

Bioelectricity through Microbial Fuel Cells from decomposed fruits using lead and copper electrodes.

Rojas-Flores S.^{1*}, Benites Santiago M.², R. Agüero Quiñones³, R. Enríquez-León³, Angelats-Silva Luis⁴

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

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

³ Escuela de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo 13001, Perú.
rickelmi2001@gmail.com, martin1258@hotmail.com

⁴ Laboratorio de Investigación Multidisciplinaria (LABINM), Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo 13008, Perú. langelatss@upao.edu.pe

Abstract– Microbial fuel cells (MFC) is a technology that generates electrical energy using organic matter as fuel, becoming a new way of generating electricity that is friendly to the environment. In this research work, MFCs were used with lead and copper electrodes, and as fuel the wastes from Aguaymanto, Camu-camu, Cocona, Granadilla, Tomato and Tuna. The MFCs were monitored for 22 days the voltage, current and pH parameters; as well as current density (CD) and power density (PD) values. The MFC with cocona substrate generated greater voltage during the entire monitoring period, from 0.52 to 0.36 V. While the camu-camu generated a greater current of 6.1 to 5.6 mA, from the first to the last day. All cells show slightly acidic pH, in the same way that volume losses were also observed, being the MFC with granadilla the one that showed greater loss. MFCs with substrates of camu-camu, aguaymanto, cocona, tomato, granadilla and prickly pear showed 7.15, 5.23, 4.14, 4.13, 3.25 and 3.72 W/cm² of DPmax. in 0.54, 0.42, 0.75, 0.29, 0.45 and 0.56 A/cm² of DC. Finally, it was possible to generate bioelectricity successfully, giving a solution to the importing and exporting companies of this type of fruit-vegetable for their own benefit

Keywords– microbial fuel cells, bioelectricity, organic waste, electrical energy.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.17>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

Bioelectricidad mediante Celdas de Combustible Microbiana a partir de frutas descompuestas usando electrodos de plomo y cobre.

Rojas-Flores S.^{1*}, Benites Santiago M.², R. Agüero Quiñones³, R. Enríquez-León³, Angelats-Silva Luis⁴

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

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

³ Escuela de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo 13001, Perú.
rickelmi2001@gmail.com, martin1258@hotmail.com

⁴ Laboratorio de Investigación Multidisciplinaria (LABINM), Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo 13008, Perú. langelatss@upao.edu.pe

Resumen- Las celdas de combustible microbiana (CCM) es una tecnología que genera energía eléctrica utilizando la materia orgánica como combustible, convirtiéndose en una nueva forma de generación de electricidad amigable con el medio ambiente. En este trabajo de investigación se utilizó celdas de combustible microbianas (CCMs) con electrodos de plomo y cobre, y como combustible los desechos de aguaymanto, camu-camu, cocona, granadilla, tomate y tuna. Las CCMs se monitorearon durante 22 días los parámetros de voltaje, corriente y pH; así como también se muestra los valores de densidad de corriente (DC) y potencia (DP). La CCM con sustrato de cocona genero mayor voltaje durante todo el periodo de monitoreo, desde 0.52 a 0.36 V. Mientras que el camu-camu genero mayor corriente de 6.1 a 5.6 mA, desde el primer al último día. Todas las celdas muestran pH ligeramente ácidos, del mismo modo que también se observó pérdidas de volumen, siendo la CCM con granadilla la que mostro mayor pérdida. Las CCMs con sustratos de camu-camu, aguaymanto, cocona, tomate, granadilla y tuna mostraron 7.15, 5.23, 4.14, 4.13, 3.25 y 3.72 W/cm² de DP_{max}. en 0.54, 0.42, 0.75, 0.29, 0.45 y 0.56 A/cm² de DC. Finalmente se logró generar bioelectricidad exitosamente, dando una solución a las empresas importadoras e exportadoras de este tipo de frutas-vegetales para su propio beneficio.

Palabras claves: celdas de combustible microbiana, bioelectricidad, desechos organicas y energia electrica.

Abstract- Microbial fuel cells (MFC) is a technology that generates electrical energy using organic matter as fuel, becoming a new way of generating electricity that is friendly to the environment. In this research work, MFCs were used with lead and copper electrodes, and as fuel the wastes from Aguaymanto, Camu-camu, Cocona, Granadilla, Tomato and Tuna. The MFCs were monitored

for 22 days the voltage, current and pH parameters; as well as current density (CD) and power density (PD) values. The MFC with cocona substrate generated greater voltage during the entire monitoring period, from 0.52 to 0.36 V. While the camu-camu generated a greater current of 6.1 to 5.6 mA, from the first to the last day. All cells show slightly acidic pH, in the same way that volume losses were also observed, being the MFC with granadilla the one that showed greater loss. MFCs with substrates of camu-camu, aguaymanto, cocona, tomato, granadilla and prickly pear showed 7.15, 5.23, 4.14, 4.13, 3.25 and 3.72 W/cm² of DP_{max}. in 0.54, 0.42, 0.75, 0.29, 0.45 and 0.56 A/cm² of DC. Finally, it was possible to generate bioelectricity successfully, giving a solution to the importing and exporting companies of this type of fruit-vegetable for their own benefit.

Keywords: microbial fuel cells, bioelectricity, organic waste and electrical energy.

I. INTRODUCCIÓN

La producción de electricidad a partir de celdas de combustible microbiana (CCM) consiste en la transformación de energía química en energía eléctrica, debido a la oxidación de los sustratos químicos que contengan microorganismos electrogénicos [1,2]. Una CCM consta de dos electrodos (ánodo y cátodo) y casi siempre una membrana de intercambio protónico (MIP), el proceso de oxidación tiene lugar en el ánodo produciendo electrones los cuales se conducen por un conductor externo hacia el cátodo donde ocurre la reducción, dando así a las reacciones de oxidación/reducción produciendo la corriente eléctrica [3,4]. Muchos de los microorganismos electrogénicos se encuentran presentes en aguas residuales y

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.17>
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

frutas en estado de descomposición [5,6]. Debido a esto los residuos de frutas y aguas residuales se consideran como fuentes de energía en las CCMs en la actualidad [7]. Los electrodos son esenciales para la oxidación/reducción en esta tecnología, debido a esto diversos grupos de investigación se han dedicado a la búsqueda de materiales para mejorar la generación de voltaje, entre los materiales más usado se encuentra el grafito [8], carbón activado [9], papel de carbón [10], oro [11], nanotubos de carbono [12], etc; los cuales hace que las CCM aumenten el costo de fabricación. Actualmente el desarrollo de materiales para electrodos de bajo costo y alto rendimiento a comenzado a generar interés, por ejemplo, usando electrodos de zinc (Zn) [13], cobre (Cu) [14], acero [15] y aluminio (Al) [16]; los cuales se encuentran a bajo costo en los países ricos en estos materiales como es el Perú [17].

La producción agrícola del Perú viene creciendo desde los últimos años debido al interés de otros países en el consumo de estos productos [18], por ejemplo, Blare y et al., investigaron el crecimiento del consumo del camu-camu; concluyendo que esta fruta originaria de la selva peruana está siendo exportada, sembrada y cosechada en granjas en Japón debido a las propiedades medicinales que tiene [19]. Mientras que, Rojas et al. investigo al aguaymanto debido al alto contenido en antioxidantes que esta fruta, así como la exportación que este fruto tiene en el mercado japonés en el cual es convertido en snacks saludables a un precio competitivo [20]. Por otro lado, la pulpa de tuna ya es exportada a Estados Unidos, Francia y Alemania cuya demanda sigue creciendo debido a que contiene altos porcentajes de calcio, antioxidantes y vitaminas [21].

Actualmente el uso de biomasa como sustrato en celdas de combustible microbiana viene siendo intensamente investigados debido a las aplicaciones para generar electricidad a partir de un subproducto agrícola o industrial. Miran et al. trabajo con residuos de cascara de naranja como combustible en una CCM sin mediador con electrodos de grafito recubierto con platinumium y fieltro de grafito como cátodo y ánodo respectivamente, logrando generar un voltaje máximo de 0.59 ± 0.02 V con una resistencia externa de 500Ω a un pH de 6.45, responsabilizando del voltaje a los microorganismos fermentativos y exoelectrógenos como los causantes de la degradación del sustrato; logrando generar energía de un subproducto agrícola [22]. Mientras que Moqsud et al., utilizo residuos de cocina (RC) y bambú (RB) en CCMs como sustratos y fieltros de carbón como electrodos, mostrando valores picos de voltaje entre el día 20 al 25 de 620 y 540 mV para los RC y RB respectivamente, logrando así un reusó de los subproductos [23]. Por otro lado, Toding et al. genero energía utilizando electrodos de cobre recubierto con carbón y zinc recubierto con grafito como cátodo y ánodo respectivamente, y de sustrato residuos de plátano y cascara de naranja, siendo la cascara la que genero mayor voltaje (0.563 V) mientras que la CCM con sustrato de banana genero mayor corriente (0.101mA) [24].

El uso de los residuos de frutas o vegetales como sustrato (combustible) en CCMs para la producción de electricidad se ve beneficioso para las empresas si es que se lograra disminuir el costo de la fabricación de estas. Motivo por el cual en este trabajo de investigación se usaron residuos de cocona, camu-camu, aguaymanto, granadilla, tomate y tuna; como sustratos en CCMs fabricadas a bajo costo usando electrodos de cobre y plomo. Se monitoreo el voltaje, corriente y pH durante 22 días; así como también se calculó la densidad de corriente y potencia de las celdas de combustible microbiana.

II. METODOLOGÍA Y CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL

A. Recolección y preparación de muestras: Se recolecto 1 kg de residuos de las frutas de *aguaymanto*, *camu-camu*, *cocona*, *granadilla*, *tomate* y *tuna* del mercado La Hermelinda, Trujillo, Perú. Las frutas fueron lavadas repetidas veces con agua destilada para eliminar todo tipo de polvo u otro tipo de contaminante externo que pueda inferir en los resultados, finalmente se dejó secar a 22°C por 12 horas cada sustrato por separado. Mediante el uso de una extractora (Maqorito- 400 rpm) se logró obtener 100 ml de extracto de cada fruta para luego colocarlo cuidadosamente en el interior de las CCMs,

B. Construcción de las Celdas de Combustible Microbiana: Las CCMs se construyeron utilizando tubos de cloruro de polivinilo de 5 y 14 cm de diámetro y largo respectivamente, en los cuales electrodos de plomo (Pb) y cobre (Cu) de 5 y 0.02 cm de diámetro y espesor se colocaron en los extremos de los tubos. Los alambres de Cu (12 mm de diámetro) se soldaron a los electrodos. Finalmente, las CCMs se encapsularon utilizando una caja de acrílico para evitar cualquier contaminación con el exterior, como se muestra en la Fig. 1.

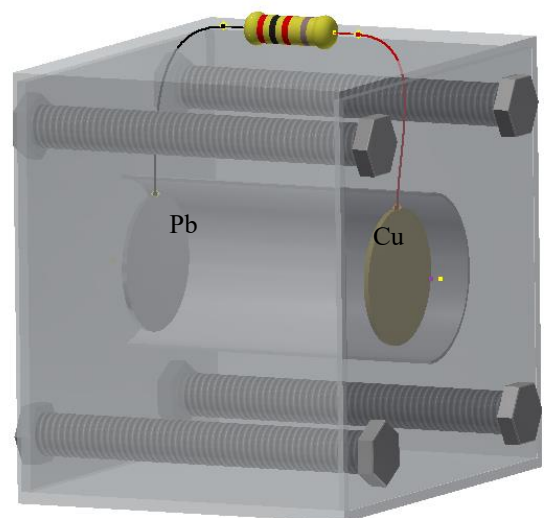


Fig. 1: Esquema del prototipo de las CCMs.

C. Caracterización de las Celdas de Combustible Microbiana: Las CCMs fueron monitoreadas por 22 días a temperatura ambiente (21°C), en los cuales se observó las variaciones de voltaje y corriente mediante un multímetro (Prasek Premium PR-85). Mientras que para las mediciones de densidad de corriente y potencia se usaron las fórmulas utilizadas por Min et al. [25] donde la densidad de potencia (DP) y la densidad de corriente (DC) se calculó usando resistencias externas ($R_{ext.}$) de 2.4, 9.9, 19.8, 29.6, 49.2, 192.2, 384, 564, 812 y 996 Ω ; en las fórmulas $DP=V_{celda}^2/(R_{ext.} \cdot A)$ y $DC=V_{celda}/(R_{ext.} \cdot A)$; donde V_{celda} es el voltaje de la CCM y el área (A) es de 78.5 cm². También se monitoreo la conductividad (Conductivity meter CD-430) y el pH (pH meter 110 series Oakton)

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Fig. 2 se muestra la generación de voltaje durante 22 días de las CCM con desechos de frutas, se puede observar que la CCM con sustrato de *granadilla* generar menor voltaje durante el periodo de monitoreo desde un voltaje de 0.48 a 0.09 desde el primer al último día. Mientras que la CCM con sustrato de *camu-camu* es el que muestra mayor voltaje el primer día con valores cercanos a 0.81 voltios, pero estos valores caen rápidamente al paso de los días, hasta llegar a 0.015 voltios en el último día; mostrando un comportamiento muy parecido a la CCM con *aguaymanto* generando 0.77 y 0.078 el primer y último día respectivamente. Por otro lado, las CCMs con los demás sustratos (*cocona*, *tomate*, *tuna*) sus voltajes no muestran variaciones bruscas se mantiene con valores cercanos a 0.5 y 0.3 voltios desde el primer al último día de monitoreo.

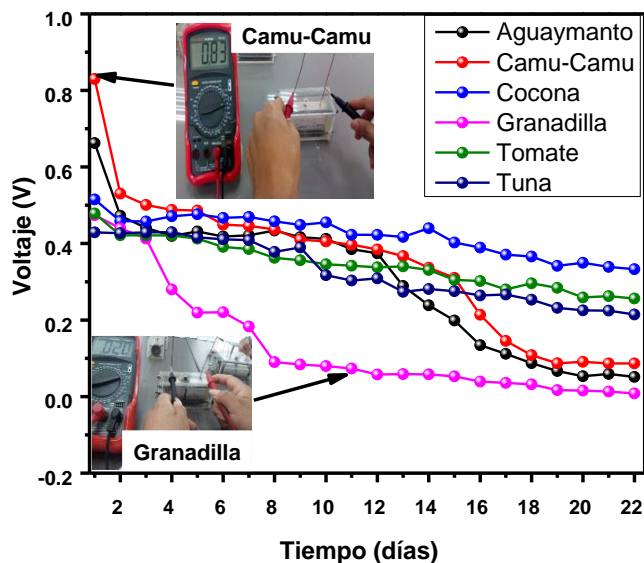


Fig. 2: Generación de voltaje durante 22 días de los desechos de frutas.

Sepúlveda et al. menciona que la *granadilla* tiene un rendimiento de jugo solo entre el 22 y 53 % sobre la fruta entera, lo que podría explicar el por qué la CCM con este tipo de sustrato genera menor cantidad de voltaje, debido a que a menor cantidad de sustrato orgánico (combustible) menor sería la generación de voltaje [26]. Mientras que la CCM con sustrato de *cocona* que mostro menor perdida de voltaje durante el monitorio puede ser debido a los altos contenidos de salicilato de metilo, hidrocarburos de cadena larga, ácidos grasos y sus ésteres metílicos y etílicos [27]; los cuales fueron reportados como los compuestos que generar voltaje en CCM [28].

En la Fig. 2 se muestra los valores de corriente generados por las CCMs con diferente sustrato, como se puede observar la CCM con sustrato de *camu-camu* genera mayor corriente desde 6.1 a 5.6 mA desde el primer al último día de monitoreo. Mientras que la *granadilla* muestra valores de corriente menores a 1.9 mA y en el último día muestra valores cercanos a cero. Las demás CCMs con sustratos de *camu-camu*, *cocona*, *tomate* y *tuna*, los valores de corriente decrecen lentamente durante los 22 días. La generación de electricidad depende directamente de la oxidación de los sustratos [29] donde la generación de electrones durante el proceso de degradación de los residuos de frutas o vegetales son capaces de adherirse a la superficie de los electrodos [30]. Debido a esto, las proteínas de azufre-hierro que se encuentran en el gran porcentaje en las metaloproteínas, como en las hidrogenasas, NADH-metaloproteínas, ferredoxinas, coenzima-Q, etc; podrían presentarse en los desechos de este tipo de frutas y vegetales [31], debido a que este tipo de proteínas (azufre-hierro) son conocidos por su rol de reacciones de oxidación-reducción del transporte electrones (e⁻) bacterianos y mitocondriales [32].

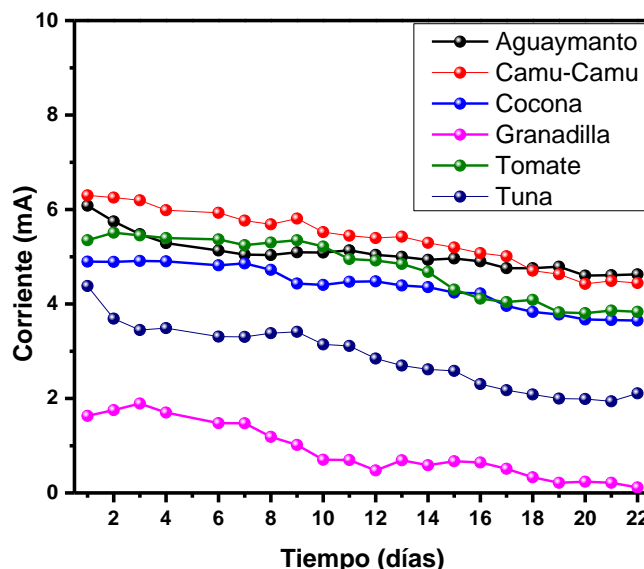


Fig. 3: Monitoreo de la generación de corriente de las CCMs.

En la Fig. 4 se muestra los valores pH de las celdas de combustible microbiana durante 22 días, en las cuales todas muestran pH ligeramente ácidos. La CCM con sustrato de granadilla muestra mayores valores de pH pero manteniéndose en el límite del nivel ligeramente ácido desde 4.7 a 5.42 desde el primer al último día de monitoreo, mientras que las demás celdas muestran valores entre 4 a 5 de pH desde el inicio hasta el fin del monitoreo. Estos resultados de pH corrobora el trabajo realizado por Mahmood et al. [33] donde utilizó como sustrato desechos de aceite de palma donde muestra que para 5 de pH muestra menor generación de voltaje y corriente, concluyendo que la poca generación puede deberse a la no adaptación de los microorganismos al ambiente de las celdas. El pH nos indica el tipo de fermentación y actividad microbiana por ende la generación de bioelectricidad, un pH ácido suprime la capacidad de generación de electricidad en una CCM [32].

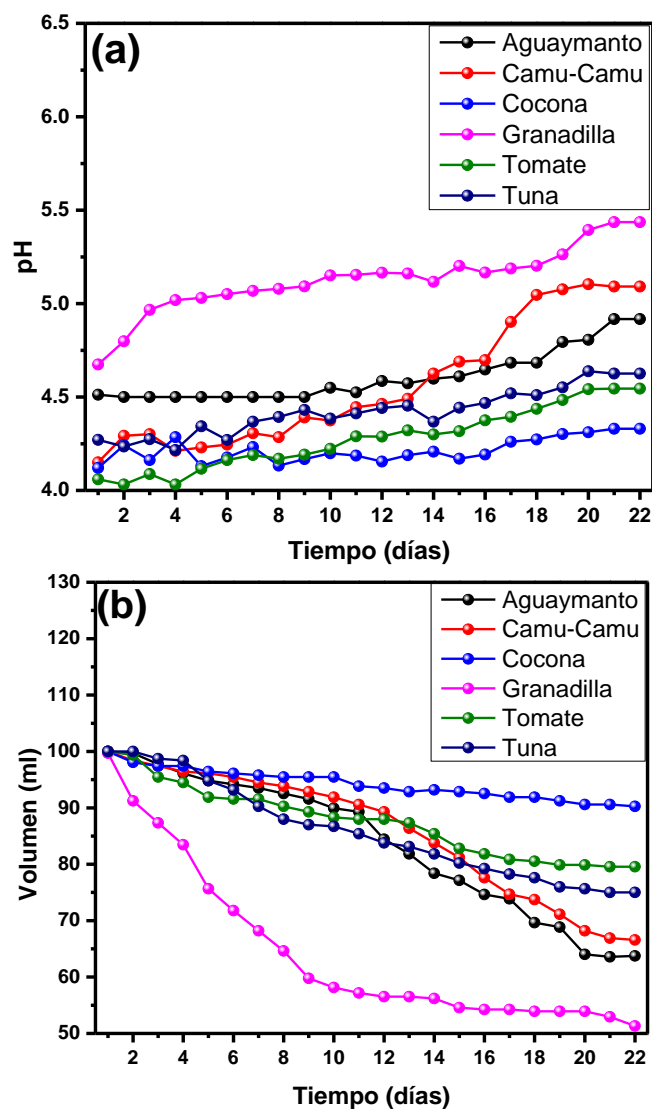


Fig. 4: Variación del (a) pH y (b) volumen durante 22 días de las CCMs con diferentes sustratos.

Los valores de volumen de las CCMs se muestran en la Fig. 4, como se puede observar la CCM con sustrato de granadilla muestra una pérdida 48.4% de su materia orgánica en durante los 22 días, lo que podría estar relacionado con la poca generación de voltaje debido a que a menor combustible (materia orgánica) menor sería la generación de voltaje. Mientras que las demás celdas muestran valores de volumen decrecientes, con pérdidas de 10, 21, 25, 33 y 36 % para la cocona, tomate, tuna, camu-camu y aguaymanto respectivamente, en el último día de monitoreo. En las Fig. 5 se muestran las densidades de potencias dependientes de las densidades de corriente. La DP de máxima lo mostro la CCM con sustrato de camu-camu que fue 7.15 W/cm², correspondiente a una DC de 0.54 A/cm². En comparación, la DP máxima de la celda con granadilla que fue 3.25 W/cm² para una DC de 0.45 A/cm². Por otro lado, las densidades de potencia de las celdas de aguaymanto, cocona, tomate y tuna mostraron 5.23, 4.14, 4.13 y 3.72 W/cm² así como 0.42, 0.75, 0.29 y 0.56 A/cm² de densidades de corriente. Estos resultados muestran cierta mejora a los realizados por Miran et al. [22] en el cual utilizó residuos de mango logrando obtener 358 mW/cm² de DP para una DC de 847 A/cm². Jia et al. informan que las CCMs utilizando sustratos de desechos alimentos dependen de las comunidades microbianas dominantes en la biopelícula anódica las cuales son las Enterococcus, Paludibacter y Pseudomas; causantes de la cantidad de bioelectricidad que las celdas puedan generar [34].

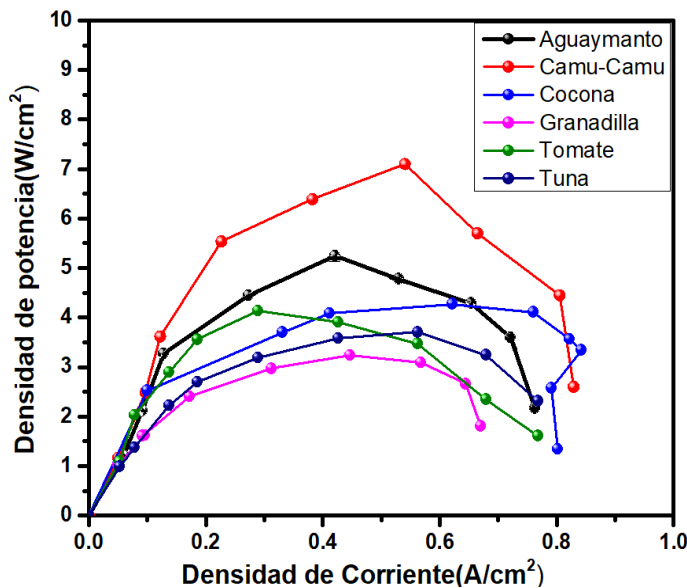


Fig. 5: Densidad de potencia y densidad de corrientes de las CCMs con diferentes sustratos.

Así como Rikame et al. precisa en su investigación de CCM de doble cámara que las Geobacter exoelectrogénico y Bacteroides fermentativos son las especies dominantes que

ayudan en la conversión de desechos de alimentos orgánicos en bioelectricidad [35]. Como se puede ver, no siempre se puede comparar las densidades de potencia máximas entre varios sistemas de CCM, debido a que poder varias debido a las condiciones de la fabricación de las celdas, por ejemplo, tipo de celda, tipo de sustrato, tiempo de fermentación del sustrato, distancia entre electrodos, etc.

IV. CONCLUSIONES

Se logró generar bioelectricidad usando residuos de frutas y vegetales descompuestos mediante CCMs de bajo costo, usando electrodos de Pb y Cu, donde la generación dependía del tipo de sustrato utilizado. La CCM con sustrato de *camu-camu* el primer día genero mayor voltaje (0.83 V), mientras que la celda con *cocona* mostro mayor voltaje durante todo el monitoreo sin perdidas abruptas de voltaje. La CCM con sustrato de *granadilla* mostro ser la menos idónea para la usarla como combustible por los pobres valores de generación mostrado.

El sustrato de *camu-camu* mostro una DP máxima de 7.15 W/cm² en 0.54 A/cm² de DC. Todas las celdas con diferentes sustratos llegaron límite del nivel ligeramente ácido de pH, así como también se observó la pérdida del volumen inicial debido a la degradación de los sustratos. Con esta investigación se da una solución a los agricultores y empresas exportadoras e importadoras, para la utilización de sus productos no aptos para la venta, en un bien útil para la empresa generando bioelectricidad para el uso de las mismas personas o empresas.

AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen la ayuda brindada por el Laboratorio de Investigación Multidisciplinario de la UPAO.

REFERENCIAS

- [1] Long, X., Cao, X., Song, H., Nishimura, O., & Li, X. (2019). Characterization of electricity generation and microbial community structure over long-term operation of a microbial fuel cell. *Bioresource technology*, 285, 121395.
- [2] Basri, S., & Kamarudin, S. K. (2019). Microbial Fuel Cell (MFC) Variants. *Waste to Sustainable Energy: MFCs—Prospects through Prognosis*.
- [3] Hoareau, M., Erable, B., & Bergel, A. (2019). Microbial electrochemical snorkels (MESs): A budding technology for multiple applications. A mini review. *Electrochemistry Communications*.
- [4] Breheny, M., Bowman, K., Farahmand, N., Gomaa, O., Keshavarz, T., & Kyazze, G. (2019). Biocatalytic electrode improvement strategies in microbial fuel cell systems. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 94(7), 2081-2091.
- [5] Kumar, R., Singh, L., Zularisam, A. W., & Hai, F. I. (2018). Microbial fuel cell is emerging as a versatile technology: a review on its possible applications, challenges and strategies to improve the performances. *International Journal of Energy Research*, 42(2), 369-394.

- [6] Yates, M. D., Ma, L., Sack, J., Golden, J. P., Strycharz-Glaven, S. M., Yates, S. R., & Tender, L. M. (2017). Microbial electrochemical energy storage and recovery in a combined electrotrophic and electrogenic biofilm. *Environmental Science & Technology Letters*, 4(9), 374-379.
- [7] Zhdanova, G. O., Kononova, E. Y., Tolstoy, M. Y., Kashevsky, A. V., Barbora, L., Goswami, P., ... & Stom, D. I. (2019, June). Comparative Analysis of Electrogenic Activity of Complex Microbial Preparations in Microbial Fuel Cells. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 272, No. 3, p. 032161). IOP Publishing.
- [8] Liew, K. B., Leong, J. X., Daud, W. R. W., Ahmad, A., Hwang, J. J., & Wu, W. (2019). Incorporation of silver graphene oxide and graphene oxide nanoparticles in sulfonated polyether ether ketone membrane for power generation in microbial fuel cell. *Journal of Power Sources*, 227490.
- [9] An, J., Li, N., Wan, L., Zhou, L., Du, Q., Li, T., & Wang, X. (2017). Electric field induced salt precipitation into activated carbon air-cathode causes power decay in microbial fuel cells. *Water research*, 123, 369-377.
- [10] Jia, X., He, Z., Zhang, X., & Tian, X. (2016). Carbon paper electrode modified with TiO₂ nanowires enhancement bioelectricity generation in microbial fuel cell. *Synthetic Metals*, 215, 170-175.
- [11] Wu, X., Xiong, X., Owens, G., Brunetti, G., Zhou, J., Yong, X., ... & Jia, H. (2018). Anode modification by biogenic gold nanoparticles for the improved performance of microbial fuel cells and microbial community shift. *Bioresource technology*, 270, 11-19.
- [12] Delord, B., Neri, W., Bertaux, K., Derre, A., Ly, I., Mano, N., & Poulin, P. (2017). Carbon nanotube fiber mats for microbial fuel cell electrodes. *Bioresource technology*, 243, 1227-1231.
- [13] Liang, H. W., Wu, Z. Y., Chen, L. F., Li, C., & Yu, S. H. (2015). Bacterial cellulose derived nitrogen-doped carbon nanofiber aerogel: An efficient metal-free oxygen reduction electrocatalyst for zinc-air battery. *Nano Energy*, 11, 366-376.
- [14] Ghasemi, M., Daud, W. R. W., Rahimnejad, M., Rezayi, M., Fatemi, A., Jafari, Y., ... & Manzour, A. (2013). Copper-phthalocyanine and nickel nanoparticles as novel cathode catalysts in microbial fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(22), 9533-9540.
- [15] Erable, B., Byrne, N., Etcheverry, L., Achouak, W., & Bergel, A. (2017). Single medium microbial fuel cell: stainless steel and graphite electrode materials select bacterial communities resulting in opposite electrocatalytic activities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(41), 26059-26067.
- [16] Bose, D., Bose, A., Kundani, D., Gupta, D., & Jain, H. (2018). Comparative Analysis of Carbon Cloth and Aluminum Electrodes Using Agar Salt-Bridge Based Microbial Fuel Cell for Bioelectricity Generation from Effluent Derived Wastewater. *Nature Environment and Pollution Technology*, 17(4), 1201-1205.
- [17] Molina, O., Olivari, J., & Pietrobelli, C. (2016). *Global value chains in the peruvian mining sector*. Inter-American Development Bank.
- [18] Salazar, L., Maffioli, A., Aramburu, J., & Agurto Adrianzen, M. (2016). *Estimating the impacts of a fruit fly eradication program in Peru: A geographical regression discontinuity approach* (No. IDB-WP-677). IDB Working Paper Series.
- [19] Blare, T., & Donovan, J. (2018). Building value chains for indigenous fruits: lessons from camu-camu in Peru. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 33(1), 6-18.
- [20] Rojas, C., Kare, L., Sosa, I., & Jamir, J. (2018). Oportunidades para la exportación de aguaymanto deshidratado orgánico a Japón en el año 2018.
- [21] Repo de Carrasco, R., & Encina Zelada, C. R. (2008). Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(2), 108-124.
- [22] Miran, W., Nawaz, M., Jang, J., & Lee, D. S. (2016). Conversion of orange peel waste biomass to bioelectricity using a mediator-less microbial fuel cell. *Science of the Total Environment*, 547, 197-205.

- [23] Moqsud, M. A., Omine, K., Yasufuku, N., Bushra, Q. S., Hyodo, M., & Nakata, Y. (2014). Bioelectricity from kitchen and bamboo waste in a microbial fuel cell. *Waste Management & Research*, 32(2), 124-130.
- [24] Toding, O. S. L., Virginia, C., & Suhartini, S. (2018, December). Conversion banana and orange peel waste into electricity using microbial fuel cell. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 209, No. 1, p. 012049). IOP Publishing.
- [25] Min, B., Román, Ó. B., & Angelidaki, I. (2008). Importance of temperature and anodic medium composition on microbial fuel cell (MFC) performance. *Biotechnology letters*, 30(7), 1213-1218.
- [26] Sepúlveda, E., Sáenz, C., Navarrete, A., & Rustom, A. (1996). Parámetros de color del jugo de granadilla (*Passiflora edulis* Sims): influencia de la época de cosecha de la fruta/Color parameters of passion fruit juice (*Passiflora edulis* Sims): influence of harvest season. *Food science and technology international*, 2(1), 29-33.
- [27] Cardona, J. E., Cuca, L. E., & Barrera, J. A. (2011). Determinación de algunos metabolitos secundarios en tres morfotipos de cocona (*solanum sessiliflorum* dunal). *Revista Colombiana de Química*, 40(2), 185-200.
- [28] Feng, Y., Yang, Q., Wang, X., Liu, Y., Lee, H., & Ren, N. (2011). Treatment of biodiesel production wastes with simultaneous electricity generation using a single-chamber microbial fuel cell. *Bioresource technology*, 102(1), 411-415.
- [29] Senthilkumar, K., & Kumar, M. N. (2020). Generation of bioenergy from industrial waste using microbial fuel cell technology for the sustainable future. In *Refining Biomass Residues for Sustainable Energy and Bioproducts* (pp. 183-193). Academic Press.
- [30] 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.
- [31] Song, Z., Ma, R., Zhang, B., Guo, S., Yu, M., & Korir, N. K. (2016). Differential expression of iron-sulfur cluster biosynthesis genes during peach fruit development and ripening, and their response to iron compound spraying. *Scientia horticulturae*, 207, 73-81.
- [32] Goud, R. K., Babu, P. S., & Mohan, S. V. (2011). Canteen based composite food waste as potential anodic fuel for bioelectricity generation in single chambered microbial fuel cell (MFC): bio-electrochemical evaluation under increasing substrate loading condition. *International journal of hydrogen energy*, 36(10), 6210-6218.
- [33] Mahmood, N. A. N., Ghazali, N. F., Ibrahim, K. A., & Ali, M. A. (2017). Anodic pH evaluation on performance of power generation from palm oil empty fruit bunch (efb) in dual chambered microbial fuel cell (mfc). *Chemical Engineering Transactions*, 56, 1795-1800.
- [34] Jia, J., Tang, Y., Liu, B., Wu, D., Ren, N., & Xing, D. (2013). Electricity generation from food wastes and microbial community structure in microbial fuel cells. *Bioresource technology*, 144, 94-99.
- [35] Rikame, S. S., Mungray, A. A., & Mungray, A. K. (2012). Electricity generation from acidogenic food waste leachate using dual chamber mediator less microbial fuel cell. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 75, 131-137.