

# Uso de los desechos de la industria azucarera para la producción de bioelectricidad

## Use of waste from the sugar industry for the production of bioelectricity

M. De La Cruz Noriega<sup>1</sup>, S. Rojas-Flores<sup>2</sup>, Santiago M. Benites<sup>1</sup>, Nélica Milly Otiniano<sup>1</sup>, L. Cabanillas-Chirinos<sup>1</sup>, F. Valdiviezo-Dominguez<sup>3</sup>, W. Rojas-Villacorta<sup>4</sup> and M. Rodriguez-Yupanqui<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación en Ciencias y Tecnología de la Universidad Cesar Vallejo, Trujillo 13001, Perú.  
sbenites@ucv.edu.pe, maguii\_12@hotmail.com, lcabanillas@ucv.edu.pe, notiniano@ucv.edu.pe

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Ciencias Aplicadas y Nuevas Tecnologías, Universidad Privada del Norte, Trujillo 13007, Perú.  
segundo.rojas.89@gmail.com

<sup>3</sup>Escuela de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo 13001, Perú.  
mrodriguez@ucv.edu.pe, fernahis.14@hotmail.com, fiorelavaldiviezo815@gmail.com

<sup>4</sup> Escuela de Postgrado de Biotecnología agroindustrial y ambiental, Universidad Nacional de Trujillo, Perú.  
wrojasv33@gmail.com

***Abstract***— *Microbial fuel cells are providing great opportunities for electricity generation through the use of organic waste. This research work gives an environmentalist solution by using molasses waste for the generation of bioelectricity through single-chamber microbial fuel cells using zinc and copper electrodes; manufactured inexpensively. The maximum voltage generated was  $0.953 \pm 0.142$  mV and the current was  $1.73 \pm 0.13$  mA, all cells showed a slightly acidic pH during the 30 days of monitoring. The conductivity values increased until day 22 ( $111.156 \pm 8.45$  mS/cm) and the Brix degrees values decreased from  $20.07 \pm 0.57$  ° Brix to  $11.33 \pm 2.18$  ° Brix. The maximum power density found was  $5.45 \pm 0.31$  W/cm<sup>2</sup> with a current density of 308.06 mA/cm<sup>2</sup>.*

***Keywords*** — *Microbial fuel cells, waste, molasses, electrodes, electricity.*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.130>  
ISBN: 978-958-52071-8-9 ISSN: 2414-6390

# Uso de los desechos de la industria azucarera para la producción de bioelectricidad

## Use of waste from the sugar industry for the production of bioelectricity

M. De La Cruz Noriega<sup>1</sup>, S. Rojas-Flores<sup>2</sup>, Santiago M. Benites<sup>1</sup>, Nélida Milly Otiniano<sup>1</sup>, L. Cabanillas-Chirinos<sup>1</sup>, F. Valdiviezo-Dominguez<sup>3</sup>, W. Rojas-Villacorta<sup>4</sup> and M. Rodriguez-Yupanqui<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación en Ciencias y Tecnología de la Universidad Cesar Vallejo, Trujillo 13001, Perú.  
sbenites@ucv.edu.pe, maguui\_12@hotmail.com, lcabanillas@ucv.edu.pe, notiniano@ucv.edu.pe

<sup>2</sup>Grupo de Investigación en Ciencias Aplicadas y Nuevas Tecnologías, Universidad Privada del Norte, Trujillo 13007, Perú.  
segundo.rojas.89@gmail.com

<sup>3</sup>Escuela de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo 13001, Perú.  
mrodriguez@ucv.edu.pe, fernahis.14@hotmail.com, fiorelavaldiviezo815@gmail.com

<sup>4</sup> Escuela de Postgrado de Biotecnología agroindustrial y ambiental, Universidad Nacional de Trujillo, Perú.  
wrojasv33@gmail.com

**Resumen-** Las celdas de combustible microbiana están dando grandes oportunidades para la generación de electricidad a través del uso de desechos orgánicos. Este trabajo de investigación da una solución medio ambientalista al usar desechos de melaza para la generación bioelectricidad a través de celdas de combustible microbiana de una sola cámara utilizando electrodos de Zinc y Cobre; fabricados de bajo costo. El voltaje máximo generado fue de  $0.953 \pm 0.142$  mV y la corriente fue de  $1.73 \pm 0.13$  mA, todas las celdas mostraron un pH ligeramente ácido durante los 30 días de monitoreo. Los valores de conductividad aumentaron hasta el día 22 ( $111.156 \pm 8.45$  mS/cm) y los valores de los grados Brix disminuyeron desde  $20.07 \pm 0.57$  ° Brix hasta  $11.33 \pm 2.18$  ° Brix. La densidad de potencia máxima hallada fue de  $5.45 \pm 0.31$  W/cm<sup>2</sup> con una densidad de corriente de 308.06 mA/cm<sup>2</sup>.

**Palabras claves**—Celdas de combustible microbiana, residuos, melaza, electrodos, electricidad.

**Abstract**— Microbial fuel cells are providing great opportunities for electricity generation through the use of organic waste. This research work gives an environmentalist solution by using molasses waste for the generation of bioelectricity through single-chamber microbial fuel cells using zinc and copper electrodes; manufactured inexpensively. The maximum voltage generated was  $0.953 \pm 0.142$  mV and the current was  $1.73 \pm 0.13$  mA, all cells showed a slightly acidic pH during the 30 days of monitoring. The conductivity values increased until day 22 ( $111.156 \pm 8.45$  mS/cm) and the Brix degrees values decreased from  $20.07 \pm 0.57$  ° Brix to  $11.33 \pm 2.18$  ° Brix. The maximum power density found was  $5.45 \pm 0.31$  W/cm<sup>2</sup> with a current density of 308.06 mA/cm<sup>2</sup>.

**Keywords** — Microbial fuel cells, waste, molasses, electrodes, electricity.

### I. INTRODUCCIÓN

La actividad humana ha contribuido en gran parte al calentamiento global durante el último siglo, debido principalmente a la quema de combustible fósil para la generación de energía eléctrica [1]. Debido a esto muchos

grupos de investigación se han dedicado con gran esfuerzo a la búsqueda de nuevas formas generar electricidad disminuyendo o eliminando la generación de los gases de efecto invernadero causantes del cambio climático [2].

La demanda de energía ha aumentado exponencialmente en las últimas décadas [1], siendo los combustibles fósiles una de las principales fuentes empleadas para la generación de energía representando alrededor del 80% del suministro energético mundial; debido a su constante producción y consumo [2] las reservas de combustibles fósiles han disminuido por lo que en las próximas décadas se agotaran [1], asimismo cabe mencionar que el uso de combustibles fósiles genera una serie de problemas ambientales entre los más significativos el calentamiento global a causa de la emisión de gases de efecto invernadero [2] y el cambio climático, problemas importantes a los cuales se enfrenta la humanidad [3].

Por estas razones, existe un gran interés en investigar sobre nuevas fuentes de energía sostenibles que sustituyan a los combustibles fósiles [1], es así como surgen las celdas de combustibles microbianas (CCM) una tecnología prometedora para satisfacer las crecientes necesidades energéticas [4], estos sistemas bioelectroquímicos emplean microorganismos como biocatalizadores que oxidan la materia orgánica en el ánodo y reducen el oxígeno o un compuesto aceptor de electrones adecuado en el cátodo, producto de ello se genera electricidad [5]. Existen diversos diseños de CCM por ejemplo las CCM de una sola cámara que presentan un diseño simple y de bajo costo en comparación a otros diseños, estas celdas poseen solo una

cámara anódica sin el requisito de aireación en una cámara catódica [6].

Cabe mencionar que la generación de energía en las CCM depende de diversos factores como su configuración [7] tipos de electrodos, tipos de membrana [8], función microbiana y tipo de sustrato. Es importante resaltar que las CCMs presentan diversas ventajas en relación a otros sistemas de generación de energía ya que operan a temperatura ambiente o bajas temperaturas, generan menor cantidad de CO<sub>2</sub>, no requieren aporte de energía siempre que el cátodo sea aireado [9] se pueden emplear una amplia gama de sustratos, dentro de los cuales destacan las aguas residuales [4], los desechos orgánicos complejos solubles o disueltos [10] como por ejemplo la melaza, un subproducto de la industria azucarera [11] que se genera como resultado de la refinación de los azúcares procedentes de la caña de azúcar, este es un líquido denso y viscoso de color oscuro [12].

En tal aspecto en muchas regiones del mundo la caña de azúcar es de suma importancia en la economía por su versatilidad y capacidad de adaptación a diferentes condiciones climáticas [13]. Es así que a nivel mundial en el año 2019 se generó un total de 194 millones de toneladas de caña de azúcar en un área cosechada de 26 millones de hectáreas, la mayor parte de esta producción se concentró en América con un 52.1% seguido de Asia con un 40.2% y África con un 5.5%; en cuanto a los países destacan Brasil, India y China con las producciones más significativas [14].

En el Perú la caña de azúcar es cultivada en las tres regiones, costa, sierra y selva, debido a las condiciones agroclimáticas esta planta se siembra y cosecha durante todo el año [15]. En el primer trimestre del año 2019, la producción en el Perú alcanzó 2,5 millones de toneladas, entre los departamentos destacan La Libertad (41%) y Ancash (6%) [16]. Dentro de este contexto cabe mencionar que el cultivo de la caña de azúcar genera residuos agrícolas como el cogollo y hojas verdes (8%), vainas y hojas secas (20%), y subproductos industriales tales como la melaza [13] un residuo el cual puede aprovecharse como sustrato en las CCMs para la generación de bioelectricidad [8].

Existen diversas investigaciones acerca de este tema en cuestión, por ejemplo, Hassan et al. [8] demostró la posibilidad de producir bioelectricidad a partir de melaza de caña de azúcar usando CCMs, para ello aisló e identificó una cepa bacteriana (*Brevibacillus borstelensis* STR11) del sustrato la cual fue

empleada como biocatalizador, obteniendo como resultado 990 ± 5 mV en voltaje de circuito abierto y 453 ± 6 mV en voltaje de circuito cerrado (1000 U) después de 10 días de operación. En cuanto a la densidad de potencia obtuvo 188.5 mW/m<sup>2</sup> y las eficiencias calobióticas oscilaron de 59.8 a 28.03%, relacionado con concentraciones iniciales de 0.3 ± 0.05 a 2.0 ± 0.15 g/ml. Finalmente se determinó la remoción de DQO fue de 11.7% a los 5 días y 81.7% a los 30 días.

Asimismo, Manjerkar et al. [17] investigó acerca de la generación de electricidad empleando melaza de caña de azúcar y desechos de cocina como combustible, en dicha investigación utilizó electrodos elaborados con malla de aluminio y bacterias contenidas intrínsecamente en los sustratos a emplear, obteniendo como resultado un potencial máximo de 365 mV en el caso de la melaza y 260 mV en el caso de los residuos de cocina, al mismo tiempo observó que al transcurrir los días el contenido de DBO y materia orgánica disminuía. Es así que la generación de electricidad usando como sustrato melaza un aspecto prometedor, ya que la melaza es un desperdicio fácilmente disponible para ser aprovechado.

En términos generales la utilización de diversos sustratos y microorganismos hacen de la producción de energía eléctrica en las celdas de combustible microbianas una tecnología sostenible y prometedora para la generación de bioenergía [18]. Sobre la base de estos hechos, esta investigación tiene como objetivo la fabricación de CCMs de una sola cámara utilizando electrodos de cobre (Cu) y zinc (Zn), utilizando como sustrato melaza de caña de azúcar. En las cuales se monitoreó los valores de voltaje, corriente, conductividad, pH, grafos Brix, densidad de corriente, densidad de potencia También se observó las biopelículas del electrodo catódico y anódico final y se realizó el recuento de levaduras en la muestra de melaza. Este trabajo de investigación se le dará un valor agregado a la melaza como una forma de generación de bioelectricidad ecoamigable con el medio ambiente.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Construcción de las celdas de combustible microbiana de una sola cámara

Las CCMs se construyeron utilizando tubos polimetilmetacrilato de 5 y 20 cm de diámetro y largo respectivamente, en los cuales electrodos de zinc (Zn) y cobre (Cu) de 5 y 0.05 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.

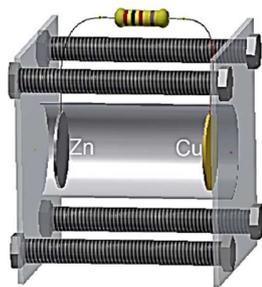


Fig. 1: Esquema del prototipo de las CCMs.

### B. Muestreo y análisis bioelectroquímicos

Se recolectó 1 litro de muestra de melaza en frascos herméticos procedentes de la Empresa Agroindustrial Laredo.

Se midió parámetros iniciales de pH, brix, voltaje, la corriente eléctrica, la potencia, la densidad de corriente, densidad de potencia, potencia volumétrica y recuento de levaduras

### C. Aislamiento e identificación de microorganismos

#### C.1. Aislamiento en medios solidos de bacterias provenientes de la cámara catódica

Se procedió a realizar hisopados de la placa del cátodo y se sembró por estría en medios de cultivos de agar Mac Conkey, Agar Nutritivo y Agar Sabouraud. Se incubaron a temperaturas de 35 y 44.5 °C (para el aislamiento de coliformes totales) y 30° para levaduras. El procedimiento para el aislamiento de los microorganismos se realizó por duplicado.

#### C.2. Identificación y cultivos axénicos

Los cultivos axénicos (o puros) se realizaron a partir de las colonias características para Gram negativos y levaduras. Se emplearon medios de cultivo de Agar Nutritivo inclinado contenido en tubos tapa rosca.

A partir del cultivo axénicos se procedió a realizar la identificación bioquímica. Se utilizó el sistema de identificación microbiana API 20 C AUX de BIOMERIEUX [19].

#### D. Caracterización Físico-Química de las CCMs

Las CCMs fueron monitoreadas por 30 días a temperatura ambiente ( $\sim 22 \pm 1.5$  °C), en las 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 Rojas et al. [19] 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  $\Omega$ ; 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 cm<sup>2</sup>. También se monitoreo la

conductividad (Conductivity meter CD-430), el pH (pH meter 110 series Oakton) y los grados Brix (RHB-32 brix refractometer)

### III. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la Fig. 2 (a) se muestran los valores promedios de los voltajes generados, durante un periodo de 30 días. Los valores de voltaje aumentaron progresivamente desde el primer día ( $0.832 \pm 0.098$  mV) hasta el día 12 ( $0.953 \pm 0.142$  mV), después de este día disminuyeron lentamente hasta el último día ( $0.551 \pm 0.275$  mV). Según An et al. (2017) demostró que la disminución de los valores generados de voltajes se debe principalmente a la disminución de los microorganismos generadores de electricidad debido a los parámetros de temperatura, pH, electrodos utilizados, etc [20]. Así también, Sreelekshmy et al. (2020) concluye que la acumulación de electrones en la superficie del ánodo y el crecimiento de bacterias se debe a la degradación de los compuestos orgánicos a través de la interacción de una gran variedad de microorganismos y los intermediarios como el CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>; así como la interrelación de las sustancias orgánicas por enoxoelectrogenos [21].

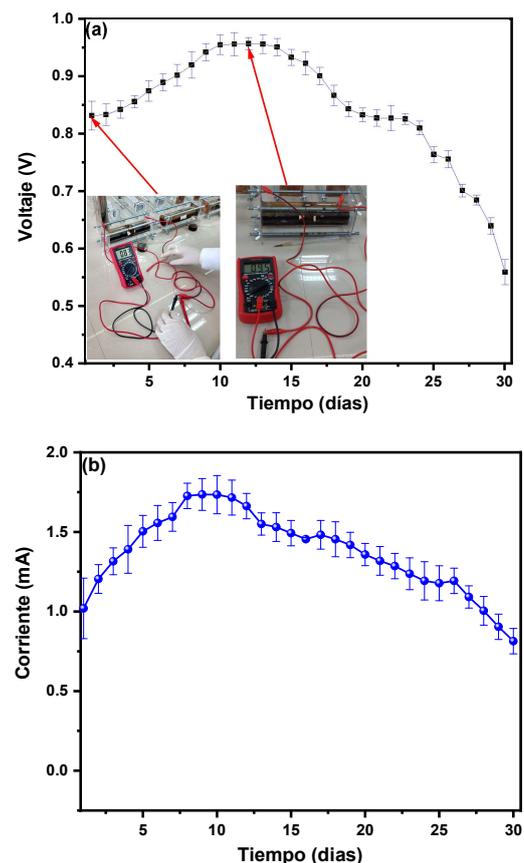


Fig. 2: Monitoreo de la generación de (a) voltaje y (b) corriente de las CCMs.

En la Fig. 2 (b) se muestra los valores generados de corriente de las CCMs durante un periodo de 30 días; cómo se puede apreciar los valores aumenta desde el primer día ( $1.012 \pm 0.21$  mA) hasta el día 15 ( $1.73 \pm 0.13$  mA) para luego decaer lentamente hasta el último día ( $0.81 \pm 0.172$  mA) de monitoreo. La capacidad de mantener la generación continua de electricidad puede deberse a la ilimitación en la disponibilidad de combustible en los primeros 15 días, en la etapa inicial de la operación de la CCM puede correlacionarse con el periodo de retraso de la formación de los microorganismos en la superficie del ánodo [22]. Así también, la biomasa muerta se acumula en el fondo de la CCM y en el interior de las fibras del ánodo produciendo incrustaciones obstruyendo los poros del electrodo anódico [23].

En la Fig. 3 (a) se muestra los valores promedios de pH de las CCMs, se observándose ligeros incrementos en los valores de pH desde un valor de 5.03 a  $5.81 \pm 0.34$ ; manteniéndose en los límites de ligeramente ácidos. Se logro observar que el pH optimo par una mayor generación de voltaje ( $0.953 \pm 0.142$  mV) fue de  $5.25 \pm 0.12$  en el día 12, como se puede observar en la Fig. 1 (a). Margaria et al. (2017) demostró que para diseño y sustrato diferente tiene un pH optimo en el cual genera un pico de voltaje y corriente, dependiendo básicamente de la pH óptimo para el crecimiento de los microorganismos generadores de esta propiedad [24]. Sreelekshmy et al. (2020) demostró que para celdas de doble cámara utilizando efluentes de aguas residuales como sustrato y electrodos de acero dopados con titanio; obtuvieron una mayor generación de voltaje ( $\sim 1100$  mV) en un pH alcalino y el cambio de esa variable hace que el rendimiento decaiga. Esto es debido a que cambia el estado de ionización de los grupos funcionales (carboxilo y amino) en la biopelícula bacteriana formada en el electrodo anódico [25].

En la Fig. 3 (b) se muestra los valores obtenidos de la conductividad de las CCMs durante 30 días, como se observa los valores aumentan desde el primer día ( $88.67 \pm 1.11$  mS/cm) hasta el día 22 ( $111.156 \pm 8.45$  mS/cm); luego de ese periodo decae hasta  $101.67 \pm 13.45$  mS/cm en el último día. Las variaciones de la conductividad iónica se deben principalmente a los procesos redox en el interfaz electrodo-electrolito, lo cual puede resultar en la reducción de la resistencia óhmica [26]. En la Fig. 3 (c) se muestra los valores de los grados Brix, como se puede observar los valores decaen desde el cuarto día ( $20.07 \pm 0.57$  ° Brix) hasta el día 30 ( $11.33 \pm 2.18$  ° Brix), en función al avance del tiempo. Cabe mencionar que la melaza contiene una serie de azúcares como la sacarosa, glucosa, fructosa, rafinosa y numerosos materiales orgánicos distintos del azúcar [27]. Durante el proceso de fermentación los azúcares disminuyen gradualmente con el tiempo debido a su consumo por las levaduras [28].

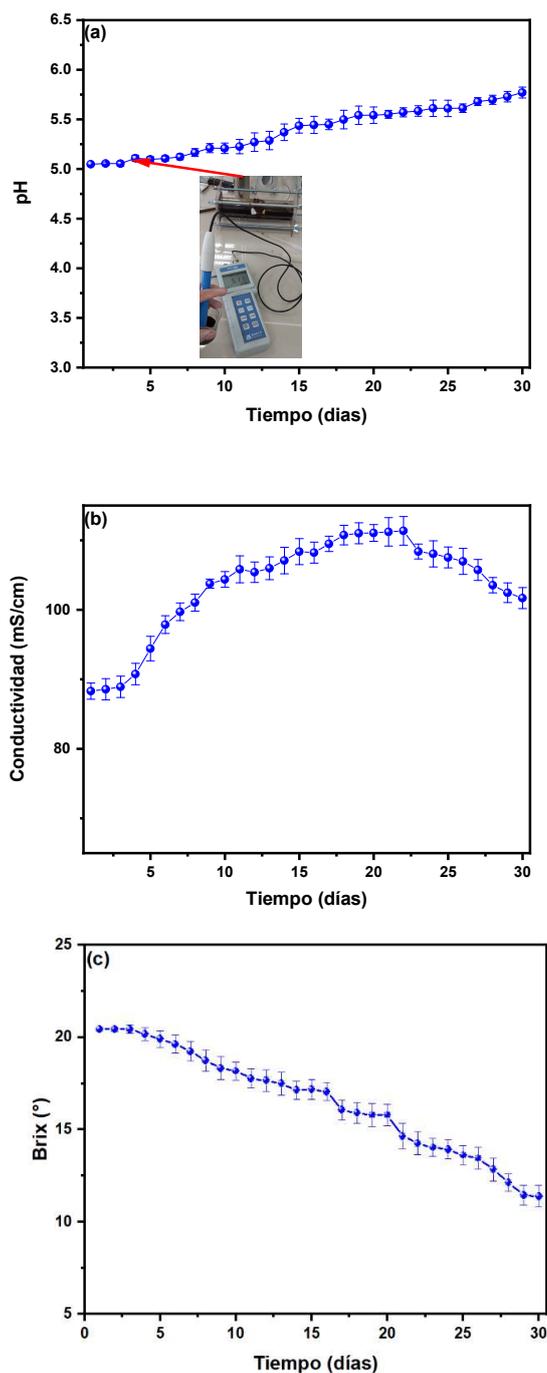


Fig. 3: Monitoreo de los valores de (a) pH (b) conductividad y (c) grados Brix de las CCMs durante 30 días.

En la Fig. 4 se muestran los valores de la densidad de potencia (DP) y densidad de corriente (DC) de las celdas de combustible microbiana. La  $DP_{MAX}$  mostrada fue de  $5.45 \pm 0.31$  W/cm<sup>2</sup> en una DC de 308.06 mA/cm<sup>2</sup>, con un voltaje pico de  $0.934 \pm 0.081$  V. Los valores obtenidos en este trabajo

superan a lo investigado por Gazali et al. (2020) en el cual utilizo desechos de frutas de caqui y desechos orgánicos mezclados como sustrato (combustible, obteniendo una  $DP_{max}$  de  $0.162 \text{ W/m}^2$  en una DC de aproximadamente  $1.4 \text{ A/m}^2$  con un voltaje pico de  $0.22 \text{ V}$  [29]. De la misma forma Moharir et al, [30] genero menores valores de DP ( $974.89 \text{ mW/m}^3$ ) y DC ( $\sim 85 \text{ mA/cm}^2$ ) utilizando desechos lixiviados de alimentos como sustrato en celdas de dos tipos de circulación de aire y sin circulación; pero demostró que las celdas con circulación de aire se puede generar mayores valores de DP y DC [30].

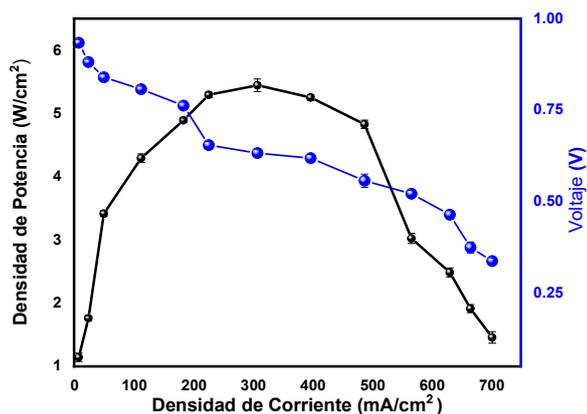


Fig. 4: Valores de densidad de corriente y densidad de potencia de las CCMs.

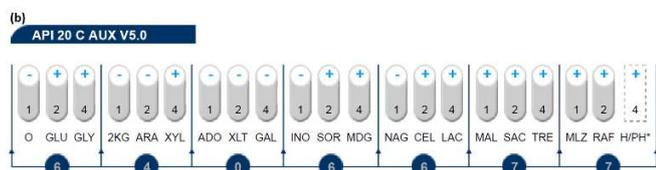
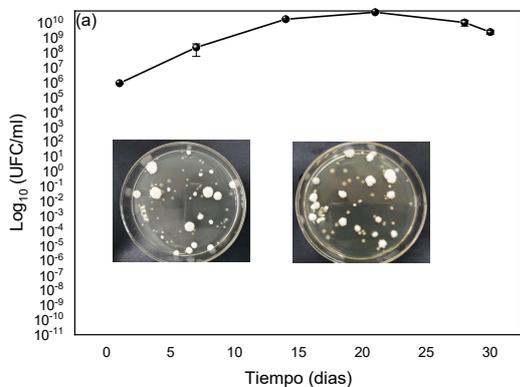


Fig. 5: Valores del (a) Recuento de Levaduras y del (b) API 20 C AUX.

## CONCLUSIONES

Se logro exitosamente generar bioelectricidad a partir de residuos de melaza mediante celdas de combustible microbiana de bajo costo, utilizando electrodos de Zn y Cu. El voltaje y corriente pico generado fue de  $0.953 \pm 0.142 \text{ mV}$  en el día 12 y  $1.73 \pm 0.13 \text{ mA}$  en el día 15 respectivamente. Los valores de pH se mantuvieron ligeramente ácidos durante el tiempo de monitoreo, mientras que los valores de conductividad aumentaron progresivamente hasta llegar a un valor máximo de  $111.156 \pm 8.45 \text{ mS/cm}$  y los grados Brix disminuyeron progresivamente desde el primer día. La densidad de potencia máxima encontrada fue de  $5.45 \pm 0.31 \text{ W/cm}^2$  en una densidad de corriente de  $308.06 \text{ mA/cm}^2$ ; con un voltaje pico de  $0.934 \pm 0.081 \text{ V}$ . *C. pelliculosa* fue identificada por medio del sistema de identificación microbiana API 20 C AUX, con un 98.9 % de certeza.

Este trabajo de investigación da a las empresas azucaras una utilidad a sus residuos de melaza para la generación de electricidad, logrando reducir los costos de uso de electricidad; al mismo tiempo dando una solución ecoamigable a la sociedad.

## REFERENCIAS

- [1] Kapdan, I. & Kargi, F. (March, 2006). Bio-hydrogen production from waste materials. *Enzyme and Microbial Technology* (569–582). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2005.09.015>
- [2] Goldemberg, J. (September, 2007). Ethanol for a Sustainable Energy Future. *Science* (5813). Retrieved from <https://science.sciencemag.org/content/315/5813/808.full>
- [3] Milne, J., Seowou, P., Sykes, L. & Altawell, N. (2020). Energy's general introduction (fossil fuels & renewable energy). En J. Milne, P. Seowou, L. Sykes, N. Altawell. Autores. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822403-8.00001-1>
- [4] Lu, N., Zhou, S., Zhuang, L., Zhang, J., & Ni, J. (March, 2009). Electricity generation from starch processing wastewater using microbial fuel cell technology. *Biochemical Engineering Journal* (246–251). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.bej.2008.10.005>
- [5] Ramasamy, R. (2015). Bioelectrochemical Energy Conversion Technologies. *The Electrochemical Society Interface* (82). Retrieved from [https://www.electrochem.org/dl/interface/fal/fal15/fal15\\_p53.pdf](https://www.electrochem.org/dl/interface/fal/fal15/fal15_p53.pdf)
- [6] Du, Z., Li, H., & Gu, T. (May, 2007). A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy. *Biotechnology Advances* (464–482). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.05.004>
- [7] Logan, B., Hamelers, B., Rozendal, R., Schröder, U., Keller, J., Freguia, S., Aelterman, P., Verstraete, W., Rabaey, K. (July, 2006). Microbial Fuel Cells: Methodology and Technology. *Environmental Science & Technology* (5181–5192). Retrieved from <https://doi.org/10.1021/es0605016>
- [8] Hassan, S., Zohri, A., & Kassim, R. (April 2019). Electricity Generation from Sugarcane Molasses Using Microbial Fuel Cell Technologies. *Energy* (538–543). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.087>
- [9] Revelo, M., Hurtado, H. y Ruiz, J. (Mayo, 2013). Celdas de combustible microbianas (CCMs): un reto para la remoción de materia orgánica y la generación de energía eléctrica. *SciELO*. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000600004>
- [10] Pant, D., Van Bogaert, G., Diels, L., & Vanbroekhoven, K. (March, 2010). A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable energy production. *Bioresour Technol* (1533–1543). Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.017>
- [11] Vega, J., Delgado, K., Sibaja, M. y Alvarado, P. (2007). Uso alternativo de la melaza de la caña de azúcar residual para la síntesis de espuma rígidas

- de poliuretano (ERP) de uso industrial. *Tecnología, Ciencia, Educación* (107). Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/482/48222207.pdf>
- [12] Ossa, A., Vanegas, C., Badillo, M. (Marzo, 2010). Evaluación de la melaza de caña como sustrato para el crecimiento de *Lactobacillus plantarum*. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* (97-104). Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v13n1/v13n1a11.pdf>
- [13] Lagos, E. y Castro, E. (2019). Caña de azúcar y subproductos de la agroindustria azucarera en la alimentación de rumiantes. *Agronomía Mesoamericana*. Recuperado de <https://www.redalyc.org/jatsRepo/437/43760145020/html/index.html>
- [14] Datos estadísticos del cultivo y producción de caña de azúcar. (2019). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- [15] Producción mundial caña de azúcar. (2015). Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Recuperado de <http://minagri.gob.pe/portal/objetivos/29-sector-agrario/azucar/243-produccion>
- [16] Observatorio de commodities: Azúcar. (Enero, 2019). Ministerio de Agricultura y Riego. Recuperado de [https://repositorio.minagri.gob.pe/bitstream/MINAGRI/96/1/commodities\\_azucar\\_marzo2019.pdf](https://repositorio.minagri.gob.pe/bitstream/MINAGRI/96/1/commodities_azucar_marzo2019.pdf)
- [17] Manjekar, Y., Kakkar, S., & Durve, A. (January, 2018). Bio-Electricity Generation Using Kitchen Waste And Molasses Powered MFC. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology* (181–187). Retrieved from <http://ijrsrset.com/paper/4690.pdf>
- [18] Sivasankar, V., Mylsamy, P., Omine. (2018). Microbial Fuel Cells: Fundamentals, Types, Significance and Limitations. En B. Bruno, D. Jothinathan and M. Rajkumar. Autores. *Microbial Fuel Cell Technology for Bioelectricity*. Retrieved from [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92904-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92904-0_2)
- [19] Rojas-Flores, S., Noriega, M. D. L. C., Benites, S. M., Gonzales, G. A., Salinas, A. S., & Palacios, F. S. (2020). Generation of bioelectricity from fruit waste. *Energy Reports*, 6, 37-42.
- [20] 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.
- [21] Sreelekshmy, B. R., Basheer, R., Sivaraman, S., Vasudevan, V., Elias, L., & Shibli, S. M. A. (2020). Sustainable electric power generation from live anaerobic digestion of sugar industry effluents using microbial fuel cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 8(12), 6041-6056.
- [22] Yuvraj, C., & Aranganathan, V. (2017). MFC—An Approach in Enhancing Electricity Generation Using Electroactive Biofilm of Dissimilatory Iron-Reducing (DIR) Bacteria. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 42(6), 2341-2347.
- [23] Kang, Y. L., Pichiah, S., & Ibrahim, S. (2017). Facile reconstruction of microbial fuel cell (MFC) anode with enhanced exoelectrogens selection for intensified electricity generation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(3), 1661-1671.
- [24] Margaria, V., Tommasi, T., Pentassuglia, S., Agostino, V., Sacco, A., Armato, C., ... & Quaglio, M. (2017). Effects of pH variations on anodic marine consortia in a dual chamber microbial fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(3), 1820-1829.
- [25] Sreelekshmy, B. R., Basheer, R., Sivaraman, S., Vasudevan, V., Elias, L., & Shibli, S. M. A. (2020). Sustainable electric power generation from live anaerobic digestion of sugar industry effluents using microbial fuel cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 8(12), 6041-6056.
- [26] Marashi, S. K. F., & Kariminia, H. R. (2015). Performance of a single chamber microbial fuel cell at different organic loads and pH values using purified terephthalic acid wastewater. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 13(1), 27.
- [27] Chikhoun, A., Bedjou, F., Oubouzi, S., Boukefoussa, R., Bechri, B., Tarmoul, H., Abdeladim, T., Tounsi, A., Hamitri, M., Chikh, S., & Kouadri, L. (2014). Development of Sugar Cane Molasses in Formulations of Madeleines, Mini Croissants, and Buns Incorporated with Interesterified Oil. *Journal of Chemistry*, 2014, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2014/936780>.
- [28] Dumont, A., Raynal, C., Raginel, F., Ortiz-Julien, A., Suarez, C., & Heras, J. (n.d.). CAPACIDAD DE LAS LEVADURAS ENOLÓGICAS DE CONSUMIR FRUCTOSA. Retrieved January 29, 2021, from [http://www.enoreports.com/pdf/caracter\\_fructofilo.pdf](http://www.enoreports.com/pdf/caracter_fructofilo.pdf)
- [29] Gazali, T. A., & Moqsud, M. A. Microbial Fuel Cells for Bioelectricity Generation from Persimmon Fruit Waste and organic Wastes Mixing With Soils.
- [30] Moharir, P. V., & Tembhurkar, A. R. (2018). Effect of recirculation on bioelectricity generation using microbial fuel cell with food waste leachate as substrate. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(21), 10061-10069.
- [31] Shuler, M. (2002). *Bioprocess Engineering*. Washington: Pearson Education
- [32] Programa online de identificación de levadura. <https://apiweb.biomerieux.com/servlet/Identify>
- [33] Tan, B. H., Chakrabarti, A., Li, R. Y., Patel, A. K., Watcharananan, S. P., Liu, Z., ... & Riegman, P. (2015). Incidence and species distribution of candidaemia in Asia: a laboratory-based surveillance study. *Clinical Microbiology and Infection*, 21(10), 946-953.