

Tomato waste with potential use as an alternative in the generation of bioelectricity

Rojas-Flores Segundo¹, Nancy Soto-Deza¹, De La Cruz Noriega Magaly¹, Mayra De La Cruz-Cerquin¹, Luis Cabanillas-Chiriños², Nicole Terrones Rodriguez¹

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— *Agricultural waste has increased due to the great demand for food that currently exists. These wastes are generated during the entire harvest and sale process; and by not having an adequate segregation process, these are thrown in inappropriate places, generating pollution. On the other hand, the search for environmentally sustainable energy is a big problem for society; and the lack of energy in places far from cities increases the search; Which is why this research has as its main objective the generation of clean and environmentally sustainable energy through microbial fuel cells using tomato waste as fuel. The tomato waste generated maximum values of current and electrical potential of 6.539 ± 0.204 mA and 0.961 ± 0.036 V, on the ninth and tenth days respectively, operating at 6.72 ± 0.11 pH with an electrical conductivity of 125.014 ± 3.512 mS/cm and an ORP of 253.197 ± 15.481 mV. Thus, the COD was also reduced by $76.15 \pm 4.57\%$, while the internal resistance found was 24.875 ± 2.714 Ω ; and whose power density was 331.297 mW/cm² for a current density of 5.168 A/cm². This research provides a novel way to generate electrical energy from agricultural waste, which in the near future can be scalable and applicable to more real environments.*

Keywords— *waste, tomato, microbial fuel cells, anergy, sustainable.*

Residuos de Tomate con potencial uso como alternativa en la generación de bioelectricidad

Tomato waste with potential use as an alternative in the generation of bioelectricity

Rojas-Flores Segundo¹, Nancy Soto-Deza¹, De La Cruz Noriega Magaly¹, Mayra De La Cruz-Cerquin¹, Luis Cabanillas-Chiriños², Nicole Terrones Rodriguez¹

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 residuos agrícolas han aumentado debido a la gran demanda de alimentos que existen actualmente, estos residuos son generados durante todo el proceso de cosecha y venta; y al no tener un adecuado proceso de segregación, estos son arrojados en lugar inadecuados generando contaminación. Por otro lado, la búsqueda de energía sostenible con el medio ambiente, es un gran problema para la sociedad; y la falta de energía en lugares alejados de las ciudades acrecienta la búsqueda; motivo por el cual esta investigación tiene como objetivo principal la generación de energía limpia y sostenible con el medio ambiente a través de celdas de combustible microbiana usando como combustible desechos de tomate. Los desechos de tomate generaron valores máximos de corriente y potencial eléctrico de 6.539 ± 0.204 mA y 0.961 ± 0.036 V, en el noveno y décimo día respectivamente, operando a 6.72 ± 0.11 de pH con una conductividad eléctrica de 125.014 ± 3.512 mS/cm y un ORP de 253.197 ± 15.481 mV. Así también se logró reducir el DQO en un 76.15 ± 4.57 %, mientras que la resistencia interna encontrada fue de 24.875 ± 2.714 Ω ; y cuya densidad de potencia fue de 331.297 mW/cm² para una densidad de corriente de 5.168 A/cm². Esta investigación da una forma novedosa de generar energía eléctrica a partir de desechos agrícolas, que en un futuro cercano pueda ser escalable y aplicable a entornos más reales.

Palabras claves—desechos, tomate, celdas de combustible microbiana, anergia, sostenible.

Abstract—Agricultural waste has increased due to the great demand for food that currently exists. These wastes are generated during the entire harvest and sale process; and by not having an adequate segregation process, these are thrown in inappropriate places, generating pollution. On the other hand, the search for environmentally sustainable energy is a big problem for society; and the lack of energy in places far from cities increases the search; Which is why this research has as its main objective the generation of clean and environmentally sustainable energy through microbial fuel cells using tomato waste as fuel. The tomato waste generated maximum values of current and electrical potential of 6.539 ± 0.204 mA and 0.961 ± 0.036 V, on the ninth and tenth days respectively, operating at 6.72 ± 0.11 pH with an electrical conductivity of 125.014 ± 3.512 mS/cm and an ORP of

253.197 ± 15.481 mV. Thus, the COD was also reduced by 76.15 ± 4.57 %, while the internal resistance found was 24.875 ± 2.714 Ω ; and whose power density was 331.297 mW/cm² for a current density of 5.168 A/cm². This research provides a novel way to generate electrical energy from agricultural waste, which in the near future can be scalable and applicable to more real environments.

Keywords—waste, tomato, microbial fuel cells, anergy, sustainable.

I. Introducción

El aumento de la población humana ha generado grandes retos para lograr suministrar energía eléctrica a la sociedad, siendo las personas que viven más alejados de las grandes ciudades las más afectadas [1,2]. Las Naciones Unidas han reportado que en el 2010 el 80% de la población mundial contaba con energía eléctrica, esta cifra aumento al 91 % para el 2020, pero estima que para el 2030 el 92 % de la población contara energía eléctrica, dejando a 670 millones de personas sin electricidad [3,4]. La necesidad de buscar nuevas formas de generar energía eléctrica de manera no convencional y amigable con el medio ambiente es una necesidad urgente para los gobiernos [5]. Por otro lado, este incremento de la humanidad ha generado una gran demanda de alimentos, lo que ha generado grandes inversiones de empresarios en el área de la agricultura [6,7], pero esta gran producción de alimento ha conllevado a la generación de grandes cantidades de desechos de frutas, verduras y tubérculos, generando aproximadamente 4 billones de toneladas de desechos cada año [8]. Esta problemática en agricultura ha fomentado grupos de investigación vean una segunda utilidad a los desechos, por ejemplo, fabricación de cosméticos [9], de materiales para la construcción [10], uso como catalizadores [11], como combustible para la generación de energía, entre otros [12] [13].

En este sentido, las celdas de combustible microbiana (CCM) se han propuesto hace unas décadas como tecnología prometedora con prospectiva en la mejora del medio ambiente [14]. Las CCMs utiliza los compuestos orgánicos que se

introducen dentro de sus cámaras (anódica y catódica), estos compuestos contienen microbios capaces de generar electrones los cuales son captados por el electrodo anódico y se transfieren al electrodo catódico, generando de esta forma la electricidad [15,16]. Los desechos han sido utilizados como combustible en CCMs, por ejemplo, Ahmad A. (2023) logro generar picos de voltaje y densidad de potencia de 154 mV y 1.450 mW/m² en 15 días de operación mostrando una resistencia de 21.30 Ω usando como combustible desechos de vegetales [17]. Los desechos de lechuga también han sido utilizados como combustible en CCMs de una sola cámara, logrando generar un potencial eléctrico y corriente eléctrica de 0.959 ± 0.026 V y 5.697 ± 0.065 mA mostrando una resistencia interna de 87.594 ± 6.226 Ω cuya densidad de potencia fue de 378.145 ± 5.417 mW/cm² [18]. Thusyanthini et al. (2023) uso desechos de patata, manzana y mango como sustratos en sus CCMs de una sola cámara logrando generar valores máximos de potencial eléctrico de 315, 307 y 299 mV, mencionado que los desechos con alto contenido en sacarosa tienen un gran potencial para ser usados como combustibles debido a que los microorganismos utilizan ese compuesto para su metabolismo [19]. Otro aspecto importante es la selección del material para el electrodo, muchas investigaciones utilizan el carbón [20], fieltro de carbón [21] o grafito [22], pero recientemente se ha encontrado que el uso de materiales metálicos en forma de nanopartículas o en placas aumentan la conductividad de electrones [23].

En la costa del Perú, se ha comenzado a impulsar fuertemente la agroindustria siendo los tomates uno de los frutos más cosechados y que en el 2019 se ha reportado una producción de 201 951 toneladas cuyas siembras se produjeron en 4832 hectáreas, pero este tipo de fruta tiende a malograrse muy rápido si no tiene una adecuada conservación, produciéndose grandes cantidades de desechos en todo su proceso [24,25]. En la ciudad de Trujillo, Perú; se ha observado que existen diferentes tipos de tierras de sembrío; observándose en el sector de Huanchaco la presencia de terrenos de sembrío de tomate con abundante presencia de desechos de tomate.

Este proyecto de investigación tiene como principal objetivo observar el potencial que tiene los desechos tomate para generación de electricidad usándolos como combustibles en celdas de combustible microbiana de una sola cámara, durante 21 días. Para lo cual se medirá los valores de voltaje, conductividad eléctrica, pH, sólidos disueltos, corriente eléctrica, potencial de oxidación-reducción, densidad de potencia, densidad de corriente y la resistencia interna de las CCMs. Esta investigación contribuirá con la creación de energía eléctrica de una forma amigable y sostenible con el medio ambiente.

II. Materiales y Métodos

A. Fabricación de las celdas de combustible de una sola cámara.

Se utilizo polietileno en forma de prisma rectangular, en el cual se realizaron un orificio circular en una de las caras para colocar el electrodo catódico (Zinc) de 201 cm² de área y se colocó el electrodo anódico de carbón en el centro del recipiente cuya área fue de 200 cm², adherida al electrodo catódico se colocó la membrana de intercambio protónico/Nafion 117 (Wilmington, DE, USA) y mediante una resistencia externa de 100 Ω se realizó el circuito de la CCM, se realizaron tres CCMs en total y la esquematización del diseño se puede observar en la Figura 1.

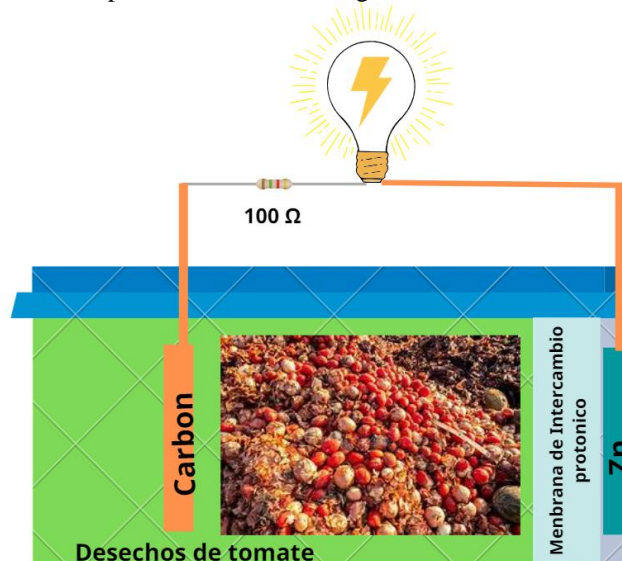


Figura 1. Esquematización del diseño de la celda de combustible microbiana.

B. Recolección de las muestras usadas como sustrato

El sustrato utilizado se recolectó de los desechos de los sembríos ubicados en el sector de Huanchaco, Trujillo, La Libertad, Perú (ver Figura 2); cuyas muestras fueron recolectas del suelo y llevadas al laboratorio de la Universidad Cesar Vallejo, recolectándose 2 kg las cuales fueron lavadas varias veces hasta eliminar todo tipo de impureza adquirida del ambiente. Luego se dejó secar a 28 °C por 24 horas, para que finalmente con un extractor (extractor, Labtron, LDO-B10-USA) obtener una solución líquida de 800 ml, esta solución se utilizó como sustrato finalmente utilizado en las CCMs.



Figura 2. Localización de la recolección de muestras.

c. Caracterización de los parámetros electroquímicos de las CCMS

Los valores de voltaje y corriente eléctrica fueron monitoreados por 21 días, mediante el uso de un multímetro digital (Truper MUT—830 Digital Multimeter) y una resistencia externa de 100Ω ; los valores de COD (demanda química de oxígeno) se midió mediante el método colorimétrico de reflujo cerrado según la norma NTP 360.502:2016, mientras que los valores de conductividad eléctrica, pH, sólidos disueltos y potencial de oxidación-reducción (ORP) fueron medidos mediante un multiparámetro (HI98194 Multiparameter Meter). Mientras que los valores de resistencia interna de las MFC se realizaron mediante un sensor de energía (Vernier- $\pm 30 \text{ V}$ and $\pm 1000 \text{ mA}$). Los valores de PD (densidad de potencia) y CD (densidad de corriente) se realizaron usando el método de Rojas et al. (2023) usando las resistencias externas de $0.3 (\pm 0.1)$, $3 (\pm 0.6)$, $10 (\pm 1.3)$, $50 (\pm 8.7)$, $100 (\pm 9.3)$, $220 (\pm 13)$, $460 (\pm 23.1)$, $531 (\pm 26.8)$, $700 (\pm 40.5)$, and $1000 (\pm 50.6) \Omega$ [26].

III. RESULTADOS Y ANALISIS

Los valores del potencial eléctrico son mostrados en la Figura 3 (a), observando un aumento desde el 1st día ($0.082 \pm 0.005 \text{ V}$) hasta el 10th día ($0.961 \pm 0.036 \text{ V}$) para luego mostrar una disminución hasta el último día ($0.617 \pm 0.241 \text{ V}$). El aumento del potencial eléctrico mostrado en los primeros diez días se debe a las reacciones de oxidación-reducción que ocurren en las cámaras anódica y catódicas [27], debido al alto contenido orgánico presente en los primeros días [28]; mientras que la disminución de los valores en los últimos días es debido a que la materia orgánica que contenida el sustrato inicialmente disminuyo, y al no ser recarga con nueva materia orgánica el potencial eléctrico no recupero sus valores iniciales [29,30]. Los valores de la corriente eléctrica, mostraron un aumento también desde el 1st día ($0.679 \pm 0.091 \text{ mA}$) hasta su valor máximo en 9th día ($6.539 \pm 0.204 \text{ mA}$) para luego descender hasta el último día ($3.571 \pm 1.051 \text{ mA}$).

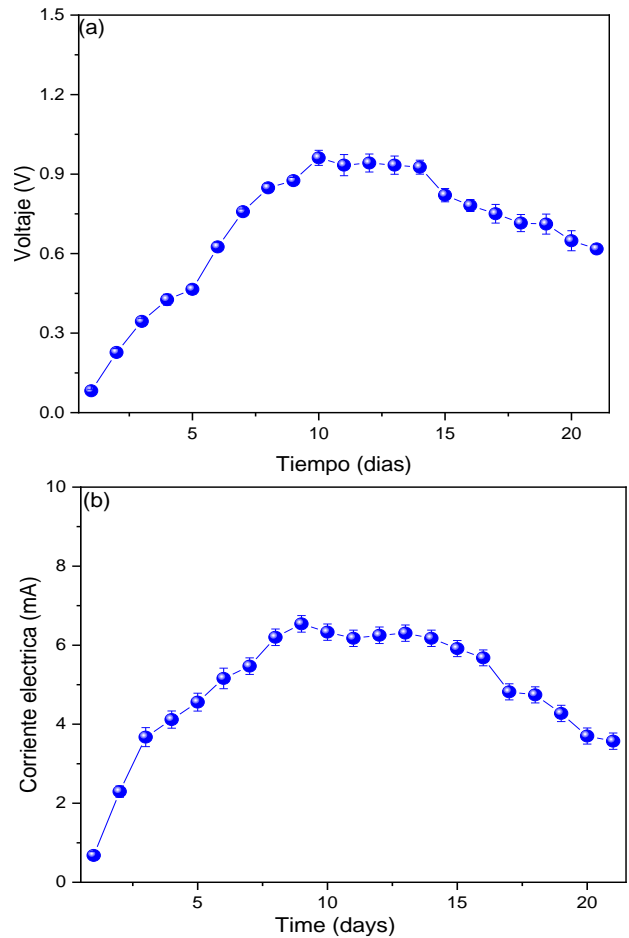
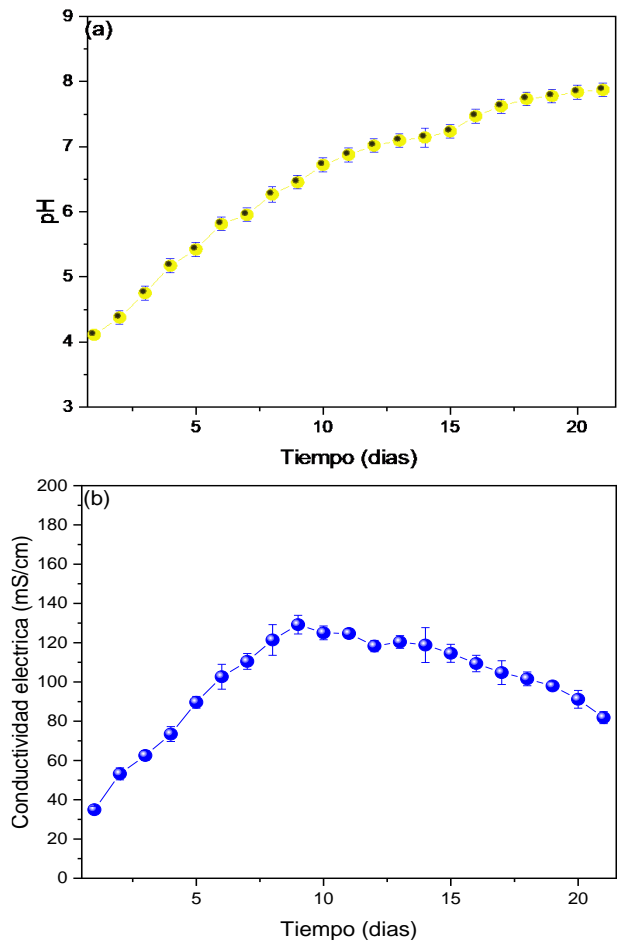


Figura 3. Valores de monitoreo de (a) voltaje y (b) corriente eléctrica de celdas de combustible microbianas.

La generación de electrones para la generación de corriente eléctrica depende básicamente de la actividad metabólica de los microorganismos [31], en los primeros días estos microbios tienen alta concentración de nutrientes como el carbono [32], pero a medida que el tiempo transcurre estos nutrientes se van agotando por lo tanto los microbios presentes se van deteriorando y perdiendo su capacidad para generar electrones [33,34]. Yahoob et al. (2022) usó desechos de rambután, langsat y mango de Malaysia generando 0.026 mA en la CCM que contenía el de mango, atribuyendo la disminución de los valores eléctricos a la disminución de carbono en el sustrato [35]. Residuos de arándanos han sido utilizados como sustratos en CCMs, generando valores máximos de $1.130 \pm 0.018 \text{ mA}$; atribuyendo el rápido aumento de los valores eléctricos a la alta presencia de oxígeno disuelto y la buena formación de la biopelícula anódica encargada de captar a los electrones generados en el medio [36].

Los valores de pH son mostrados en la Figura 4 (a), observándose una variación desde el nivel ligeramente ácido hasta ligeramente alcalino, siendo su pH óptimo de operación en el décimo día de 6.72 ± 0.11 . esta variación el pH se debe a

que durante la descomposición del material orgánico se producen compuestos ácidos e intermedios durante el metabolismo de las bacterias presente en el sustrato [37]. La estandarización de los valores de pH es de vital importancia para la minimizar las pérdidas de energía al generar las condiciones idóneas para que los microbios presentes tengan un ambiente favorable y puedan generar sus electrones [38,39]. Los valores de la conductividad eléctrica aumentan desde el 1st día (34.918 ± 1.731 mS/cm) hasta el 10th día (125.014 ± 3.512 mS/cm) para luego disminuir ligeramente hasta el día 21th (81.833 ± 13.055 mS/cm). En los estados iniciales los valores de la conductividad eléctrica aumentan debido a la fermentación de los compuestos [40], producida por la descomposición de la materia orgánica con su posterior liberación de iones en medio ocasionando una aumento en la conductividad referente al valor inicial [41], pero a medida que el sustrato se queda sin compuestos y conforme se va sedimentando en el medio este opone mayor resistencia al paso de los electrones, disminuyendo así los valores de la conductividad eléctrica [42,43]. El DQO disminuyó en un 76.15 ± 4.57 % en el último día de monitoreo (152.26 ± 14.56 mg/L) en comparación con su valor inicial (524.36 ± 5.16 mg/L). El consumo de la materia orgánica en el proceso de oxidación hace que disminuya la demanda de oxígeno presente en los desechos utilizados como sustratos [44]. Los valores de DQO, indica la pérdida de nutrientes que los microbios utilizan para su metabolismo generador de electrones, pero un sistema de refluo para enriquecer el sustrato constantemente mejorara la eficacia de las celdas de combustible microbiano [45]. Los valores de ORP aumentaron desde el primer día (116.808 ± 1.200 mV) hasta mostrar su valor máximo el noveno día (253.197 ± 15.481 mV) para luego decaer hasta el veintiuno día (103.154 ± 24.176 mV), los altos valores de ORP confirma la existencia de un ambiente más oxidante en las celdas de combustible microbiana[46], lo que facilita que algunas especies bacterianas electroactivas prosperen en estas condiciones, lo que resulta en una mayor producción de electrones en el ánodo y favorece la generación de energía en las CCMs [47]. Zhao et al. (2023) informaron un valor máximo de alrededor de 325 mV para el ORP de aguas residuales en las CCMs de sedimento [48].



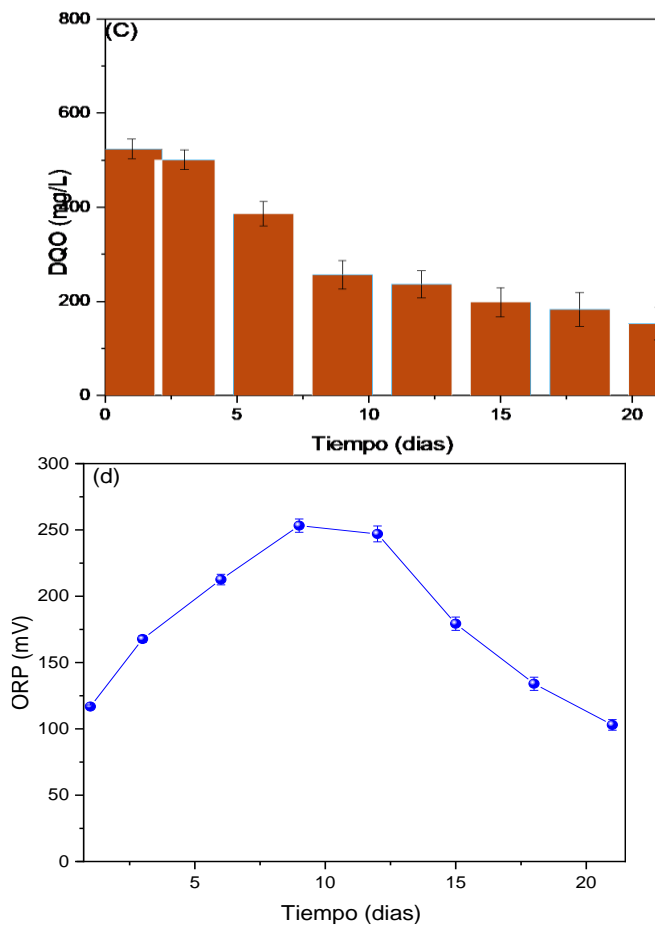


Figura 3. Monitoreo de los valores de (a) pH, (b) conductividad, (c) DQO y (d) ORP de celdas de combustible microbianas inversas.

La densidad de potencia máxima encontrada fue de 331.297 mW/cm^2 en una densidad de corriente de 5.168 A/cm^2 con un potencial máximo de $830.081 \pm 16.784 \text{ mV}$. Los valores encontrados de densidad de potencia son mayores a los encontrados en otras investigaciones, lo que se debería a las propiedades del electrodo metálico, a los alambres de cobre utilizados para el circuito externo debido a que facilitan el traspaso de electrones y a una mejor adhesión de los electrones adheridos a los electrodos por los pili de las bacterias que forman la biopelícula [49,50]. Radeef A. y Ismail Z. (2021) utilizaron como sustrato desechos de la industria procesadora de papas fritas en sus MFC observándose una densidad de potencia máxima 434.8 mW/m^2 en una densidad de corriente de 1165.6 mA/m , mencionando que la distancia entre los electrodos interfiere en los resultados de la densidad de potencia, así como el tamaño y material de cada electrodo usado en las CCMs [51]. La ley de ohm ($V=RI$) es usada para encontrar la resistencia interna de la CCM, donde los valores del potencial eléctrico se ajustaron al eje “y” y los de la

corriente eléctrica al eje “x”; y donde la resistencia interna esta representa por la pendiente del ajuste lineal; encontrando una R_{int} de $24.875 \pm 2.714 \Omega$. Tamilarasan et al. (2024) calculo una R_{int} de 95.257Ω usando como sustrato efluentes petroquímicos, mencionando que el electrodo anódico, electrolito y membrana influyen en la adhesión microbiana y la transferencia de electrones; además menciona que los materiales con alta superficie pueden reducir la resistencia interna promoviendo el transporte eficaz de electrones [52]. Lawson et al. (2020) logro calcular una R_{int} $62 \pm 4 \Omega$ en sus MFC usando como sustrato efluentes, mencionado que cualquier tipo de difusión de O_2 en el analito no afecta la resistencia del ánodo [53].

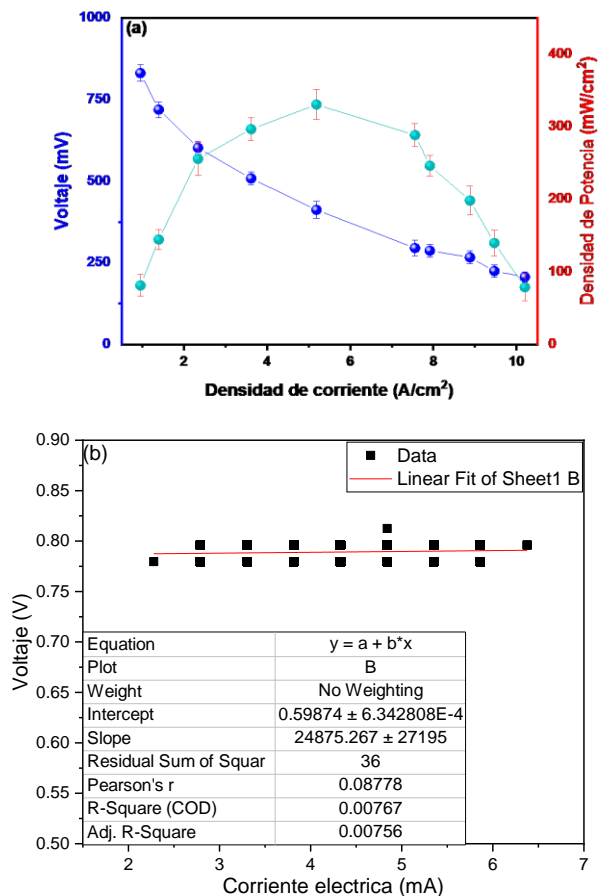


Figure 4. Valores de (a) resistencia interna y (b) densidad de potencia en función de la densidad de corriente.

La Figura 5 muestra el proceso en escala piloto del proceso de generación de energía eléctrica, partiendo de los desechos de tomate hasta la conexión en serie de las celdas de combustible microbiana que lograron generar un potencial eléctrico de 2.66 V , encendiendo un foco led de forma exitosa.

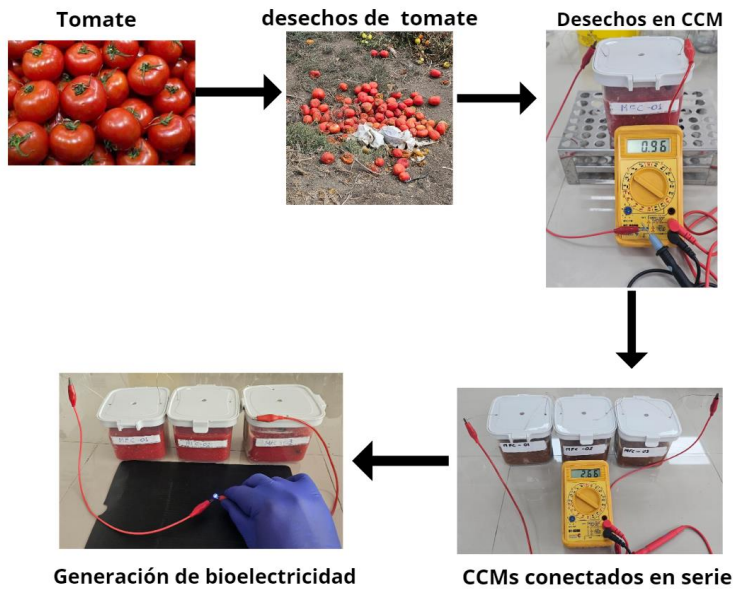


Figura 5. Proceso de la esquematización de generación de bioelectricidad.

IV. CONCLUSIONES

Los residuos de tomate lograron generar energía eléctrica exitosamente hasta el día 21 a través de celdas de combustible microbiana de bajo costo, usando electrodos de carbón y zinc. El potencial y corriente eléctrica máximo generado fue de 0.961 ± 0.036 V y 6.539 ± 0.204 mA en el décimo y noveno día respectivamente, estos valores se obtuvieron cuando las CCMs operaron un pH de 6.72 ± 0.11 , cuya conductividad eléctrica mostrada fue de 125.014 ± 3.512 mS/cm. Mientras que la DQO se redujo en un 76.15 ± 4.57 %, y el ORP mostrado en el noveno día fue de 253.197 ± 15.481 mV. La resistencia interna encontrada en el noveno día fue de 24.875 ± 2.714 Ω , con una densidad de potencia máxima de 331.297 mW/cm² para una densidad de corriente de 5.168 A/cm². Finalmente, las CCMs fueron conectadas en serie logrando generar un potencial eléctrico de 2.66 V, lo suficiente para que un foco LED ilumine.

AGRADECIMIENTO

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

REFERENCIAS

[1] Ritchie, H., Rosado, P., & Roser, M. (2024). Access to energy. *Our World in Data*.
 [2] Kartal, M. T., Pata, U. K., Kılıç Depren, S., & Erdogan, S. (2024). Time, frequency, and quantile-based impacts of disaggregated electricity generation on carbon neutrality: evidence from leading European Union

countries. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 31(1), 89-107.
 [3] Mansour, S., & Raeesi, M. (2024). Performance assessment of fuel cell and electric vehicles taking into account the fuel cell degradation, battery lifetime, and heating, ventilation, and air conditioning system. *International Journal of Hydrogen Energy*, 52, 834-855.
 [4] Malmodin, J., Lövehagen, N., Bergmark, P., & Lundén, D. (2024). ICT sector electricity consumption and greenhouse gas emissions—2020 outcome. *Telecommunications Policy*, 102701.
 [5] Smith, J. R., & Mastorakos, E. (2024). An energy systems model of large commercial liquid hydrogen aircraft in a low-carbon future. *International Journal of Hydrogen Energy*, 52, 633-654.
 [6] Duque-Acevedo, M., Belmonte-Ureña, L. J., Cortés-García, F. J., & Camacho-Ferre, F. (2020). Agricultural waste: Review of the evolution, approaches and perspectives on alternative uses. *Global Ecology and Conservation*, 22, e00902.
 [7] Lee, S. H., Lum, W. C., Boon, J. G., Kristak, L., Antov, P., Pędzik, M., ... & Pizzi, A. (2022). Particleboard from agricultural biomass and recycled wood waste: A review. *Journal of materials research and technology*, 20, 4630-4658.
 [8] Koul, B., Yakoob, M., & Shah, M. P. (2022). Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Environmental Research*, 206, 112285.
 [9] Grigolon, G., Nowak, K., Poigny, S., Hubert, J., Kotland, A., Waldschütz, L., & Wandrey, F. (2023). From Coffee Waste to Active Ingredient for Cosmetic Applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(10), 8516.
 [10] Maraveas, C. (2020). Production of sustainable construction materials using agro-wastes. *Materials*, 13(2), 262.
 [11] Kaliappan, S., Karthick, M., Patil, P. P., Madhu, P., Sekar, S., Mani, R., ... & Jida, S. N. (2022). Utilization of eco-friendly waste eggshell catalysts for enhancing liquid product yields through pyrolysis of forestry residues. *Journal of Nanomaterials*, 2022.
 [12] Yang, Y., Liew, R. K., Tamothran, A. M., Foong, S. Y., Yek, P. N. Y., Chia, P. W., ... & Lam, S. S. (2021). Gasification of refuse-derived fuel from municipal solid waste for energy production: a review. *Environmental chemistry letters*, 19, 2127-2140.
 [13] Xia, W., Jiang, Y., Chen, X., & Zhao, R. (2022). Application of machine learning algorithms in municipal solid waste management: A mini review. *Waste Management & Research*, 40(6), 609-624.
 [14] Ida, T. K., & Mandal, B. (2023). Microbial fuel cell design, application and performance: A review. *Materials Today: Proceedings*, 76, 88-94.
 [15] Saran, C., Purchase, D., Saratale, G. D., Saratale, R. G., Ferreira, L. F. R., Bilal, M., ... & Bharagava, R. N. (2023). Microbial fuel cell: A green eco-friendly agent for tannery wastewater treatment and simultaneous bioelectricity/power generation. *Chemosphere*, 312, 137072.
 [16] Malik, S., Kishore, S., Dhasmana, A., Kumari, P., Mitra, T., Chaudhary, V., ... & Rajput, V. D. (2023). A Perspective Review on Microbial Fuel Cells in Treatment and Product Recovery from Wastewater. *Water*, 15(2), 316.
 [17] Ahmad, A. (2023). Conventional vegetable waste: a potential source for the high performance of benthic microbial fuel cells. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-13.
 [18] Rojas-Villacorta, W., Rojas-Flores, S., Benites, S. M., Nazario-Naveda, R., Romero, C. V., Gallozzo-Cardenas, M., ... & Murga-Torres, E. (2023). Preliminary Study of Bioelectricity Generation Using Lettuce Waste as Substrate by Microbial Fuel Cells. *Sustainability*, 15(13), 10339.
 [19] Thushyanthini, M. V., Kirusanthy, M. V., & Loheeswaran, M. S. (2023). Comprehensive study of the level of electrolyte in selected organic wastes by using double chamber microbial fuel cell. *Comprehensive study of the level of electrolyte in selected organic wastes by using double chamber microbial fuel cell*, 123(1), 3-3.
 [20] Narayanasamy, S., & Jayaprakash, J. (2020). Application of carbon-polymer based composite electrodes for Microbial fuel cells. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 19, 595-620.

- [21] Fan, X., Zhou, Y., Jin, X., Song, R. B., Li, Z., & Zhang, Q. (2021). Carbon material-based anodes in the microbial fuel cells. *Carbon Energy*, 3(3), 449-472.
- [22] Arvaniti, I., & Fountoulakis, M. S. (2021). Use of a graphite-cement composite as electrode material in up-flow constructed wetland-microbial fuel cell for greywater treatment and bioelectricity generation. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(3), 105158.
- [23] Peera, S. G., Maiyalagan, T., Liu, C., Ashmath, S., Lee, T. G., Jiang, Z., & Mao, S. (2021). A review on carbon and non-precious metal based cathode catalysts in microbial fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(4), 3056-3089.
- [24] Alajrami, M. A., & Abu-Naser, S. S. (2020). Type of tomato classification using deep learning.
- [25] Donoso, A., Martínez, J. P., & Salazar, E. (2022). History of tomato cultivation in Chile: the limachino tomato case. *RIVAR*, 9, 204-220.
- [26] Rojas-Villacorta, W., Rojas-Flores, S., Benites, S. M., Nazario-Naveda, R., Romero, C. V., Gallozzo-Cardenas, M., ... & Murga-Torres, E. (2023). Preliminary Study of Bioelectricity Generation Using Lettuce Waste as Substrate by Microbial Fuel Cells. *Sustainability*, 15(13), 10339.
- [27] Dziegielowski, J., Mascia, M., Metcalfe, B., & Di Lorenzo, M. (2023). Voltage evolution and electrochemical behaviour of Soil microbial fuel cells operated in different quality soils. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56, 103071.
- [28] Abazarian, E., Gheshlaghi, R., & Mahdavi, M. A. (2023). Interactions between sediment microbial fuel cells and voltage loss in series connection in open channels. *Fuel*, 332, 126028.
- [29] Saran, C., Purchase, D., Saratale, G. D., Saratale, R. G., Ferreira, L. F. R., Bilal, M., ... & Bharagava, R. N. (2023). Microbial fuel cell: A green eco-friendly agent for tannery wastewater treatment and simultaneous bioelectricity/power generation. *Chemosphere*, 312, 137072.
- [30] Mahmoodzadeh, F., Navidjoui, N., Alizadeh, S., & Rahimnejad, M. (2023). Investigation of microbial fuel cell performance based on the nickel thin film modified electrodes. *Scientific Reports*, 13(1), 20755.
- [31] Naaz, T., Kumar, A., Vempaty, A., Singhal, N., Pandit, S., Gautam, P., & Jung, S. P. (2023). Recent advances in biological approaches towards anode biofilm engineering for improvement of extracellular electron transfer in microbial fuel cells. *Environmental Engineering Research*, 28(5).
- [32] Zhao, S., Wang, X., Wang, Q., Sumpradit, T., Khan, A., Zhou, J., ... & Qu, J. (2023). Application of biochar in microbial fuel cells: Characteristic performances, electron-transfer mechanism, and environmental and economic assessments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 267, 115643.
- [33] Arkatkar, A., Mungray, A. K., & Sharma, P. (2023). Effect of treatment on electron transfer mechanism in microbial fuel cell. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 45(2), 3843-3858.
- [34] Liu, Y., Zhou, G., Sun, Y., Zhang, M., Ren, T., Wang, L., & Li, C. (2023). Hollow cobalt ferrite nanofibers integrating with carbon nanotubes as microbial fuel cell anode for boosting extracellular electron transfer. *Applied Surface Science*, 609, 155386.
- [35] 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.
- [36] Rojas-Flores, S., Benites, S. M., De La Cruz-Noriega, M., Cabanillas-Chirinos, L., Valdiviezo-Dominguez, F., Quezada Álvarez, M. A., ... & Angelats-Silva, L. (2021). Bioelectricity production from blueberry waste. *Processes*, 9(8), 1301
- [37] Navarro, E. S. C., & Boado, M. M. M. (2023). Air-Cathode Microbial Fuel Cell: Optimizing Graphene-Sponge Anode Thickness and Chamber pH using Taguchi Experimental Method.
- [38] Zafar, H., Peleato, N., & Roberts, D. (2023). A comparison of reactor configuration using a fruit waste fed two-stage anaerobic up-flow leachate reactor microbial fuel cell and a single-stage microbial fuel cell. *Bioresource Technology*, 374, 128778.
- [39] Nguyen, H. D., & Babel, S. (2023). A novel coupled microbial fuel cell operation for organic and nitrogen removal with simultaneous energy recovery from wastewater. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 55, 102981.
- [40] Ma, J., Zhang, J., Zhang, Y., Guo, Q., Hu, T., Xiao, H., ... & Jia, J. (2023). Progress on anodic modification materials and future development directions in microbial fuel cells. *Journal of Power Sources*, 556, 232486.
- [41] Ida, T. K., & Mandal, B. (2023). Microbial fuel cell design, application and performance: A review. *Materials Today: Proceedings*, 76, 88-94.
- [42] Idris, M. O., Noh, N. A. M., Ibrahim, M. N. M., & Yaqoob, A. A. (2023). Sustainable microbial fuel cell functionalized with a bio-waste: A feasible route to formaldehyde bioremediation along with bioelectricity generation. *Chemical Engineering Journal*, 455, 140781.
- [43] Idris, M. O., Noh, N. A. M., Ibrahim, M. N. M., & Yaqoob, A. A. (2023). Sustainable microbial fuel cell functionalized with a bio-waste: A feasible route to formaldehyde bioremediation along with bioelectricity generation. *Chemical Engineering Journal*, 455, 140781.
- [44] Du, H., & Shao, Z. (2022). Synergistic effects between solid potato waste and waste activated sludge for waste-to-power conversion in microbial fuel cells. *Applied Energy*, 314, 118994.
- [45] Du, H., & Shao, Z. (2022). Synergistic effects between solid potato waste and waste activated sludge for waste-to-power conversion in microbial fuel cells. *Applied Energy*, 314, 118994.
- [46] Zhao, T.; Hu, H.; Chow, A.T.; Chen, P.; Wang, Y.; Xu, X.; Gong, Z.; Huang, S. Evaluation of organic matter and nitrogen removals, electricity generation and bacterial community responses in sediment microbial fuel cell coupled with *Vallisneria natans*. *J. Environ. Chem. Eng.* **2023**, *11*, 110058.
- [47] Zhao, T.; Hu, H.; Chow, A.T.; Chen, P.; Wang, Y.; Xu, X.; Gong, Z.; Huang, S. Evaluation of organic matter and nitrogen removals, electricity generation and bacterial community responses in sediment microbial fuel cell coupled with *Vallisneria natans*. *J. Environ. Chem. Eng.* **2023**, *11*, 110058.
- [48] Zhao, T.; Hu, H.; Chow, A.T.; Chen, P.; Wang, Y.; Xu, X.; Gong, Z.; Huang, S. Evaluation of organic matter and nitrogen removals, electricity generation and bacterial community responses in sediment microbial fuel cell coupled with *Vallisneria natans*. *J. Environ. Chem. Eng.* **2023**, *11*, 110058.
- [49] Pandit, S., Savla, N., Sonawane, J. M., Sani, A. M. D., Gupta, P. K., Mathuriya, A. S., ... & Prasad, R. (2021). Agricultural waste and wastewater as feedstock for bioelectricity generation using microbial fuel cells: Recent advances. *Fermentation*, 7(3), 169.
- [50] Rojas Flores, S., Naveda, R. N., Paredes, E. A., Orbegoso, J. A., Céspedes, T. C., Salvatierra, A. R., & Rodríguez, M. S. (2020). Agricultural wastes for electricity generation using microbial fuel cells. *The Open Biotechnology Journal*, 14(1).
- [51] Radeef, A. Y., & Ismail, Z. Z. (2023). Improvement of bioenergy generation using innovative application of food waste materials for coating carbon nanotubes-loaded bioanode in 3D-microbial fuel cells. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(49), 18835-18844.
- [52] Tamilarasan, K., Shabarish, S., Banu, J. R., & Sharmila, V. G. (2024). Sustainable power production from petrochemical industrial effluent using dual chambered microbial fuel cell. *Journal of Environmental Management*, 351, 119777.
- [53] Lawson, K., Rossi, R., Regan, J. M., & Logan, B. E. (2020). Impact of cathodic electron acceptor on microbial fuel cell internal resistance. *Bioresource technology*, 316, 123919.