge with combined fruit waste and cheese whey. *BMC biotechnology*, 19(1), 1-10.
- [13] Esparza, I., Jiménez-Moreno, N., Bimbela, F., Ancín-Azpilicueta, C., & Gandia, L. M. (2020). Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches. *Journal of Environmental Management*, 265, 110510.
- [14] Sirohi, R., Gaur, V. K., Pandey, A. K., Sim, S. J., & Kumar, S. (2021). Harnessing fruit waste for poly-3-hydroxybutyrate production: a review. *Bioresource technology*, 326, 124734.

- [15] Kumar, H., Bhardwaj, K., Sharma, R., Nepovimova, E., Kuča, K., Dhanjal, D. S., ... & Kumar, D. (2020). Fruit and vegetable peels: Utilization of high value horticultural waste in novel industrial applications. *Molecules*, 25(12), 2812.
- [16] Saleem, M., & Saeed, M. T. (2020). Potential application of waste fruit peels (orange, yellow lemon and banana) as wide range natural antimicrobial agent. *Journal of King Saud University-Science*, 32(1), 805-810.
- [17] Kumar, A., Bhattacharya, T., Shaikh, W. A., Chakraborty, S., Owens, G., & Naushad, M. (2022). Valorization of fruit waste-based biochar for arsenic removal in soils. *Environmental Research*, 213, 113710.
- [18] Prasadha, W. (2020). Electricity Production from Food Waste Leachate (Fruit and Vegetable Waste) using Double Chamber Microbial Fuel Cell: Comparison between Non-aerated and Aerated Configuration. *ROTASI*, 22(3), 162-168.
- [19] Rincón-Catalán, N. I., Cruz-Salomón, A., Sebastian, P. J., Pérez-Fabiel, S., Hernández-Cruz, M. D. C., Sánchez-Albores, R. M., ... & Nájera-Aguilar, H. A. (2022). Banana Waste-to-Energy Valorization by Microbial Fuel Cell Coupled with Anaerobic Digestion. *Processes*, 10(8), 1552.
- [20] Brochu, N., Gong, L., Greener, J., & Miled, A. (2020, February). Ultra-low power pH sensor powered by microbial fuel cells. In *Microfluidics, BioMEMS, and Medical Microsystems XVIII* (Vol. 11235, pp. 77-83). SPIE.
- [21] Abdel-Gelel, I. Y., Abdel-Mongy, M., Hamza, H. A., & Abbas, R. N. (2021). Bioelectricity Production from Different Types of Bacteria Using MFC Under Optimizing Factors and New Bacterial Strain Bioelectricity Production Isolated from Milk Sample in Egypt. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*, 25(6), 20377-20391.
- [22] Igboamalu, T. E., Bezuidenhout, N., Matsena, M. T., & Chirwa, E. (2019). Microbial fuel cell power output and growth: effect of pH on anaerobic microbe consortium.
- [23] Rojas-Flores, S., De La Cruz-Noriega, M., Benites, S. M., Delfin-Narciso, D., Angelats-Silva, L., Díaz, F., & Cabanillas-Chirinos, L. (2022). Generation of Electricity Through Papaya Waste at Different pH. *Environmental Research, Engineering and Management*, 78(4), 137-146.
- [24] Chen, S., Chen, W., Wang, X., Ding, Y., Zhao, D., & Wang, J. (2020). Treating simulated nitrate pollution groundwater with different pH by microbial fuel cell. *Polish Journal of Environmental Studies*, 29(6).
- [25] Li, L. I., Qin, D. A. I., Sai, Z. H. A. N. G., & Hao, L. I. U. (2021). Degradation efficiency and mechanism of sulfur-containing azo dye wastewater by microbial fuel cell under different pH conditions. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 15(1), 115-125.
- [26] Rojas-Flores, S., De La Cruz-Noriega, M., Benites, S. M., Delfin-Narciso, D., Luis, A. S., Díaz, F., ... & Moises, G. C. (2022). Electric Current Generation by Increasing Sucrose in Papaya Waste in Microbial Fuel Cells. *Molecules*, 27(16), 5198.
- [27] 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.
- [28] He, J., Xin, X., Pei, Z., Chen, L., Chu, Z., Zhao, M., ... & Xiao, X. (2021). Microbial profiles associated improving bioelectricity generation from sludge fermentation liquid via microbial fuel cells with adding fruit waste extracts. *Bioresource technology*, 337, 125452.
- [29] Kebaili, H., Kameche, M., Innocent, C., Ziane, F. Z., Sabeur, S. A., Sahraoui, T., ... & Charef, M. A. (2021). Treatment of fruit waste leachate using microbial fuel cell: Preservation of agricultural environment. *Acta Ecologica Sinica*, 41(2), 97-105.
- [30] Igboamalu, T. E., Bezuidenhout, N., Matsena, M. T., & Chirwa, E. (2019). Microbial fuel cell power output and growth: effect of pH on anaerobic microbe consortium.
- [31] Vélez-Pérez, L. S., Ramirez-Nava, J., Hernández-Flores, G., Talavera-Mendoza, O., Escamilla-Alvarado, C., Poggi-Varaldo, H. M., ... & López-Díaz, J. A. (2020). Industrial acid mine drainage and municipal wastewater co-treatment by dual-chamber microbial fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(26), 13757-13766.
- [32] Kalagbor Ihesinachi, A., & Akpotayire Stephen, I. (2020). Electricity Generation from Waste Tropical Fruits-Watermelon (*Citrullus lanatus*) and Paw-paw (*Carica papaya*) using Single Chamber Microbial Fuel Cells. *IJEIC*.
- [33] 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(4), 476-481.
- [34] Reddy, C. N., Nguyen, H. T., Noori, M. T., & Min, B. (2019). Potential applications of algae in the cathode of microbial fuel cells for enhanced electricity generation with simultaneous nutrient removal and algae biorefinery: Current status and future perspectives. *Bioresource technology*, 292, 122010.
- [35] De La Cruz-Noriega, M., Rojas-Flores, S., Nazario-Naveda, R., Benites, S. M., Delfin-Narciso, D., Rojas-Villacorta, W., & Diaz, F. (2022). Potential Use of Mango Waste and Microalgae *Spirulina* sp. for Bioelectricity Generation. *Environmental Research, Engineering and Management*, 78(3), 129-136.
- [36] James, A. (2022). Ceramic-microbial fuel cell (C-MFC) for waste water treatment: A mini review. *Environmental Research*, 210, 112963.
- [37] Christwardana, M., Hadiyanto, H., Motto, S. A., Sudarno, S., & Haryani, K. (2020). Performance evaluation of yeast-assisted microalgal microbial fuel cells on bioremediation of cafeteria wastewater for electricity generation and microalgae biomass production. *Biomass and Bioenergy*, 139, 105617.
- [38] Yu, B., Feng, L., He, Y., Yang, L., & Xun, Y. (2021). Effects of anode materials on the performance and anode microbial community of soil microbial fuel cell. *Journal of Hazardous Materials*, 401, 123394.
- [39] Xu, F., Ouyang, D. L., Rene, E. R., Ng, H. Y., Guo, L. L., Zhu, Y. J., ... & Kong, Q. (2019). Electricity production enhancement in a constructed wetland-microbial fuel cell system for treating saline wastewater. *Bioresource technology*, 288, 121462.
- [40] Kim, B., Mohan, S. V., Fapyane, D., & Chang, I. S. (2020). Controlling voltage reversal in microbial fuel cells. *Trends in biotechnology*, 38(6), 667-678.
- [41] Gadkari, S., Shemfe, M., & Sadhukhan, J. (2019). Microbial fuel cells: a fast converging dynamic model for assessing system performance based on bioanode kinetics. *International Journal of Hydrogen Energy*, 44(29), 15377-15386.
- [42] Torlaema, T. A. M., Ibrahim, M. N. M., Ahmad, A., Guerrero-Barajas, C., Alshammari, M. B., Oh, S. E., & Hussain, F. (2022). Degradation of Hydroquinone Coupled with Energy Generation through Microbial Fuel Cells Energized by Organic Waste. *Processes*, 10(10), 2099.
- [43] Christwardana, M., Joelianingsih, J., & Yoshi, L. A. (2021). Performance of yeast microbial fuel cell integrated with sugarcane bagasse fermentation for cod reduction and electricity generation. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis*, 16(3), 446-458.