

Generation of electricity through yeast *Galactomyces sp.*

Generación de bioelectricidad a través de levadura *Galactomyces sp.*

De La Cruz –Noriega M.^{1*}, Rojas-Flores S.¹, R. Nazario-Naveda¹, Santiago M. Benites¹, D. Delfín-Narciso², Juan Vives-Garnique³

¹Vicerrectorado de Investigación, Universidad Autónoma del Perú, Lima 15842, Peru; segundo.rojas.89@gmail.com; scored731@gmail.com;

²Grupo de Investigación en Ciencias Aplicadas y Nuevas Tecnologías, Universidad Privada del Norte, Trujillo, 13007, Perú.; daniel.delfin@upn.edu.pe

³Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica Eléctrica, Universidad Señor de Sipán; jvives@crece.uss.edu.pe

Abstract—In the search for new fuels capable of generating electrical energy in a sustainable and environmentally friendly way, this research used the yeast *Galactomyces sp* in low-cost, laboratory-scale microbial fuel cells to provide a new innovative solution. Microbial fuel cells were made of polyethylene with zinc and copper electrodes as anode and cathode, respectively. Managing to generate peak values of current and voltage in open circuit of 4.23033 ± 0.3102 mA and 0.7522 ± 0.03573 V, with an optimal pH of 7.84772 ± 0.21744 and peak electrical conductivity of the substrate of 58.89078 ± 2.51661 mS/cm. Similarly, the power density displayed was 4.749 ± 0.294 W/cm² with a current density of 351.086 mA/cm². Finally, the microbial fuel cells were connected in series, generating 2.60 V and turning on a green led light. Giving in this way a new and promising use of this yeast to generate electricity

Keywords— *Galactomyces sp*, generation, voltage, current, yeast.

Resumen— En la búsqueda de nuevos combustibles capaces de generar energía eléctrica de forma sostenible y amigable con el medio ambiente, esta investigación utilizó la levadura *Galactomyces sp* en celdas de combustible microbiana a escala de laboratorio y bajo costo, para dar una nueva solución innovadora. Las celdas de combustible microbiana se fabricaron de polietileno con electrodos de zinc y cobre como ánodo y cátodo, respectivamente. Logrando generar valores picos de corriente y voltaje en circuito abierto de 4.23033 ± 0.3102 mA y 0.7522 ± 0.03573 V, con un pH óptimo de 7.84772 ± 0.21744 y conductividad eléctrica pico del sustrato de 58.89078 ± 2.51661 mS/cm. De la misma forma, la densidad de potencia mostrada fue 4.749 ± 0.294 W/cm² con densidad de corriente de 351.086 mA/cm². Por último, las celdas de combustible microbiana se conectaron en serie, generando 2.60 V y logrando encender un foco led verde. Dando de esta forma una nueva y un prometedor uso de esta levadura para generar electricidad.

Palabras claves— *Galactomyces sp*, generación, voltaje, corriente, levadura.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas factores como la industrialización, el desarrollo económico y el aumento poblacional han traído

consigo diversas problemáticas [1] entre las más resaltantes el calentamiento global y el cambio climático, debido al aumento de la demanda de energía, lo que ha tenido un impacto ambiental significativo debido a la emisión de gases de efecto invernadero en consecuencia de la utilización de los combustibles fósiles [2]. En respuesta a esta problemática han surgido a lo largo de los años diversas alternativas para la generación de energía limpia, dentro de estas tecnologías se encuentran las celdas de combustibles microbianas (CCM), sistemas bioelectroquímicos que generan electricidad a partir de la interacción de microorganismos que participan en el proceso de descomposición de la materia orgánica presente en los sustratos utilizados en las CCM, generando electrones [3]; la singularidad de estos sistemas reside en el hecho de su potencial para la generación de electricidad y el tratamiento de aguas residuales [4].

Las CCMs presentan diversas configuraciones entre ellas las más conocidas son las celdas de combustible microbianas de doble cámara que constan de dos cámaras, una anódica donde los microorganismos degradan la materia orgánica generándose electrones los cuales viajan a través de un circuito hacia el cátodo [5]; cabe mencionar que dentro de estos sistemas se suele emplear el oxígeno como aceptor de electrones ya que posee un alto potencial de oxidación y a su fácil disponibilidad [4]. Asimismo, otra configuración que se presenta son las CCM de una sola cámara, así como también otras innovaciones como las CCM de placa plana, biosolar, apilada y las CCM de lecho compacto para funcionamiento continuo, entre otras [5]. Existen diversos factores que influyen en el desempeño de las CCM, entre ellos los combustibles (sustrato) que se pueden emplear, es así que se han investigado una serie de sustratos desde los más sencillos los cuales son fáciles de degradar como el acetato y la glucosa, a sustratos más complejos como las aguas residuales, biomasa vegetal residual como los residuos agrícolas, sustratos que contribuyen a establecer una comunidad microbiana diversa y electroquímicamente activa [6]. Además de ello los microorganismos también juegan un papel importante en el funcionamiento y desempeño de las

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.520>
ISBN: 978-628-95207-0-5 **ISSN:** 2414-6390

CCM, ya que son los encargados de descomponer la materia orgánica para generar protones y electrones, los microorganismos empleados dentro de las CCM pueden ser los microbios presentes de forma natural en los sustratos, así como también microorganismos cultivados artificialmente [3].

En tal sentido microorganismos como las levaduras destacan ya que se consideran biocatalizadores ideales en las CCM debido a que poseen la capacidad de metabolizar una amplia gama de sustratos, por ejemplo, especies como la *Candida melibiosica*, *Hansenula anomala* y *Saccharomyces cerevisiae* [7] siendo esta última especie muy utilizada; en un estudio realizado por Permana et al., evaluó el rendimiento de las CCM con y sin el azul de metileno como mediador de electrones utilizando *Saccharomyces cerevisiae* como biocatalizadores y glucosa como sustrato para generar electricidad. A partir de lo cual se produjo $5,5 \times 10^{-5}$ A de corriente, 0,886 V de potencial, $4,48 \times 10^{-3}$ W/m² de densidad de potencia y $4,14 \times 10^{-3}$ J de energía, obteniéndose dichos resultados con la utilización del mediador [8].

Así mismo se han empleado otros microorganismos dentro de las CCM como por ejemplo la levadura *Galactomyces* un género de hongos perteneciente a la familia Dipodascaceae [9] que presenta hifas de soporte de gametangios y conidios de *Geotrichum* formados en colonias blancas y lisas, habitualmente esta especie se encuentra en el suelo, el agua, el aire, así como también en frutas y verduras como las uvas, los plátanos, los cítricos, los tomates y en productos lácteos [10].

Estudios han mostrado que la levadura *Galactomyces* sp. posee la capacidad de crecer entre niveles pH 2,5 y pH 7,0, llegando a sobrevivir hasta pH 2,0 [11]. En cuanto a sus aplicaciones esta especie destaca en la industria de la belleza por sus propiedades [12], es así que el filtrado de fermento de esta levadura es empleado como agente hidratante [13]. Asimismo, esta especie es utilizada en la industria alimentaria debido a su actividad bioquímica [14].

También se han empleado en la biotecnología, Chaijak et al. investigaron el mejoramiento de la generación de electricidad mediante CCM a partir de la utilización de la levadura *Galactomyces reessii*, productora de laca, como biocatalizador, dentro de las CCM se emplearon aguas residuales de caucho como sustrato, se produjo una densidad de potencia y de corriente fue de 59 mWm⁻² y 253 mA m⁻², asimismo se generó una tensión de 250 mV, corriente y un aumento del 70% del potencial de la media celda [15]. En tal sentido se demuestra que los hongos poseen un gran potencial de actuar como electrógenos o catalizadores catódicos, por lo cual son capaces de generar electricidad como resultado de sus procesos metabólicos [16].

Dentro de este contexto cabe mencionar que el objetivo de esta investigación es evaluar la generación de electricidad, utilizando como sustrato a la levadura *Galactomyces* sp en

medio mínimo de Sales, en un tipo de celda de combustible microbiana de una sola cámara fabricadas a bajo costo, con electrodos de Zn-Cu, monitoreando su voltaje, pH, conductividad, corriente, densidad de corriente y potencia durante 15 días. Esta investigación dará un nuevo uso de este tipo de levadura ecoamigable con el medio ambiente ayudando a contrarlar el efecto invernadero.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1 Construcción de las celdas de combustible microbiana de una sola cámara

Las celdas de combustible microbiana fabricadas, tres en total, fueron de recipientes de polietileno, a las cuales se le realizó un orificio de 10 cm² a un extremo de forma cuadrada de aproximadamente 144 cm² para colocar electrodo catódico (Cobre, Cu). El electrodo anódico (Zinc, Zn) fue colocado en el interior de la celda y ambos electrodos fueron unidos por un circuito externo con una resistencia interna de 100 Ω .

2.2 Aislamiento de la levadura:

Se tomó una alícuota de muestra de jugo de uva fermentada y se sembró por la técnica de agotamiento por estría, en el medio Agar Saouraud, incubándose a 30 °C por 48 horas. Transcurrido el tiempo se observó colonias aisladas la cual se realizó una coloración Gram para verificar la pureza de la cepa [17].

Para luego resembrarla en tubos inclinados con Agar Sabouraud Dextrosa para su posterior identificación.

2.3 Identificación Molecular de *Galactomyces* sp

La identificación molecular fue realizada por el Centro de Análisis e Investigación del laboratorio "Biodes Laboratorios". Por ello, se envió un cultivo puro de la levadura, la cual se le realizará la extracción de material genético (ADN) mediante el método de extracción CTAB [21] y luego los productos de la PCR fueron secuenciados en el laboratorio Macrogen (EEUU) [22], posteriormente se analizaron en el Software bioinformático MEGA X (Molecular Evolutionary Genetics Analysis) y luego ser alineadas y comparadas con otras secuencias en el programa bioinformático BLAST (Basic Local Alignment Search Tool) para obtener el porcentaje de identidad para la identificación de hongos. Las regiones secuenciadas y analizadas en el programa BLAST obtuvo un porcentaje de identidad del 95.68 % la cual corresponde a la especie *Galactomyces* sp (Tabla 1).

III. ANALISIS Y RESULTADOS

TABLA 01: Caracterización BLAST de la secuencia del ADN_r de la levadura aislada de la placa del ánodo de la CCM.

BLAST Characterization	Length of Consensus Sequence (nt)	% Maximum Identidad	Accession Number	Phylogeny
Galactomyces sp.*	337	95.68	MK381259.1	Cellular organisms; Eukaryota; Opisthokonta; Fungi; Dikarya; Ascomycota; saccharomyceta; Saccharomycotina; Saccharomycetes; Saccharomycetales; Dipodascaceae; Geotrichum

2.4 Preparación del inóculo para la Celda de Combustible Microbiana

A partir de un cultivo de 24 horas de *Galactomyces* sp se realizó una suspensión en 20 ml de solución salina fisiológica estéril (SSFE) de 0.85%, ajustando al con el tubo N° 3 de Mc Farland (9×10^8 UFC/ml) y se agregó en 80 ml de medio mínimo mineral tamponado con buffer de fosfatos, de acuerdo a la siguiente composición (g/L): CaCl₂, 0.01; KH₂PO₄, 3; NH₄Cl, 1; Na₂HPO₄, 6; NaCl, 0.5; MgSO₄·7H₂O, 0.246, luego se homogenizó y se repartió equitativamente en las celdas de combustión microbiana. Todo el proceso se llevó a cabo a temperatura ambiente ($20 \pm 2^\circ\text{C}$). Se realizó por triplicado [22].

2.5 Caracterización de las celdas de combustible microbiana.

La caracterización diaria de corriente y voltaje se realizaron mediante un multímetro, marca Prasek Premium PR-85, y una resistencia externa de 100 Ω. Por otro lado, los valores de densidad de corriente (DC) y densidad de potencia (DP) fueron realizados mediante resistencias externas 10 ± 0.2 , 40 ± 2.3 , 50 ± 2.7 , 100 ± 3.2 , 300 ± 6.2 , 390 ± 7.2 , 560 ± 10 , 680 ± 12.3 , 820 ± 14.5 , 1000 ± 20.5 Ω; mediante la fórmula $DC=I/A$ y $DP=IV/A$ [23], donde I es la corriente con diferentes resistencias externas, V es el voltaje de las celdas a circuito abierto y A el área (144 ± 5.2 cm²). El monitoreo de los cambios de la conductividad (conductivity meter CD-4301) y el pH (pH- meter 110 Series Oakton) también fueron medidas.

En la Fig 01(a) se registra las características microscópicas hifas verdaderas, gruesas, que se tabican formando numerosos arthroconidios rectangulares [18], mientras que en la Fig 01(b) se observó las características macroscópicas colonias blancas, levaduriforme alrededor de la colonia se genera hifas sumergidas al medio que da la apariencia como vidrio esmerilado [19-20].

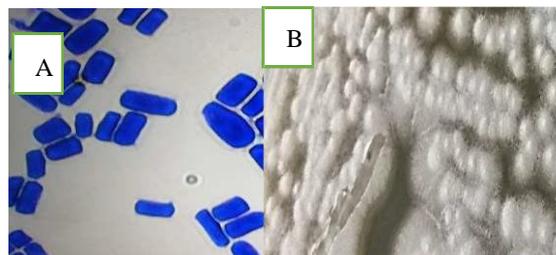


Fig. 01: a) Microscopía de *Galactomyces* sp mediante coloración Gram(100 X) y b) Vista macroscópica de colonias de *Galactomyces* sp en Agar Sabouraud Dextrosa usando un fondo oscuro.

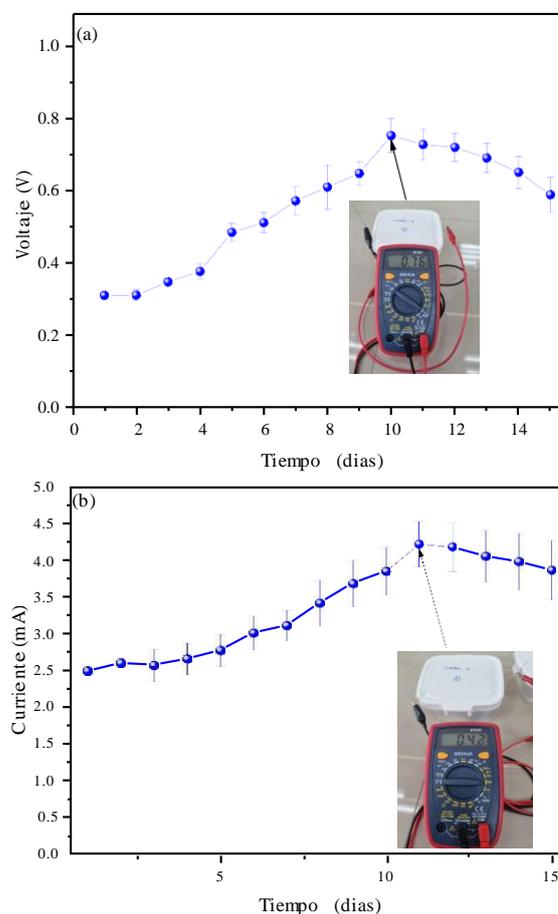


Fig. 02: Valores de (a) voltaje y (b) corriente de las celdas de combustible microbiana.

Los valores de voltaje mostrados en la Fig. 02 (a) se observa un incremento de los valores hasta el décimo día (0.7522 ± 0.03573 V) para después decaer hasta el último día (0.5884 ± 0.04755) de monitoreo. Las variaciones de voltaje del sustrato pueden estar influenciadas por el desarrollo de microorganismos en las CCMs, como por ejemplo, desde los sustratos utilizados pueden o no degradarse fácilmente, que afecta el crecimiento de microorganismos [24-25]. Mientras que la Fig. 02 (b) se muestran los valores de corriente generados en monitoreo de quince días; los valores de corriente aumentan desde el primer día (2.49293 ± 0.03512 mA) hasta el onceavo día (4.23033 ± 0.3102 mA) para después disminuir hasta el último día (3.87238 ± 0.40041 mA) de monitoreo. Debido a esto la generación de electricidad se debe principalmente a la oxidación del sustrato (levadura *Galactomyces* sp.) donde se producen electrones y son captados por el electrodo anódico, y pasan al electrodo catódico generando un flujo de electrones [26].

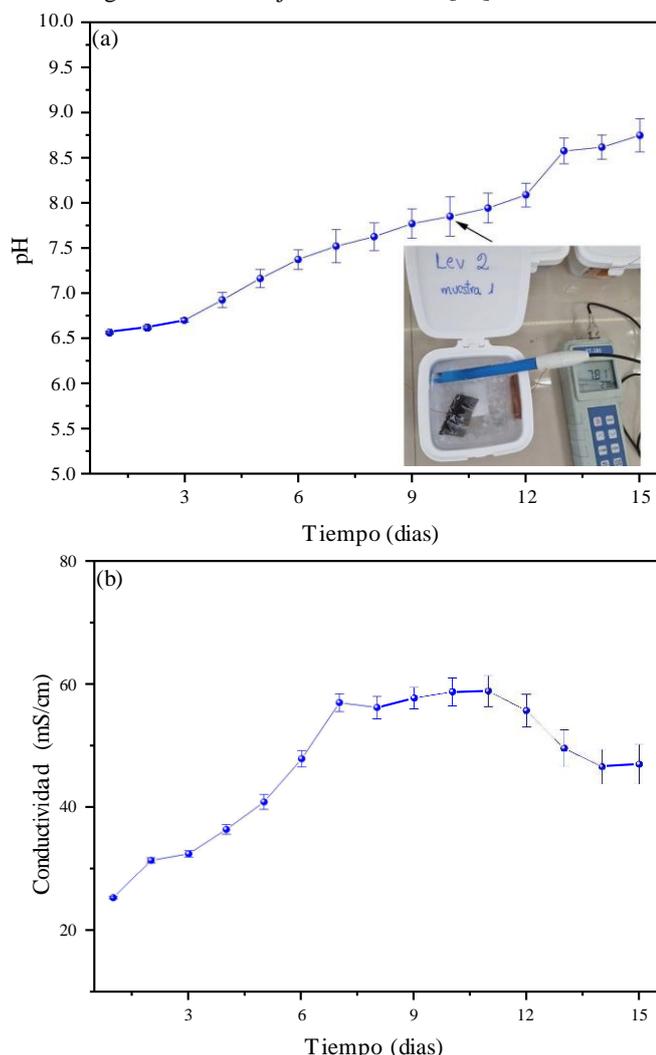


Fig. 03: Monitoreo de los valores de (a) pH y (b) conductividad de las celdas de combustible microbiana.

En la Fig. 03 (a) se observa los valores de pH monitoreados durante los 15 días, mostrando valores desde ligeramente ácido hasta ligeramente básico. El pH óptimo para esta levadura dentro de las celdas de combustible microbiana fue de aproximadamente 7.84772 ± 0.21744 . Los aumentos de pH se deben principalmente a los diferentes componentes del sustrato en cuanto a la microbiota y componentes estructurales, como la glucosa, causantes de la generación eléctrica [27]. Mientras que en la Fig. 03 (b) se muestra los valores de la conductividad eléctrica del sustrato, donde se puede observar el incremento desde el primer día (25.229 ± 0.173) hasta el onceavo día (58.89078 ± 2.51661 mS/cm) para luego decaer lentamente hasta el último día (47.00623 ± 3.2015 mS/cm). El aumento de la conductividad eléctrica se debe a la reducción de la resistencia interna del sustrato utilizado [28].

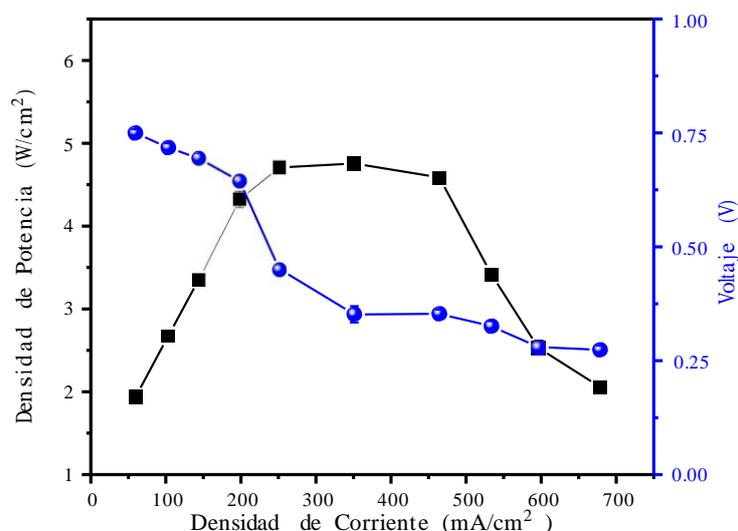


Fig. 04: Valores de densidad de potencia, densidad de corriente y voltaje.

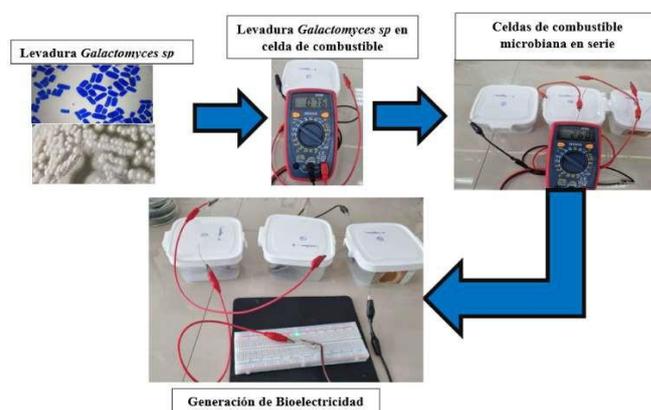


Fig. 05: Esquemización del proceso de generación de Bioelectricidad a través de celdas de combustible microbiana.

En la Fig. 04 se observa los valores de la densidad de potencia (DP) y voltaje en función de la densidad de corriente (DC), siendo su DP_{MAX} de $4.749 \pm 0.294 \text{ W/cm}^2$ en una DC de 351.086 mA/cm^2 con un voltaje pico de $0.7547 \pm 0.0245 \text{ V}$. Aunque no existe reportes sobre el uso de esta levadura, se puede comparar las densidades de potencia con otro tipo de microorganismos, por ejemplo, Negassa et al. (2021) trabajó con *Geobacter* spp. logrando generar picos máximos de DP de 0.35 W/m^2 siendo éste un valor menos que el nosotros reportamos [29]. En la Fig. 05 se muestra el proceso de generación de energía eléctrica, conectadas en serie, donde se logró generar picos de 2.60 V conectadas en serie lo suficiente para encender un foco led verde.

IV. CONCLUSIONES

Se logro fabricar celdas de combustible microbiana a bajo costo, utilizando electrodos de Zinc y Cobre, y generar bioelectricidad usando como combustible a la levadura *Galactomyces* sp la cual fue identificada molecularmente. Siendo el voltaje y corriente máxima de $0.7522 \pm 0.03573 \text{ V}$ y $4.23033 \pm 0.3102 \text{ mA}$ en el décimo y onceavo día, respectivamente. De ésta forma, el pH óptimo generado fue de 7.84772 ± 0.21744 y la conductividad máxima del sustrato mostrado fue de $58.89078 \pm 2.51661 \text{ mS/cm}$ en el onceavo día. Las celdas mostraron una densidad de potencia máxima de $4.749 \pm 0.294 \text{ W/cm}^2$ para una densidad de corriente de 351.086 mA/cm^2 en un voltaje pico de $0.7547 \pm 0.0245 \text{ V}$. Finalmente se conectaron las tres celdas de combustible microbiana fabricadas en serie, logrando generar 2.60 V y encender un foco led verde. Esta investigación da los primeros inicios sobre la utilización de la levadura *Galactomyces* sp en la generación de energía eléctrica.

REFERENCIAS

[1] Sarkodie, S. A., Owusu, P. A., & Leirvik, T. (2020). Global effect of urban sprawl, industrialization, trade and economic development on carbon dioxide emissions. *Environmental Research Letters*, 15(3), 034049. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab7640>

[2] Yoro, K. O., & Daramola, M. O. (2020). CO2 emission sources, greenhouse gases, and the global warming effect. *Advances in Carbon Capture*, 3–28. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819657-1.00001-3>

[3] Dutta, K., & Kundu, P. P. (2018). Introduction to Microbial Fuel Cells. *Progress and Recent Trends in Microbial Fuel Cells*, 1–6. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64017-8.00001-4>

[4] Ucar, D., Zhang, Y., & Angelidaki, I. (2017). An Overview of Electron Acceptors in Microbial Fuel Cells. *Frontiers in Microbiology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.00643>

[5] Nandy, A., & Kundu, P. P. (2018). Configurations of Microbial Fuel Cells. *Progress and Recent Trends in Microbial Fuel Cells*, 25–45. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64017-8.00003-8>

[6] Pant, D., Van Bogaert, G., Diels, L., & Vanbroekhoven, K. (2010). A review of the substrates used in microbial fuel cells (MFCs) for sustainable

energy production. *Bioresource Technology*, 101(6), 1533–1543. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.10.017>

[7] Verma, M., & Mishra, V. (2021). Recent trends in upgrading the performance of yeast as electrode biocatalyst in microbial fuel cells. *Chemosphere*, 284, 131383. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131383>

[8] Permana, D., Rosdianti, D., Ishmayana, S., Rachman, S. D., Putra, H. E., Rahayuningwulan, D., & Hariyadi, H. R. (2015). Preliminary Investigation of Electricity Production Using Dual Chamber Microbial Fuel Cell (DCMFC) with *Saccharomyces Cerevisiae* as Biocatalyst and Methylene Blue as an Electron Mediator. *Procedia Chemistry*, 17, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.12.123>

[9] Sitepu, I., Enriquez, L., Nguyen, V., Fry, R., Simmons, B., Singer, S., Simmons, C., & Boundy-Mills, K. L. (2020). Ionic Liquid Tolerance of Yeasts in Family Dipodasaceae and Genus *Wickerhamomyces*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 191(4), 1580–1593. <https://doi.org/10.1007/s12010-020-03293-y>

[10] Sutton, B. C. (2014). FUNGI | Overview of Classification of the Fungi. *Encyclopedia of Food Microbiology*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-384730-0.00134-8>

[11] Zhou, J., Zheng, G., Zhou, L., Liu, F., Zheng, C., & Cui, C. The role of heterotrophic microorganism *Galactomyces* sp. Z3 in improving pig slurry bioleaching. (2013). *Environmental Technology*. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2012.679699>

[12] Miyamoto, K., Dissanayake, B., Omotezako, T., Takemura, M., Tsuji, G., & Furue, M. (2021). Daily Fluctuation of Facial Pore Area, Roughness and Redness among Young Japanese Women; Beneficial Effects of *Galactomyces* Ferment Filtrate Containing Antioxidative Skin Care Formula. *Journal of Clinical Medicine*, 10(11), 2502. <https://doi.org/10.3390/jcm10112502>

[13] Boissy, R. E. (2013). *Galactomyces* Ferment Filtrate Suppresses Reactive Oxygen Species Generation and Promotes Cellular Redox Balance in Human Melanocytes via Nrf2-ARE Pathway. *Sciforschenonline.org*. <http://dx.doi.org/10.16966/2576-2826.138>

[14] Naumova, E. S., Th. Smith, M., Boekhout, T., Hoog, G. S. de, & Naumov, G. I. (2001). *Antonie van Leeuwenhoek*, 80(3/4), 263–273. <https://doi.org/10.1023/a:1013038610122>

[15] Chaijak, P., Sukkasem, C., Lertworapreecha, M., Boonsawang, P., Wijasika, S., & Sato, C. (2018). Enhancing Electricity Generation Using a Laccase-Based Microbial Fuel Cell with *Yeast Galactomyces reessii* on the Cathode. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 28(8), 1360–1366. <https://doi.org/10.4014/jmb.1803.03015>

[16] Sekrecka-Belniak, A., & Toczyłowska-Mamińska, R. (2018). Fungi-Based Microbial Fuel Cells. *Energies*, 11(10), 2827. <https://doi.org/10.3390/en11102827>

[17] Ochoa, J. L., & Juárez, R. V. (2004). Las levaduras marinas como herramientas científica y biotecnológica. *Universidad y Ciencia*, (I), 39–50.

[18] Arenas, R. (2008). *Micología Médica Ilustrada*, Capítulo 31: Hialohifomicosis y feohifomicosis, McGrawHill: México, DF. Pag 316 – 317, 403 p.

[19] Larone, D. (2011) *Medically Important Fungi: A Guide To Identification*, Capítulo Yeast and Yeastlike Organisms, ASM Press: Washington, Dc. pag 154, 485p.

[20] Bonifaz, A. (2012) *Micología Médica Básica*, Capítulo 5: Hongos Contaminantes, 4 edición, McGrawHill: México. pag 64, 600p.

[21] Gustincich, S., Manfioletti, G., Del Sal, G., Schneider, C., & Carninci, P. (1991). A fast method for high-quality genomic DNA extraction from whole human blood. *Biotechniques*, 11(3), 298–300.

[22] Valenzuela-González, F., Casillas-Hernández, R., Villalpando, E., & Vargas-Albores, F. (2015). El gen ARNr 16S en el estudio de comunidades microbianas marinas. *Ciencias marinas*, 41(4), 297–313.

[23] Segundo, R. F., La Cruz-Noriega, D., Milly Otiniano, N., Benites, S. M., Esparza, M., & Nazario-Naveda, R. (2022). Use of Onion Waste as Fuel for the Generation of Bioelectricity. *Molecules*, 27(3), 625.

[24] 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).

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

- [25] Flores, S. R., Nazario-Naveda, R., Betines, S. M., De La Cruz-Noriega, M., Cabanillas-Chirinos, L., & Valdiviezo-Dominguez, F. (2021). Sugar Industry Waste for Bioelectricity Generation. *Environmental Research, Engineering and Management*, 77(3), 15-22.
- [26] Flores, S. R., Nazario-Naveda, R., Delfin-Narciso, D., Cardenas, M. G., Diaz, N. D., & Ravelo, K. V. (2021). Generation of Bioelectricity from Organic Fruit Waste. *Environmental Research, Engineering and Management*, 77(3), 6-14.
- [27] Li, X., Lu, Y., Luo, H., Liu, G., Torres, C. I., & Zhang, R. (2021). Effect of pH on bacterial distributions within cathodic biofilm of the microbial fuel cell with maltodextrin as the substrate. *Chemosphere*, 265, 129088.
- [28] Rojas-Flores, S., Pérez-Delgado, O., Nazario-Naveda, R., Rojas-Alfaro, H., Benites, S. M., La Cruz-Noriega, D., & Otiniano, N. M. (2021). Potential Use of Papaya Waste as a Fuel for Bioelectricity Generation. *Processes*, 9(10), 1799.
- [29] Negassa, L. W., Mohiuddin, M., & Tiruye, G. A. (2021). Treatment of brewery industrial wastewater and generation of sustainable bioelectricity by microbial fuel cell inoculated with locally isolated microorganisms. *Journal of Water Process Engineering*, 41, 102018.