

Preliminary results of the use of Purple Cabbage as fuel for the generation of electrical energy.

Rojas-Flores Segundo¹, Nancy Soto-Deza¹, De La Cruz Noriega Magaly¹, Nelida Otiniano Garcia¹, Mayra De La Cruz-Cerquin¹

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; notiniano@ucv.edu.pe; mdelacruz@ucv.edu.pe

Abstract– *The increase in agricultural waste such as vegetables and fruits has become a problem for society because in developing countries, there are no adequate collection centers for their reuse, and the lack of clean energy is a problem. The population must provide a solution to reduce pollution levels. The reason why this research provides an environmentally sustainable solution is the use of single-chamber microbial fuel cells using purple cabbage waste as fuel. Peaks of potential and electrical current of 2.967 ± 0.341 V and 7.538 ± 0.248 mA were generated on the twelfth day. These values were found when the cells operated at a pH of 7.06 ± 0.21 with an electrical conductivity of 112.314 ± 5.415 mS/cm. Likewise, it was possible to obtain $545,772 \pm 12,511$ mW/cm² of power density at a current density of $4,298$ A/cm². These values give the first results for scaling up this type of substrate, which can be very beneficial for farmers and companies.*

Keywords: *Waste, purple cabbage, organic fuel cells, bioelectricity, generation.*

Resultados preliminares del uso de la Col Morada como combustible para la generación de energía eléctrica.

Preliminary results of the use of Purple Cabbage as fuel for the generation of electrical energy.

Rojas-Flores Segundo¹, Nancy Soto-Deza¹, De La Cruz Noriega Magaly¹, Nelida Otiniano Garcia¹, Mayra De La Cruz-Cerquin¹

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; notiniano@ucv.edu.pe; mdelacruz@ucv.edu.pe

Resumen- El aumento de los desechos agrícolas como vegetales y frutas se ha convertido en un problema para la sociedad, debido a que en los países en vías de desarrollo no existen centros de acopios adecuados para su reutilización y la falta de energía limpia, son problemas que la población debe de dar una solución para disminuir los niveles de contaminación. Motivo el cual esta investigación da una solución sostenible con el medio ambiente, que es la utilización de las celdas de combustible microbiana de una sola cámara utilizando como combustible desechos de col morada. Se logro generar picos de potencial y corriente eléctrica de 2.967 ± 0.341 V y 7.538 ± 0.248 mA, en el doceavo día, estos valores se encontraron cuando las celdas operaron a un pH de 7.06 ± 0.21 con una conductividad eléctrica de 112.314 ± 5.415 mS/cm. Asi también, se logro obtener 545.772 ± 12.511 mW/cm² de densidad de potencia en una densidad de corriente de 4.298 A/cm². Estos valores dan los primeros resultados para un escalamiento de este tipo de sustrato, el cual puede ser muy beneficiosos para los agricultores y empresas.

Palabras claves—Desechos, col morada, celdas de combustible orgánica, bioelectricidad, generación.

Abstract— The increase in agricultural waste such as vegetables and fruits has become a problem for society because in developing countries, there are no adequate collection centers for their reuse, and the lack of clean energy is a problem. The population must provide a solution to reduce pollution levels. The reason why this research provides an environmentally sustainable solution is the use of single-chamber microbial fuel cells using purple cabbage waste as fuel. Peaks of potential and electrical current of 2.967 ± 0.341 V and 7.538 ± 0.248 mA were generated on the twelfth day. These values were found when the cells operated at a pH of 7.06 ± 0.21 with an electrical conductivity of 112.314 ± 5.415 mS/cm. Likewise, it was possible to obtain $545,772 \pm 12,511$ mW/cm² of power density at a current density of $4,298$ A/cm². These values give the first results for scaling up this type of substrate, which can be very beneficial for farmers and companies.

Keywords—Waste, purple cabbage, organic fuel cells, bioelectricity, generation.

I. INTRODUCCIÓN

Los desechos orgánicos producidos por las industrias han comenzado a aumentar de forma acelerada en las últimas décadas, estos desechos son ricos en nutrientes y suelen proceder de procesamientos de productos agrícolas [1,2]. Se ha estimado que solo la India produce 65 billones de m³ por año, y esto puede ser un gran potencial como materia prima para la producción un bien secundario y en Europa se ha estimado que estos tipos de desechos producen 100 millones toneladas de CO₂ entre el 2012 y el 2018 [3,4]. Por otro, lado el uso de desechos fósiles para la generación de combustibles en todos sus tipos, ha generado que la contaminación ambiental en las ciudades aumente, sin ningún control [5].

Estos dos grandes problemas (desechos orgánicos y falta de energías alternativas sostenibles), se puede ser solucionadas mediante el uso de la tecnología de celdas de combustible microbiana (CCMs) [6]. Aquí los organismos oxidan los combustibles (sustratos) orgánicos y transfieren los electrones que se originan a un sistema electroquímico para que se conviertan en energía [7,8]. Este proceso de convertir la energía química a energía eléctrica, se basa en el proceso de oxidación-reducción y depende la cantidad de materia orgánica que se tiene de sustrato [9,10]. En la literatura se ha encontrado ciertas investigaciones relacionadas con el tema, por ejemplo, Din et al. (2020) utilizo desechos de papa como combustible en sus CCMs logrando generar picos de voltaje de 1.12V y 12.45mA de corriente eléctrica utilizando como electrodos zinc y cobre [11]. Así también, Priya A. y Setty Y. (2019) utilizo desechos de manzana en sus CCMs, logrando generar picos de voltaje de 0.4 V y una densidad de potencia de 31.58 mW/m², utilizando como electrodos carbon activado

[12]. Los desechos lácteos también ha sido utilizados como combustible en CCMs, logrando picos de voltaje de 550 mV en 72 horas de operación, así como densidad de potencia de 1.05 W/m² en una densidad de corriente de 8.01 A/m² [13]. En toda la revisión de literatura, se ha encontrado que estos desechos son ricos en carbono, y otras propiedades que hacen que su consumo sea demandado en ciertos países. Así también en el Perú, el repollo morado o col morada (*Brassica oleracea* var. *Capitata f. rubra*), es altamente consumido por los microgeens que contienen, se ha reportado que en 100 gr de este vegetal contiene, 27 mg de sodio, 243 mg de potasio y 7g de carbohidratos, 2.1 g de fibra alimentaria; así como también Vitamina C, hierro, vitamina B6 y otros [14-16]. Todo esto ha realizado que su exportación en los últimos años haya aumentado y al mismo tiempo que sus desechos en el proceso de cosecha y venta haya aumentado [17].

Debido a esto, el objetivo general de esta investigación es observar el potencial que tiene los desechos de col morada, para la generación de bioelectricidad usando como tecnología a las celdas de combustible microbiana de una sola cámara (CCM-SC). Para lo cual se monitoreará por un periodo de 30 días los valores de voltaje, corriente eléctrica, pH y conductividad eléctrica; así como también se medirá los valores de resistencia interna, densidad de potencia en función de la densidad de corriente. Todo esto dará una solución sostenible para la generación de energía eléctrica a través de desechos agrícolas para su potencia uso de los agricultores y empresarios dedicados en este rubro.

II. MATERIALES Y METODOS

a. Construcción de las CCM-SC

La celda de combustible microbiana de una sola cámara fue obtenida de la empresa Xin Tester (Shangai, China), las cuales fueron fabricados de sílice (SiO₂) de 100 ml. Los electrodos fueron fabricados de carbón (ánodo) y zinc (cátodo), y se utilizó una membrana de intercambio protónico/Nafion 117 (Wilmington, DE, USA), el área del electrodo anódico fue de 30 cm² y el catódico 15.75 cm²; ambos electrodos fueron unidos por un circuito externo con una resistencia de 100Ω, ver Figura 1.

b. Recolección de las muestras usadas como sustrato

El sustrato utilizado se recolectó de los desechos de los cultivos agrícolas de Laredo, Trujillo, La Libertad, Perú; las cols moradas que no fueron seleccionadas por los agricultores para la venta, se recogieron y fueron llevadas al laboratorio de la Universidad Cesar Vallejo, se recolectaron 3 kg las cuales fueron lavadas varias veces hasta eliminar todo tipo de impureza adquirida del mismo sembrío. Luego se dejó secar a 25 °C por 48 horas, para que finalmente con un extractor (extractor, Labtron,

LDO-B10-USA) se obtuvo una solución líquida de 800 ml, que fue el sustrato finalmente utilizado en las CCM-SC.

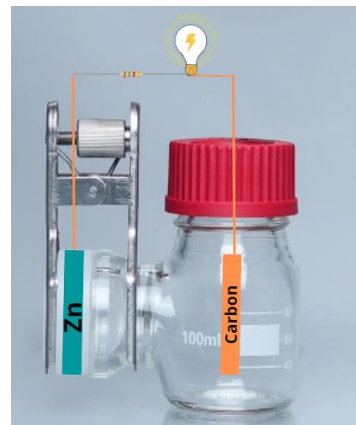


Figura 1. Esquemática del diseño experimental de la CCM-SC.

c. Caracterización de los parámetros electroquímicos de las CCM-SC

Los valores de voltaje y corriente eléctrica fueron monitoreados por treinta días, mediante el uso de un multímetro digital (Truper MUT—830 Digital Multimeter) y una resistencia externa de 100 Ω; los valores de DQO (demanda química de oxígeno) se midió mediante el método colorimétrico de reflujos cerrados según la norma NTP 360.502:2016. Mientras que los valores de resistencia interna de las CCM-SC se realizaron mediante un sensor de energía (Vernier- ± 30 V and ±1000 mA). Los valores de densidad de potencia y densidad de corriente se realizaron usando el método de Rojas et al. (2023) usando las resistencias externas de 0.3 (±0.1), 3 (±0.6), 10 (±1.3), 50 (±8.7), 100 (±9.3), 220 (±13), 460 (±23.1), 531 (±26.8), 700 (±40.5), and 1000 (±50.6) Ω [18]. Cada CCM-SC contenía 100 ml de desecho de col morada triturada, para este resultado se pasó el líquido por un filtro de 10 μm y se midió las propiedades químicas, las cuales se registran en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades químicas de la solución original de desechos de aguacate.

Parámetros	Valores
pH	6.224
Temperatura (°C)	21.40 ± 0.2
Conductividad eléctrica (mS/cm)	112.314 ± 5.415
Demanda química de oxígeno (mg/L)	1684.25 ± 0.01

III. RESULTADOS Y ANALISIS

Los valores de voltaje son mostrados en la Figura 2 (a), donde se puede observar que los valores aumentan desde el día 1 (0.139 ± 0.01 V) hasta el día 12 (2.967 ± 0.341 V), para después disminuir hasta el último día (1.524 ± 0.414 V). El diferencial de potencial que se originan entre los electrodos se debe principalmente al fenómeno de oxidación-reducción que ocurre dentro de las CCMs, esto debido a la carga orgánica presente en el sustrato [19]. Por ejemplo, Shahi et al. (2020) logro generar picos de potencial de 0.3 V en el día 12, cuyo valor decayó después de ese día debido a la disminución de la carga orgánica presente en el sustrato [20]. Koffi N. y Okabe S. (2020) mencionaron en su investigación, donde usaron aguas residuales que el potencial se puede aumentar conectando capacitores de diferentes potenciales y descargando la CCMs para que se puedan volver a cargar en un tiempo determinado [21]. Kalagbor et al. (2020) usaron como sustratos desechos de tomates, plátanos y piña, en sus celdas de combustible microbiana de una sola cámara logrando generar picos de voltaje de 4.2, 3.1 y 3 V respectivamente, estos altos valores registrados se deben a la cantidad de sustratos utilizado, donde valores superaban los 5 kg por celda [22]. Mientras que los valores de corriente eléctrica se pueden apreciar en la Figura 1 (b), donde los alores aumentan desde el primer día (1.637 ± 0.040 mA) hasta el doceavo día (7.538 ± 0.248 mA) para después disminuir ligeramente hasta el día 30 (6.310 ± 0.571 mA). Los valores de la corriente eléctrica son generados debido a la cantidad de electrones generados dentro de las celdas de combustible microbiana, para la generación de estos electrones se debe principalmente al metabolismo de los microorganismos presentes en el sustrato, los cuales se liberan y son captados por los electrones, al disminuir la cantidad de microorganismos el valor de la corriente eléctrica también disminuirá [23,24]. Yaqoob et al. (2022) logro generar picos de corriente eléctrica de 0.017 mA, 0.001 mA, and 0.026 mA usando como sustrato rambután, langsat y mango, en sus celdas de combustible microbiana, mencionando que la resistencia interna de las CCMs también es importante para la liberación de electrones del ánodo al cátodo [25]. También se ha utilizado desechos de mango como sustrato, logrando generar picos de corriente eléctrica de 7.5948 ± 0.3109 mA, mostrando una resistencia interna de 205.056 ± 25 Ω ; esto puede ser debido a la naturaleza metálica de los electrodos utilizados [26]. Los desechos de aguacate también han sido utilizados como sustratos en celdas de combustible microbiana, logrando generar picos de 3.7326 ± 0.05568 mA con una resistencia interna de 71.480 Ω , en esta investigación resaltan la importancia de la utilización de electrodos metálicos para aumento de los valores de corriente eléctrica [27].

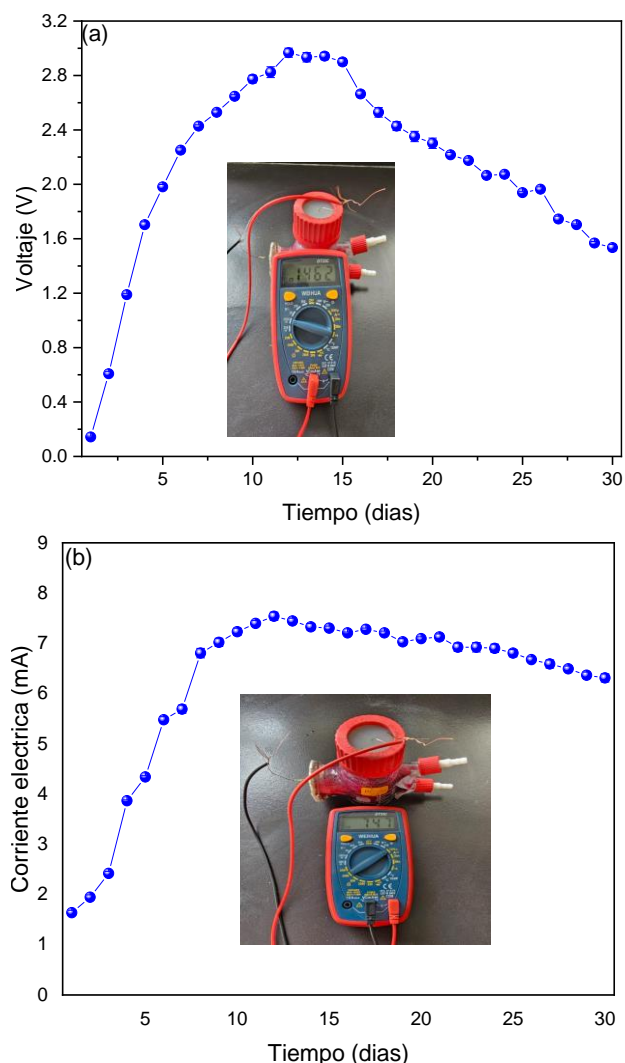


Figura 2. Monitoreo de valores de (a) voltaje y (b) corriente eléctrica de celdas de combustible microbianas.

Los valores de pH monitoreados durante el periodo operación de las celdas de combustible microbiana son mostradas en la Figura 3 (a), cuyo régimen se mantuvo entre neutro y ligeramente alcalino, con un pH óptimo de operación de 7.06 ± 0.21 . La estimación de un pH óptimo en las CCMs es de vital importancia, debido a que se debe de establecer un valor estable para un correcto funcionamiento de estos dispositivos [28]. En la literatura se ha encontrado que la generación de protones de la cámara anódica a la catódica origina una variación de los valores de pH, y estas variaciones afectan al rendimiento y estabilidad de las CCMs [29,30]. Sea demostrado que para cada sustrato los valores de pH cambian, básicamente por el microbiota presente en el y cada microorganismos necesita pH específicos para su crecimiento [31]. Por ejemplo, Vélez et al. (2020) uso desechos de aguas de minas, donde lograron obtener una potencia de 1.22 V y densidad de potencia de $14\ 000$ mW/m^3 con

sus CCMs de una cámara trabajando a un pH de 4.12 ± 0.6 [32].

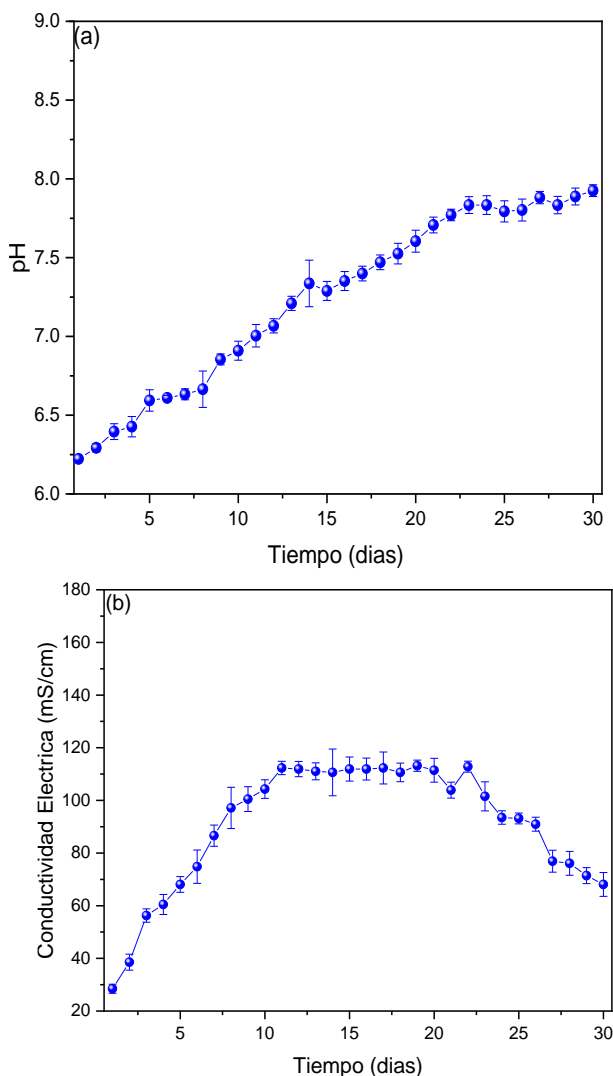


Figura 3. Monitoreo de (a) valores de pH y (b) conductividad del combustible microbiano.

Así también Rincón et al. (2022) usó desechos de queso como sustrato en sus CCMs, las cuales operaron a un pH neutro ($6.5 \sim 6.7$) logrando generar picos de voltaje y corriente eléctrica de 344mV y 0.0003443A , con una resistencia interna de 486.72Ω [33]. Los valores de la conductividad eléctrica se pueden observar en la Figura 3 (b), los cuales aumentan desde el primer día ($28.466 \pm 1.731 \text{ mS/cm}$) hasta el onceavo día ($112.314 \pm 5.415 \text{ mS/cm}$) para luego disminuir hasta el último día ($68.081 \pm 9.874 \text{ mS/cm}$), en la literatura se ha encontrado que los valores de la conductividad eléctrica aumentan debido a la disminución de la resistencia interna del sustrato, el cual en los primeros días está con una carga orgánica alta, que libera electrones hasta un día pico para después disminuir debido a que el sustrato no es recargado con nuevos desechos

originando una sedimentación y pérdida de la carga orgánica suspendida en la solución [34-36].

En la Figura 4 (a) se muestra el valor de la resistencia interna de las celdas de combustible microbiana, para esto se utilizó la ley de ohm ($V=RI$), donde los valores del potencia eléctrica se colocaron en el eje “Y” y los valores de la corriente eléctrica se colocaron en el eje “X” cuya pendiente del ajuste lineal representa la resistencia interna del dispositivo eléctrico, la $R_{int.}$ (resistencia interna) encontrada fue de $36.874 \pm 1.547 \Omega$. Estos valores varían cada tipo de diseño de celda y cada sustrato, por ejemplo, Verma y Mishra (2023) utilizaron desechos de banana como sustratos en sus celdas de combustible microbiana de tipo H, logrando observar una $R_{int.}$ de 144.9Ω utilizando como electrodos de acero cubiertos con carbón [36]. Los desechos de vegetales también han sido utilizados como sustratos en CCMs de una sola cámara, logrando generar una $R_{int.}$ de 123.23Ω utilizando electrodos de grafito [37]. Muchas investigaciones han reportado valores de resistencias internas bajas en celdas de combustible microbiana que utilizaban como electrodos de naturaleza metálica, debido a las excelentes propiedades inherentes que tienen para el transporte de electrones [38,39]. En la Figura 4 (b) se observan los valores de densidad de potencia en función de densidad de corriente, la densidad de potencia máxima fue de $545.772 \pm 12.511 \text{ mW/cm}^2$ en una densidad de corriente de 4.298 A/cm^2 con un potencial máximo de $2433.418 \pm 204.251 \text{ V}$. Aunque estos valores de densidad de potencia son altos, aun se pueden mejorar, según otras investigaciones los valores de la densidad de potencia pueden aumentarse al variar la distancia entre los electrodos, así como el tamaño de los mismos, se han reportado investigaciones donde solo estudian la distancia adecuada entre el electrodo anódico y catódico para una óptima densidad de potencia [40-42]. Por ejemplo, Choudhury et al. (2021) utilizó electrodos de platino/carbón en sus CCMs de una sola cámara con sustrato de aguas residuales lácteas, logrando generar picos de densidad de potencia de 50 mW/m^2 en una densidad de corriente 141 mA/m^2 [43]. Los desechos de papaya también han sido utilizados como sustrato en celdas de combustible microbiana, las cuales operaron con electrodos de zinc y cobre, logrando generar picos de densidad de potencia de 878.38 mW/cm^2 en una densidad de corriente de 7.245 A/cm^2 [44]. Por último, en la Figura 5 se muestra la esquematización del proceso de generación de bioelectricidad utilizando como combustible los desechos de col morada, donde las celdas fueron conectadas en serie logrando generar 8.40 V , cuyo potencial fue suficiente para encender un foco led (verde).

IV. CONCLUSIONES

Se logro generar bioelectricidad de forma exitosa usando como combustible col morada, en celdas de combustible de una sola cámara, a pequeña escala. Logrando generar picos de corriente y potencial eléctrico de 7.538 ± 0.248 mA y 2.967 ± 0.341 V, los cuales operaron a un pH de 7.06 ± 0.21 cuya conductividad eléctrica mostrada fue de 112.314 ± 5.415 mS/cm, el doceavo día. Asi también se logró calcular la resistencia interna de las de celdas de combustible microbiana, dando un valor de $36.874 \pm 1.547 \Omega$, con una densidad de potencia de 545.772 ± 12.511 mW/cm² con una densidad de corriente de 4.298 A/cm². Esta investigación da los primeros resultados para un escalamiento de este prototipo a mayor escala, con el fin de beneficiar a los empresarios y agricultores dedicados a este rubro.

Para trabajos futuros se recomienda la utilización de biocatalizadores, y es estudio de la distancia optima de los electrodos trabajándolos al pH optimo encontrado en esta investigación, el cual debería estar invariante.

AGRADECIMIENTOS

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

REFERENCES

- [1] Fu, X., Zheng, Z., Sha, Z., Cao, H., Yuan, Q., Yu, H., & Li, Q. (2022). Biorefining waste into nanobiotechnologies can revolutionize sustainable agriculture. *Trends in Biotechnology*.
- [2] Barros, M. V., Salvador, R., de Francisco, A. C., & Piekarski, C. M. (2020). Mapping of research lines on circular economy practices in agriculture: From waste to energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 131, 109958.
- [3] 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.
- [4] Kaletnik, G., Honcharuk, I., & Okhota, Y. (2020). The Waste-free production development for the energy autonomy formation of Ukrainian agricultural enterprises. *Journal of Environmental Management and Tourism*.-2020.-Vol. XI, Summer, Issue 3 (43).-P. 513-522.
- [5] Heniegal, A. M., Ramadan, M. A., Naguib, A., & Agwa, I. S. (2020). Study on properties of clay brick incorporating sludge of water treatment plant and agriculture waste. *Case Studies in Construction Materials*, 13, e00397.
- [6] Tan, W. H., Chong, S., Fang, H. W., Pan, K. L., Mohamad, M., Lim, J. W., ... & Yang, T. C. K. (2021). Microbial fuel cell technology—a critical review on scale-up issues. *Processes*, 9(6), 985.
- [7] Paucar, N. E., & Sato, C. (2021). Microbial fuel cell for energy production, nutrient removal and recovery from wastewater: A review. *Processes*, 9(8), 1318.
- [8] Obileke, K., Onyeaka, H., Meyer, E. L., & Nwokolo, N. (2021). Microbial fuel cells, a renewable energy technology for bio-electricity generation: A mini-review. *Electrochemistry Communications*, 125, 107003.
- [9] Boas, J. V., Oliveira, V. B., Simões, M., & Pinto, A. M. (2022). Review on microbial fuel cells applications, developments and costs. *Journal of Environmental Management*, 307, 114525.
- [10] Dwivedi, K. A., Huang, S. J., & Wang, C. T. (2022). Integration of various technology-based approaches for enhancing the performance of microbial fuel cell technology: A review. *Chemosphere*, 287, 132248.

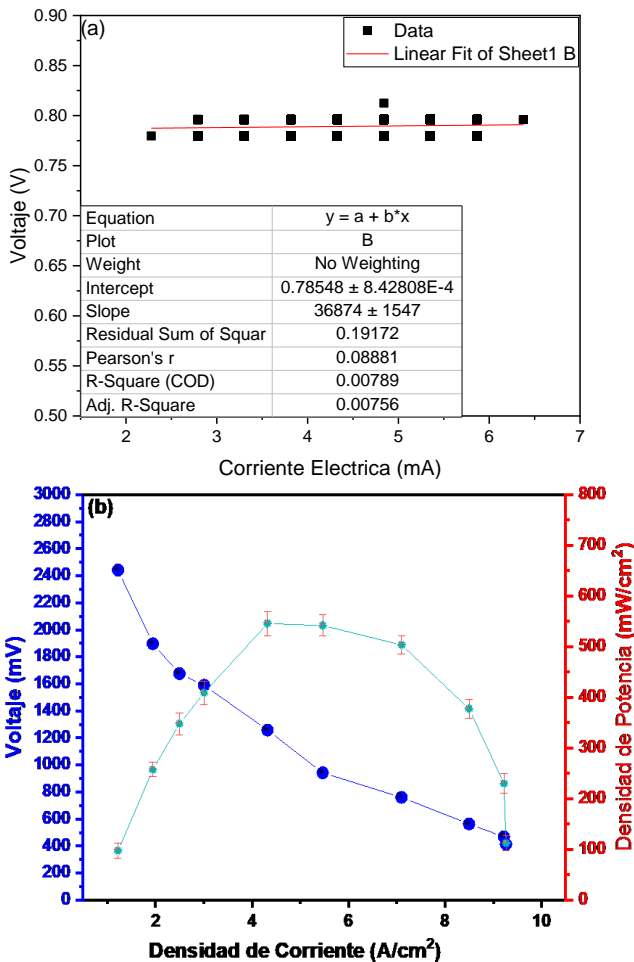


Figura 4. Valores de (a) resistencia interna y (b) densidad de potencia en función de la densidad de corriente.

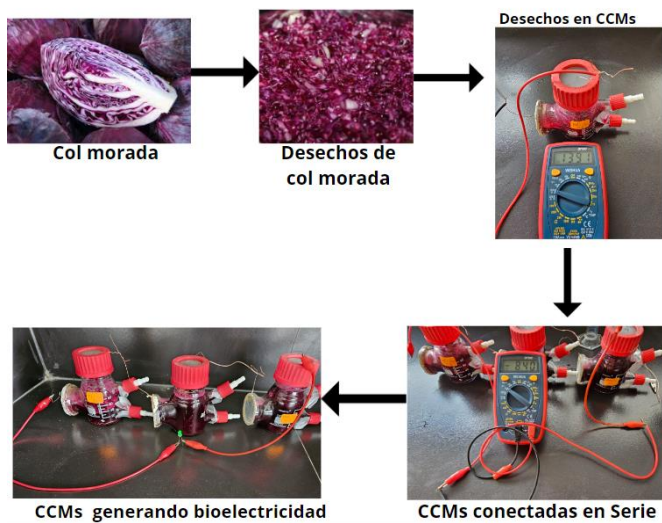


Figura 5. Esquematzación de proceso de generación de bioelectricidad.

- [11] Din, M. I., Iqbal, M., Hussain, Z., & Khalid, R. (2020). Bioelectricity generation from waste potatoes using single chambered microbial fuel cell. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-11.
- [12] Din, M. I., Iqbal, M., Hussain, Z., & Khalid, R. (2020). Bioelectricity generation from waste potatoes using single chambered microbial fuel cell. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 1-11.
- [13] Priya, A. D., & Setty, Y. P. (2019). Cashew apple juice as substrate for microbial fuel cell. *Fuel*, 246, 75-78.
- [14] Yong, H., Liu, J., Kan, J., & Liu, J. (2022). Active/intelligent packaging films developed by immobilizing anthocyanins from purple sweetpotato and purple cabbage in locust bean gum, chitosan and κ -carrageenan-based matrices. *International Journal of Biological Macromolecules*, 211, 238-248.
- [15] Wieth, A. R., Pinheiro, W. D., & Duarte, T. D. S. (2020). Purple cabbage microgreens grown in different substrates and nutritive solution concentrations. *Revista Caatinga*, 32, 976-985.
- [16] Liu, J., Li, X., Yang, Y., Wei, H., Xue, L., Zhao, M., & Cai, J. (2021). Optimization of combined microwave and hot air drying technology for purple cabbage by Response Surface Methodology (RSM). *Food Science & Nutrition*, 9(8), 4568-4577.
- [17] Guo, Z., Zuo, H., Ling, H., Yu, Q., Gou, Q., & Yang, L. (2022). A novel colorimetric indicator film based on watermelon peel pectin and anthocyanins from purple cabbage for monitoring mutton freshness. *Food Chemistry*, 383, 131915.
- [18] Segundo, R. F., Benites, S. M., De La Cruz-Noriega, M., Vives-Garnique, J., Otiniano, N. M., Rojas-Villacorta, W., ... & Díaz, F. (2023). Impact of Dragon Fruit Waste in Microbial Fuel Cells to Generate Friendly Electric Energy. *Sustainability*, 15(9), 7316.
- [19] 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.
- [20] Shahi, A., Rai, B. N., & Singh, R. S. (2020). Biodegradation of reactive orange 16 dye in microbial fuel cell: an innovative way to minimize waste along with electricity production. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 192, 196-210.
- [21] Koffi, N. D. J., & Okabe, S. (2020). High voltage generation from wastewater by microbial fuel cells equipped with a newly designed low voltage booster multiplier (LVBM). *Scientific reports*, 10(1), 18985.
- [22] Kalagbor, I. A., Azunda, B. I., Igwe, B. C., & Akpan, B. J. (2020). Electricity generation from waste tomatoes, banana, pineapple fruits and peels using single chamber microbial fuel cells (SMFC). *Waste Manag. Xenobiotics*, 3, 142.
- [23] Soavi, F., & Santoro, C. (2020). Supercapacitive operational mode in microbial fuel cell. *Current Opinion in Electrochemistry*, 22, 1-8.
- [24] Mohyudin, S., Farooq, R., Jubeen, F., Rasheed, T., Fatima, M., & Sher, F. (2022). Microbial fuel cells a state-of-the-art technology for wastewater treatment and bioelectricity generation. *Environmental research*, 204, 112387.
- [25] 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.
- [26] Nazario-Naveda, R., Benites, S. M., Delfin-Narciso, D., & Díaz, F. (2022). Potential Use of Mango Waste and Microalgae *Spirulina* sp. for Bioelectricity Generation. *Environmental Research, Engineering & Management*, 78(3).
- [27] Rojas-Flores, S., De La Cruz-Noriega, M., Nazario-Naveda, R., Benites, S. M., Delfin-Narciso, D., Rojas-Villacorta, W., & Romero, C. V. (2022). Bioelectricity through microbial fuel cells using avocado waste. *Energy Reports*, 8, 376-382.
- [28] Zhang, Y., Xu, Q., Huang, G., Zhang, L., & Liu, Y. (2020). Effect of dissolved oxygen concentration on nitrogen removal and electricity generation in self pH-buffer microbial fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(58), 34099-34109.
- [29] Ren, Y., Lv, Y., Wang, Y., & Li, X. (2020). Effect of heterotrophic anodic denitrification on anolyte pH control and bioelectricity generation enhancement of bufferless microbial fuel cells. *Chemosphere*, 257, 127251.
- [30] Mohyudin, S., Farooq, R., Jubeen, F., Rasheed, T., Fatima, M., & Sher, F. (2022). Microbial fuel cells a state-of-the-art technology for wastewater treatment and bioelectricity generation. *Environmental research*, 204, 112387.
- [31] Prasad, J., & Tripathi, R. K. (2021). Scale-up and control the voltage of sediment microbial fuel cell for charging a cell phone. *Biosensors and Bioelectronics*, 172, 112767.
- [32] Vélez-Pérez, L. S., Ramirez-Nava, J., Hernández-Flores, G., Talavera-Mendoza, O., Escamilla-Alvarado, C., Poggi-Valardo, 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.
- [33] Rincón-Catalán, N. I., Pérez-Fabiel, S., Mejía-González, G., Herrera-López, D., Castro-Chan, R., Cruz-Salomón, A., & Sebastian, P. J. (2022). Power generation from cheese whey treatment by anaerobic digestion and microbial fuel cell. *Waste and Biomass Valorization*, 13(7), 3221-3231.
- [34] Liu, Y., Zhang, X., Zhang, Q., & Li, C. (2020). Microbial fuel cells: nanomaterials based on anode and their application. *Energy Technology*, 8(9), 2000206.
- [35] Cai, T., Meng, L., Chen, G., Xi, Y., Jiang, N., Song, J., ... & Huang, M. (2020). Application of advanced anodes in microbial fuel cells for power generation: A review. *Chemosphere*, 248, 125985.
- [36] 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.
- [37] Verma, M., & Mishra, V. (2023). Bioelectricity generation by microbial degradation of banana peel waste biomass in a dual-chamber *S. cerevisiae*-based microbial fuel cell. *Biomass and Bioenergy*, 168, 106677.
- [38] Javed, M. M., Nisar, M. A., Muneer, B., & Ahmad, M. U. (2017). Production of bioelectricity from vegetable waste extract by designing a U-shaped microbial fuel cell. *Pakistan Journal of Zoology*, 49(2).
- [39] 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.
- [40] Priyadarshini, M., Ahmad, A., Das, S., & Ghangrekar, M. M. (2022). Metal organic frameworks as emergent oxygen-reducing cathode catalysts for microbial fuel cells: a review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(11), 11539-11560.
- [41] Obileke, K., Onyeaka, H., Meyer, E. L., & Nwokolo, N. (2021). Microbial fuel cells, a renewable energy technology for bio-electricity generation: A mini-review. *Electrochemistry Communications*, 125, 107003.
- [42] Ullah, Z., & Zeshan, S. (2020). Effect of substrate type and concentration on the performance of a double chamber microbial fuel cell. *Water Science and Technology*, 81(7), 1336-1344.
- [43] Choudhury, P., Ray, R. N., Bandyopadhyay, T. K., Basak, B., Muthuraj, M., & Bhunia, B. (2021). Process engineering for stable power recovery from dairy wastewater using microbial fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 46(4), 3171-3182.
- [44] Rojas-Flores, S., Pérez-Delgado, O., Nazario-Naveda, R., Rojas-Alfaro, H., Benites, S. M., De La Cruz-Noriega, M., & Otiniano, N. M. (2021). Potential use of papaya waste as a fuel for bioelectricity generation. *Processes*, 9(10), 1799.