

# Bioelectricity from *Saccharomyces cerevisiae* yeast through low-cost microbial fuel cells

Benites Santiago M.<sup>1\*</sup>, Rojas-Flores S.<sup>2</sup>, De La Cruz Noriega M.<sup>1</sup>, Cabanillas-Chirinos L.<sup>1</sup>, Nélida Milly Otiniano<sup>1</sup>, Silva-Palacios F.<sup>3</sup>, Angelats-Silva Luis<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación en Ciencias y Tecnología de la Universidad Cesar Vallejo, Trujillo 13001, Perú. [sbenites@ucv.edu.pe](mailto:sbenites@ucv.edu.pe), [maguii\\_12@hotmail.com](mailto:maguii_12@hotmail.com), [lcabanillas@cv.edu.pe](mailto:lcabanillas@cv.edu.pe), [notiniano@ucv.edu.pe](mailto: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](mailto:segundo.rojas.89@gmail.com)

<sup>3</sup>Escuela de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo 13001, Perú. [fernahis.14@hotmail.com](mailto:fernahis.14@hotmail.com)

<sup>4</sup>Laboratorio de Investigación Multidisciplinaria (LABINM), Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo 13008, Perú. [langelatss@upao.edu.pe](mailto:langelatss@upao.edu.pe)

*Abstract– In this research was used the yeast *Sacharomyces cerevisiae* as a fuel in microbial fuel cells using Zn-Zn and Zn-Cu electrodes, in order to study which of these two systems produced greater bioelectricity. The yeast *Sacharomyces cerevisiae media* (API 20 C AUX) was successfully identified (86%). The microbial fuel cell with Zn-Cu electrodes managed to generate higher voltage than the cells with Zn-Zn electrodes, the maximum voltage generation peak being 0.761 and 0.0089 V respectively. Both cells showed slightly acidic and neutral pH during monitoring. The maximum power density values and current density shown by the Zn-Cu cell was 8,196 mW/cm<sup>2</sup> to 8,383 mA/cm<sup>2</sup> respectively, on the other hand, the Zn-Zn cell was able to generate 0.5684 mW/cm<sup>2</sup> to 0.238 mA/cm<sup>2</sup> of the density of power and current density. This research work gives a new way of producing bioelectricity using low cost microbial fuel cell using as a fuel a yeast widely used in the beer industry.*

**Keywords--** *Microbial fuel cells, yeast, electrodes, bioelectricity, generation.*

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.102>  
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

# Bioelectricidad a partir de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* a través de celdas de combustible microbiana de bajo costo

## Bioelectricity from *Saccharomyces cerevisiae* yeast through low-cost microbial fuel cells

Benites Santiago M.<sup>1\*</sup>, Rojas-Flores S.<sup>2</sup>, De La Cruz Noriega M.<sup>1</sup>, Cabanillas-Chirinos L.<sup>1</sup>, Nélide Milly Otiniano<sup>1</sup>, Silva-Palacios F.<sup>3</sup>, Angelats-Silva Luis<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigación en Ciencias y Tecnología de la Universidad Cesar Vallejo, Trujillo 13001, Perú. [sbenites@ucv.edu.pe](mailto:sbenites@ucv.edu.pe), [maguii\\_12@hotmail.com](mailto:maguii_12@hotmail.com), [lcabanillas@cv.edu.pe](mailto:lcabanillas@cv.edu.pe), [notiniano@ucv.edu.pe](mailto: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](mailto:segundo.rojas.89@gmail.com)

<sup>3</sup>Escuela de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo 13001, Perú. [fernahis.14@hotmail.com](mailto:fernahis.14@hotmail.com)

<sup>4</sup>Laboratorio de Investigación Multidisciplinaria (LABINM), Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo 13008, Perú. [langelatss@upao.edu.pe](mailto:langelatss@upao.edu.pe)

**Resumen-** En esta investigación se utilizó a la levadura *Saccharomyces cerevisiae* como combustible en celdas de combustible microbiana utilizando electrodos de Zn-Zn y Zn-Cu, con la finalidad de evaluar en cuál de estos dos sistemas se producía mayor bioelectricidad. La levadura fue identificada al 86% como *Saccharomyces cerevisiae* mediante el sistema API 20 C AUX. En cuanto a la producción de bioelectricidad, se observó que en la celda de combustible microbiana con electrodos de Zn-Cu se logró generar mayor voltaje que en las celdas con electrodos de Zn-Zn, siendo el pico máximo de generación de voltaje de 0.761 y 0.0089 V respectivamente. Ambas celdas mostraron pH ligeramente ácido y neutro durante el monitoreo. Los valores máximos de densidad de potencia y densidad de corriente mostrados por la celda de Zn-Cu fue de 8.196 mW/cm<sup>2</sup> en 8.383 mA/cm<sup>2</sup> respectivamente, por otro lado, la celda de Zn-Zn logró generar 0.5684 mW/cm<sup>2</sup> en 0.238 mA/cm<sup>2</sup> de densidad de potencia y densidad de corriente. Este trabajo de investigación brinda una nueva forma de producción de bioelectricidad utilizando celdas de combustible microbiana construidas a bajo costo, utilizando como combustible una levadura muy utilizada en la industria cervecera.

**Palabras claves**—celdas de combustible microbiana, levadura, electrodos, bioelectricidad, generación.

**Abstract—**In this research was used the yeast *Saccharomyces cerevisiae* as a fuel in microbial fuel cells using Zn-Zn and Zn-Cu electrodes, in order to study which of these two systems produced greater bioelectricity. The yeast *Saccharomyces cerevisiae* media (API 20 C AUX) was successfully identified (86%). The microbial fuel cell with Zn-Cu electrodes managed to generate higher voltage than the cells with Zn-Zn electrodes, the maximum voltage generation peak being 0.761 and 0.0089 V respectively. Both cells

showed slightly acidic and neutral pH during monitoring. The maximum power density values and current density shown by the Zn-Cu cell was 8,196 mW/cm<sup>2</sup> to 8,383 mA/cm<sup>2</sup> respectively, on the other hand, the Zn-Zn cell was able to generate 0.5684 mW/cm<sup>2</sup> to 0.238 mA/cm<sup>2</sup> of the density of power and current density. This research work gives a new way of producing bioelectricity using low cost microbial fuel cell using as a fuel a yeast widely used in the beer industrie.

**Keywords**— Microbial fuel cells, yeast, electrodes, bioelectricity, generation.

### I. INTRODUCCIÓN

El calentamiento global y el agotamiento de los combustibles fósiles, están haciendo que la sociedad comience a utilizar energías renovables amigables con el medio ambiente [1,2]. En esta búsqueda, las celdas de combustible microbiana (CCMs) están siendo investigadas en todo el mundo, debido a la generación de electricidad a partir de residuos, los cuales son usados como combustibles [3]. Una CCM consiste de un par de electrodos (ánodo y cátodo), un circuito externo, combustible (sustrato) y casi siempre de una membrana de intercambio protónico [4,5]. En la actualidad se han fabricado de varias formas, entre las más comunes se encuentran las de cámara doble, cámara simple sin y con membrana, entre otras [6]. Una CCM convierte directamente la energía química a energía eléctrica [7], en donde los microorganismos oxidan la materia orgánica en la cámara anódica, produciendo electrones (e<sup>-</sup>) y protones (p<sup>+</sup>). Los electrones viajan por el circuito externo, generando electricidad, mientras que los protones viajan por la membrana hacia la cámara catódica, combinándose con el oxígeno presente y formando agua [8,9].

Digital Object Identifier (DOI):  
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.102>  
ISBN: 978-958-52071-4-1 ISSN: 2414-6390

La generación de electricidad depende de varios factores, pero uno de los más importantes es el tipo de materiales que se usan para los electrodos, se han reportado electrodos fabricados de grafeno [10], nanotubos de carbón [11], óxido de cobalto [12], papel de carbón [13] entre otros; debido a la alta porosidad que estos materiales muestran [14], pero estos materiales son altamente resistentes a la ampliación y tienen baja resistencia mecánica. Se requiere un alto rendimiento, mantenimiento fácil y rentables de las celdas para su fabricación a gran escala, debido a esto se ha estudiado electrodos metálicos como alternativa para superar las limitaciones de los electrodos convencionales.

Sekar [15] fabricó CCMs usando electrodos de cobre dopados con nanopartículas de óxido de hierro y como combustible aguas residuales de la industria láctea; logrando generar 750 mV como voltaje máximo en el sexto día, y 161.5 mW/m<sup>2</sup> de densidad de potencia máxima y 270 mA/m<sup>2</sup> de densidad de corriente. Por otro lado, Erable [16] utilizó electrodos de grafito y acero, utilizando sedimento marino como combustible en su CCM; logrando generar 0.3 V y 280 mA/m<sup>2</sup> de voltaje y densidad de corriente. Prasad en su investigación utilizó electrodos de zinc (Zn) y cobre (Cu), así como sedimentos como combustible en su celda; logrando generar voltaje y corriente máxima de 1.160V y 0.301mA, respectivamente. La potencia máxima en el sedimento de la CCM con ánodo de Cu fue 3.491mW para condiciones de funcionamiento en estado estacionario [17]. También se ha usado tela de carbón y aluminio (Al) como electrodos, y aguas residuales (sustrato) en una celda de doble cámara, logrando generar como voltaje máximo de 0.570 V [18].

Existen investigaciones sobre la adhesión de partículas metálicas incrustadas en tela de carbón las cuales se usaron como electrodos y como son afectados por las condiciones ambientales (humedad, temperatura y salinidad), las cuales pueden formar un óxido denso (corrosión) en la superficie del electrodo evitando la formación de las biopelículas microbianas e interfiriendo con la generación de electricidad. [19,20]. Sin embargo, la pobre compatibilidad y baja densidad de corriente que generan algunos metales, son las principales limitaciones que tiene este tipo de celdas [21,22]. Por otro lado, cuando el flujo de electrones que viajan desde el ánodo (más electropositivo) hacia el cátodo (más electronegativo) es interferido por la corrosión a causa de las bacterias se le conoce como corrosión influenciada microbiológicamente (CIM), el cual ocurre por metabolismos microbianos como enzimas, ácidos orgánicos e inorgánicos y compuestos volátiles [23,24]. Otro problema referido al material del electrodo es su actividad antimicrobiana, lo ocurre en electrodos como el Cu [25].

Las comunidades microbianas presentes en los sustratos (combustibles), son de gran importancia para la generación de

electricidad [26], por ejemplo, la levadura *S. cerevisiae* que se utiliza para la fabricación de pan, cerveza y vino [27], posee numerosas características biológicas ventajosas, como ser resistente, de fácil manejo, no patógeno, tiene altas tasas catabólicas y puede utilizarse como un biocatalizador prometedor en CCMs para la generación de electricidad [28] Rossi demostró que *S. cerevisiae* como sustrato tiene gran potencial para generar electrones es una CCM de doble cámara, logrando generar un voltaje máximo en circuito abierto de 490 mV con densidad corriente de 1.17 A/m<sup>2</sup> y 110 mW/m<sup>2</sup> de densidad de potencia [29]. Por otro lado, el sistema con *S. cerevisiae* se logró mejorar al combinarlo con azul de metileno y ferrocianuro, generando de 146.71 ± 7.7 mW/m<sup>3</sup> de densidad de potencia; y voltaje máximo de circuito abierto de 383.6 ± 1.5 mV y una eficiencia máxima de 28 ± 1.8% bajo 100 kΩ de resistencia externa [30]. Sin embargo, aún no se ha reportado la utilización de *S. cerevisiae* en sistemas con electrodos metálicos como el Zn y Cu.

Esta investigación tiene como objetivo principal evaluar la generación de electricidad, utilizando como sustrato a la levadura *S. cerevisiae* cultivado en caldo Sabouraud glucosado con Cloramfenicol, en dos tipos de celda de combustible microbiana fabricadas a bajo costo, con electrodos de Zn-Cu y Zn-Zn en las cuales se monitorearon su voltaje, corriente y pH durante 20 días. Así como también el estudio de su densidad de corriente y potencia. La CCM de Zn-Zn se utilizará a modo testigo, debido a que se han estudiado la performance de los electrodos de Zn dentro de una CCM logrando obtener valores de voltaje iguales o mayores de 0.75 V con otro tipo de sustrato [31]. Mientras que no se consideró la CCM de Cu-Cu debido a que no se ha encontrado valores de corriente óptimos a causa de su alta toxicidad para los microorganismos [32].

## II. MATERIALES Y METODOS

### 2.1 Construcción de las celdas de combustible microbiana de una sola cámara y caracterización

Para la elaboración de las cámaras anódicas y catódicas se utilizaron tubos de PVC (15 cm de largo x 5 cm diámetro). Los electrodos fueron fabricados de Zinc (Zn) y Cobre (Cu) (4 cm de diámetro x 2 cm de espesor). Los electrodos fueron colocados dentro de los tubos a 1.5 cm de distancia a partir del extremo y fueron soldadas con alambres de cobre (de aproximadamente 0.2 cm de diámetro) los cuales se extendían hasta el exterior de los tubos y conectaban a una resistencia externa. Finalmente, para sellar los extremos de las cámaras se utilizaron placas de acero (10x10 cm<sup>2</sup>) y se aseguraron con tornillos. Estos procedimientos se realizaron para ambos tipos de las CCMs (ver fig. 1).

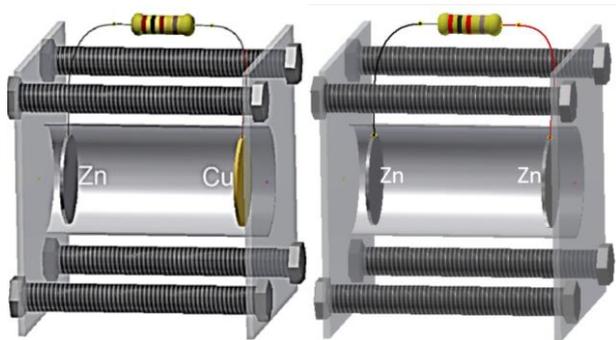


Fig. 1: Esquema de los prototipos de las celdas de combustible microbiana Cu-Zn y Zn-Zn.

Para el monitoreo del voltaje y corriente se utilizó un multímetro (Testech, KT-5510), mientras que para la medición de densidad de corriente (DC) y densidad de potencia (DP) se utilizó la fórmula descrita por Santoro et al. [6], donde  $DC=I/A$  y  $DP=IV/A$ , siendo  $I$  la corriente generada utilizando las siguientes resistencias externas:  $1.5 \pm 0.2$ ,  $3 \pm 0.23$ ,  $5 \pm 0.3$ ,  $10 \pm 0.1$ ,  $20 \pm 2$ ,  $40 \pm 2.5$ ,  $50 \pm 4.2$ ,  $65 \pm 3.5$ ,  $100 \pm 8.3$ ,  $180 \pm 11$ ,  $220 \pm 15$ ,  $330 \pm 10$ ,  $500 \pm 22.4$ ,  $720 \pm 20$ ,  $800 \pm 23$ ,  $900 \pm 18$ ,  $1000 \pm 25$ ,  $3000 \pm 30$ ,  $4500 \pm 50$ ,  $6000 \pm 48$ ,  $8000 \pm 35$ ,  $10000 \pm 54 \Omega$ ; donde  $V$  es el voltaje y  $A$  el área ( $5.03 \pm 0.12 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ ). Para los valores de pH se utilizó un pH-meter 110 Oakton Series y para la absorbancia se usó un espectrofotómetro UV (JENWAY-6305).

## 2.2 Obtención de la levadura *S. cerevisiae*:

La cepa de *S. cerevisiae* fue donada por el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad Nacional de Trujillo [33].

### 2.3 Reactivación de la cepa de *S. cerevisiae*

Se tomó un inóculo del cultivo puro de *S. cerevisiae*, y se sembró en Caldo BHI (Brain Heart Infusion), luego se incubó a  $30 \pm 1.0^\circ\text{C}$  por 24 horas [34], pasado el tiempo de incubación se extrajo un inóculo y se sembró en Agar Saboraud Dextrosa incubándose las placas a  $30^\circ\text{C}$  por 24 horas, la finalidad era obtener colonias aisladas a las que se les realizó una coloración de Gram (fig. 2 (a)) para verificar la pureza de la cepa y conservarla en tubo inclinado con Agar Sabouraud Dextrosa para su posterior identificación [35].

### 2.4 Identificación de *S. cerevisiae*

Se realizó la identificación a nivel de género y especie, registrando las características microscópicas células ovaladas en proceso de gemación (ver fig. 2 (a)), macroscópicas colonias húmedas, cremosas, convexas, color blanco propias al género *Saccharomyces* (ver fig. 2 (b)) y usando la metodología

del sistema de identificación microbiana API 20 C AUX de BIOMERIEUX [36].

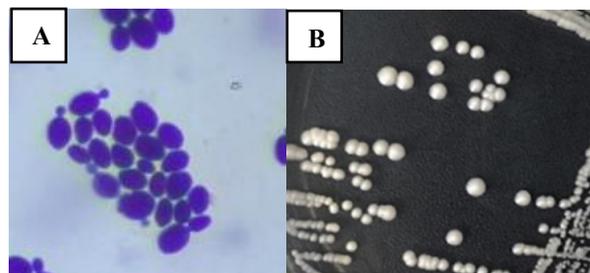


Fig. 2: a) Microscopía de *S. cerevisiae* mediante coloración Gram (100 X) y b) Vista macroscópica de colonias de *S. cerevisiae* en Agar Saboraud usando un fondo oscuro.

El kit API 20 C AUX consta de 20 cúpulas que contienen sustratos deshidratados permitiendo efectuar 19 ensayos de asimilación. El Kit tiene un control negativo (O), un control positivo glucosa (GLU), y en las 18 cúpulas restantes se encuentran los sustratos como glicerol (Gly), calcio 2-cetogluconato (2KG), arabinosa (ARA), xilosa (XYL), adonitol (ADO), xilitol (XLT), galactosa (GAL), inositol (INO), sorbitol (SOR), metil- $\alpha$ D-glucopiranosido (MDG), N-acetilglucosamina (NAG), celobiosa (CEL), lactosa (LAC), maltosa (MAL), sacarosa (SAC), trehalosa (TRE), melezitosa (MLZ) y rafinosa (RAF) [35].

## 2.5 Preparación del inóculo para la Celda de Combustible Microbiana

A partir de un cultivo de 24 horas de *S. cerevisiae* se realizó una suspensión en 30 ml de solución salina fisiológica estéril (SSFE) de 0.85%, hasta llegar a una densidad óptica (DO) de 0.5 (absorbancia medida a 620 nm), y se agregó en 270 ml de Caldo Saboraud, luego se homogenizó y se repartió equitativamente en las celdas de combustión microbiana. Todo el proceso se llevó a cabo a temperatura ambiental ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ )

## III. RESULTADOS Y ANALISIS

En la fig. 3 se muestra la lectura que se realizó después de 72 horas de incubación a  $30^\circ\text{C}$ , el crecimiento de las levaduras se comparó con la cúpula 0 (control). Una cúpula con mayor turbidez que la de control indicó una reacción positiva. Posteriormente con la ayuda del software de identificación APIWEB [37] se introdujo manualmente el perfil numérico de 7 cifras el cual corrobora que la levadura en estudio es *S. cerevisiae*, con un ID de 88 % en el sistema de identificación microbiana API 20 C AUX.



Fig 3: Identificación por API 20 C AUX para *S. cerevisiae* (88% ID)

En la fig. 4 se muestra la absorbancia máxima respecto al tiempo (200 h) de incubación a temperatura ambiente para el estudio de la curva de crecimiento del microorganismo en condiciones de microaerobiosis. Se puede observar que *S. cerevisiae* tiene una gran capacidad para crecer en condiciones de microaerobiosis, debido al consumo de glucosa como fuente de carbono, generando electrones y protones. Rahimnejad sustenta que se genera 24 mol de electrones e iones de hidrogeno por oxidación de una mol de glucosa en condiciones anaeróbicas [38], lo que ocurre en el cátodo y ánodo de la siguiente forma [39]:

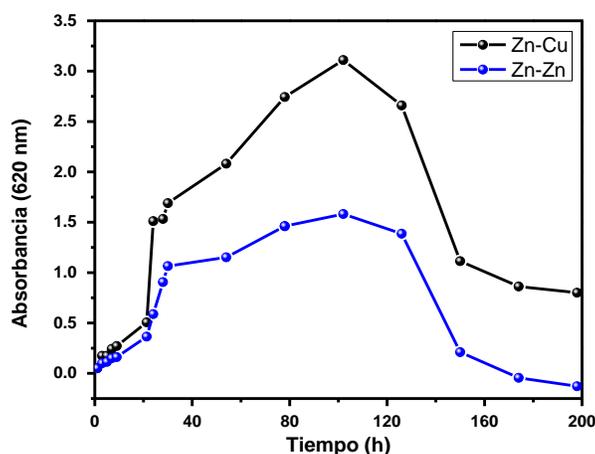
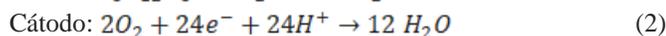


Fig. 4: Crecimiento de *S. cerevisiae* en condiciones de microaerobiosis.

En la fig.5 (a) se muestra el monitoreo de la generación voltaje de las CCM con electrodos de Cu-Zn y Zn-Zn. Se observa que la CCM con electrodos de Zn-Cu genera mayor voltaje respecto a la celda con electrodos Zn-Zn, cuyos voltajes máximos de ambas celdas son 0.761 y 0.089 V respectivamente; estos valores descienden ligeramente al pasar el tiempo. Mientras que en la fig. 5 (b) se muestran los valores de la corriente para ambas celdas, donde se observa claramente que los valores de la Zn-Cu superan a los de la celda de Zn-Zn, aunque a partir del segundo día la celda de Zn-Zn muestra un ligero aumento, lo cual puede deberse a la adaptación de los microorganismos en las celdas.

Los altos valores iniciales de voltaje y corriente que muestran las CCM con electrodos de Zn-Cu, sugieren que se generó por una corriente química (galvánica) debido a que no hubo tiempo suficiente para que el microorganismo creciera en el ánodo y genere corriente [40], pero con el transcurso del tiempo los microorganismos crecen en el compartimento

anódico y obtienen electrones de la descomposición del sustrato, estos se pueden aprovechar y transportar fuera de las células a un electrodo [41]. El Dinucleótido nicotinamida y adenina reducida NADH es una molécula que se encuentra en el citosol producto del glucolisis y ha sido propuesta como mediador en el sistema transportador de electrones al circuito eléctrico en una CCM con levadura [42,43]. La falta de generación de corriente en las CCM con electrodos de Zn-Zn en comparación con los Zn-Cu, podría deberse a la corrosión que sufre el zinc cuando está en solución líquida, lo cual daña parte de la superficie del electrodo e impide una buena transferencia de electrones, afectando de esta manera el rendimiento del sistema. [44]. Así también puede deberse al valor estándar de la potencia del Cu (+0.337 V) que es mayor que el del Zn (-0.763 V, lo que significa que el Cu puede aceptar mayor cantidad de electrones que el Zn, favoreciendo a la transferencia de electrones [31].

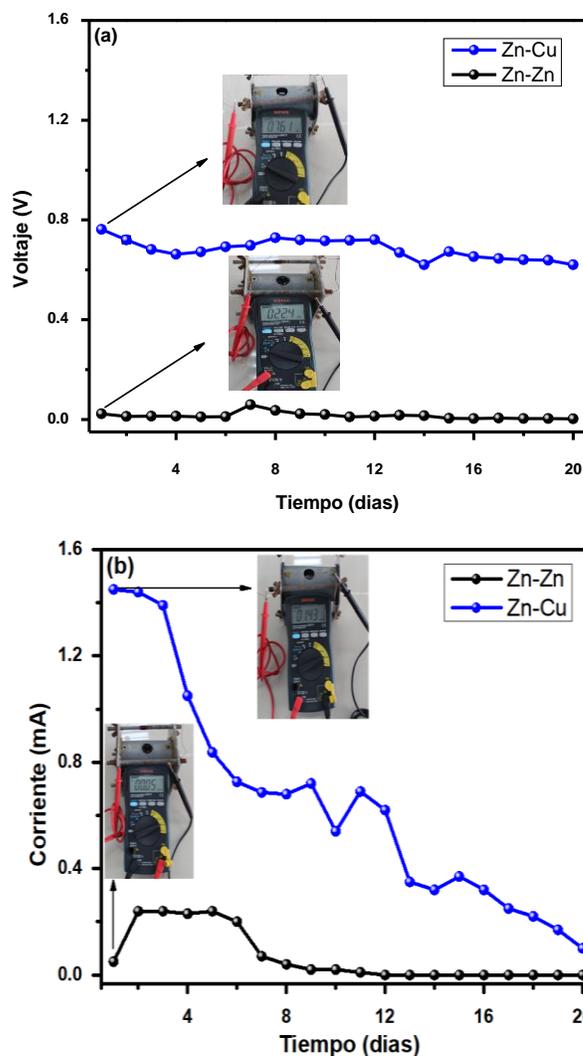


Fig. 5: Monitoreo de la generación de (a) voltaje y (b) corriente durante 20 días.

Lo que sugiere que el uso del Cu, es una opción interesante como ánodo por datos mostrados en este trabajo, aunque también puede corroerse, sin embargo, a pesar de tener propiedades antimicrobianas pierde este efecto cuando se encuentran en sistema con microorganismos electrogénos, ya que ellos tienen la capacidad de crecer sobre la superficie de este tipo de metales, formando una biopelícula electroactiva de alto rendimiento. [45,46].

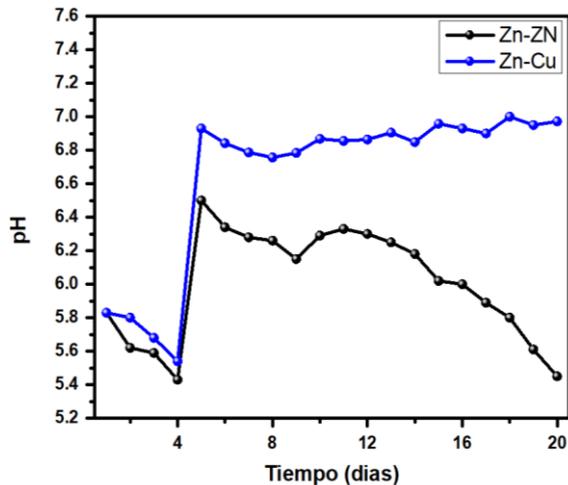


Fig. 6: Monitoreo de la variación de los valores de pH.

En la fig. 6 se muestra lo valores de pH, donde se puede observar las variaciones durante los 20 días de monitoreo; cuyos valores varían aproximadamente entre 5.4 a 7.0 (entre ligeramente ácido y neutro), ambas celdas decaen ligeramente sus valores de pH hasta el cuarto día, para después aumentar considerablemente lo que coincide con la disminución de los valores de absorbancia de la fig. (3). En los últimos días, se observa la disminución de los valores de pH para la celda de Zn-Zn. La variación de pH se debe a la transferencia de electrones del ánodo al cátodo a través del circuito externo, mientras que los protones se generan debido a la oxidación del sustrato [47]. El rápido consumo de protones conduce al aumento del pH del sustrato [31].

En la fig. 7 se muestran los valores de densidad de potencia (DP) y voltaje respecto a la densidad de corriente (DC) de las celdas. En la fig. 7 (a) se puede observar que la  $DP_{max}$  generada por la celda de Zn-Cu fue de 8.196 mW/cm<sup>2</sup> con  $DC_{max}$  de 8.383 mA/cm<sup>2</sup> y un  $V_{max}$  de 0.67 V. Mientras que en la fig. 07 (b) la celda de Zn-Zn logro generar una  $DP_{max}$  de 0.5684 mW/cm<sup>2</sup> con  $DC_{max}$  de 0.238 mA/cm<sup>2</sup> y un  $V_{max}$  de 19.35 mV. Esta diferencia en la densidad de corriente entre los electrodos puede explicarse por la corrosión que presentaron los electrodos zinc-zinc, debido a la deficiente transferencia de electrones, lo cual afecta la intensidad de

corriente y por ende su densidad de corriente. Rahimnejad et al. [48] sugieren que para mejorar la densidad de corriente significativamente se puede realizar mediante un mediador exógeno como la tionina, la cual actúa como una lanzadera de electrones.

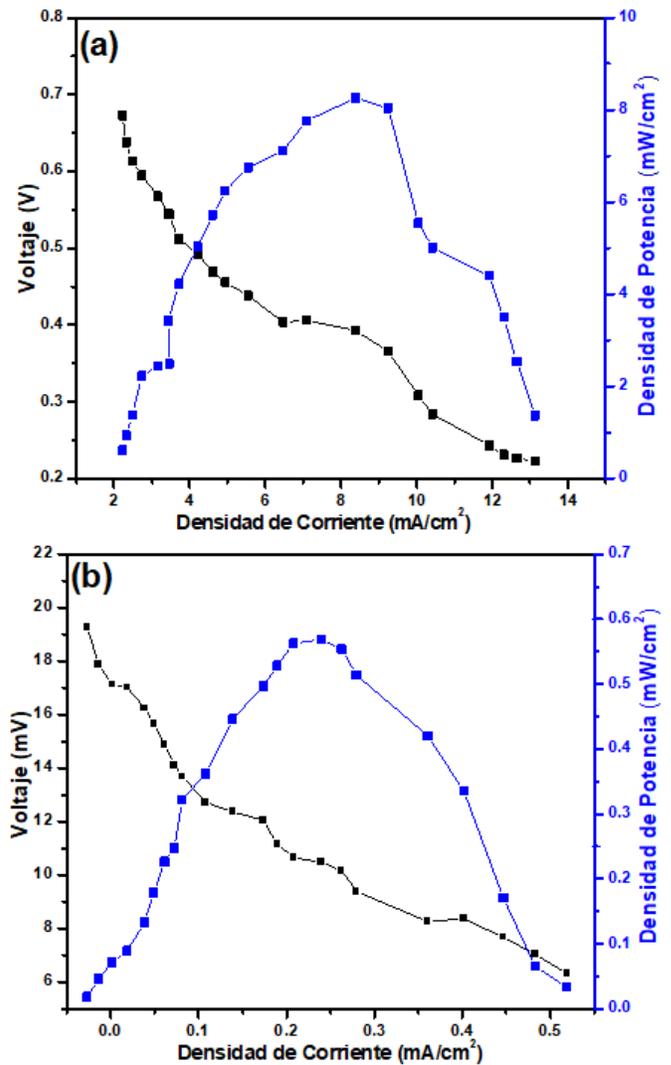


Fig. 7: valores de densidad de corriente y densidad de potencia de las celdas de combustible microbiana con electrodos de (a) Zn-Cu y (b) Zn-Zn

#### IV. CONCLUSIONES

Se logró producir exitosamente bioelectricidad utilizando electrodos de bajo costo, como lo son el zinc y cobre utilizando como combustible la levadura *S. cerevisiae*, lo cual aún no se había ensayado con este tipo de electrodos. La *S. cerevisiae* fue identificada por medio del sistema de identificación microbiana API 20 C AUX, con un 88 % de certeza. La celda con electrodos de Zn-Cu mostro mayor

generación de voltaje en comparación con la de Zn-Zn, con un pico máximo 0.761 voltios en el primer día. Ambas celdas muestran un pH entre ligeramente ácido y neutro. Los valores de  $DP_{max}$  y  $DC_{max}$  generado por la celda de Zn-Cu fue de 8.196 mW/cm<sup>2</sup> y 8.383 mA/cm<sup>2</sup> respectivamente, mientras que para la celda de Zn-Zn se logró generar 0.5684 mW/cm<sup>2</sup> y 0.238 mA/cm<sup>2</sup> de  $DP_{max}$  y  $DC_{max}$ . Esta investigación brinda una nueva forma de producción de bioelectricidad utilizando la levadura residual de *S. cerevisiae*, la cual proviene de varias industrias como producción de cerveza, vino y pan; que puede ser utilizada para generar electricidad con electrodos de bajo costo y mantenimiento; dando un valor agregado a la industria. Si comparamos los mejores resultados obtenidos que fueron de la celda de Zn-Cu (~0.75 V) con una batería AAA, las cuales la mayoría de personas tiene para el control de la TV, se necesitaría dos celdas de Zn-Cu conectadas en serie para igualar la función de la batería AAA. Sin embargo, al ser un trabajo preliminar no se puede comparar con otros ensayos para determinar si estos electrodos difieren en sus rendimientos con respecto a la generación de corriente eléctrica, por lo cual se debería investigar estos electrodos junto con otros parámetros que afecten la generación de energía eléctrica y con un mayor número de repeticiones.

## V. AGRADECIMIENTO

Los autores agradecen al Instituto de Investigación de Ciencias y Tecnología de la Universidad Cesar Vallejo por las facilidades brindadas durante el trabajo de investigación.

## VI. REFERENCIAS

- [1] Bergquist, P., & Warshaw, C. (2019). Does Global Warming Increase Public Concern about Climate Change?. *The Journal of Politics*, 81(2), 686-691.
- [2] Boykoff, M., Aoyagi, M., Benham, A., Daly, M., Fernández-Reyes, R., McAllister, L., ... & Simonson, A. H. (2019). World Newspaper Coverage of Climate Change or Global Warming, 2004-2019-August 2019.
- [3] Cui, Y., Lai, B., & Tang, X. (2019). Microbial Fuel Cell-Based Biosensors. *Biosensors*, 9(3), 92.
- [4] Chandrasekhar, K., Kadier, A., Kumar, G., Nastro, R. A., & Jeevitha, V. (2018). Challenges in microbial fuel cell and future scope. In *Microbial Fuel Cell* (pp. 483-499). Springer, Cham.
- [5] Sivasankar, V., Mysamy, P., & Omine, K. (Eds.). (2018). *Microbial fuel cell technology for bioelectricity*. Berlin: Springer.
- [6] Santoro, C., Arbizzani, C., Erable, B., & Ieropoulos, I. (2017). Microbial fuel cells: from fundamentals to applications. A review. *Journal of power sources*, 356, 225-244.
- [7] Abbasi, T., & Abbasi, S. A. (2019). Microbial Fuel Cells as Source of Clean Energy-Potential and Pitfalls. *Nature Environment and Pollution Technology*, 18(3), 789-797.
- [8] Maqueda Marín, D. P. (2018). *Análisis del transporte de materia en pilas combustible microbianas de doble cámara con membranas basadas en líquidos iónicos* (Master). Universidad Politécnica de Cartagena.
- [9] Schröder, U. (2007). Anodic electron transfer mechanisms in microbial fuel cells and their energy efficiency. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 9(21), 2619-2629.
- [10] Yu, F., Wang, C., & Ma, J. (2016). Applications of graphene-modified electrodes in microbial fuel cells. *Materials*, 9(10), 807.
- [11] Yazdi, A. A., D'Angelo, L., Omer, N., Windiasti, G., Lu, X., & Xu, J. (2016). Carbon nanotube modification of microbial fuel cell electrodes. *Biosensors and Bioelectronics*, 85, 536-552.
- [12] Mohamed, H. O., Abdelkareem, M. A., Obaid, M., Chae, S. H., Park, M., Kim, H. Y., & Barakat, N. A. (2017). Cobalt oxides-sheathed cobalt nano flakes to improve surface properties of carbonaceous electrodes utilized in microbial fuel cells. *Chemical Engineering Journal*, 326, 497-506.
- [13] Jia, X., He, Z., Zhang, X., & Tian, X. (2016). Carbon paper electrode modified with TiO<sub>2</sub> nanowires enhancement bioelectricity generation in microbial fuel cell. *Synthetic Metals*, 215, 170-175.
- [14] Kaur, R., Marwah, A., Chhabra, V. A., Kim, K. H., & Tripathi, S. K. (2019). Recent developments on functional nanomaterial-based electrodes for microbial fuel cells. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 199, 109551.
- [15] Sekar, A. D., Jayabalan, T., Muthukumar, H., Chandrasekaran, N. I., Mohamed, S. N., & Matheswaran, M. (2019). Enhancing power generation and treatment of dairy waste water in microbial fuel cell using Cu-doped iron oxide nanoparticles decorated anode. *Energy*, 172, 173-180.
- [16] Erable, B., Byrne, N., Etcheverry, L., Achouak, W., & Bergel, A. (2017). Single medium microbial fuel cell: stainless steel and graphite electrode materials select bacterial communities resulting in opposite electrocatalytic activities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(41), 26059-26067.
- [17] Prasad, J., & Tripathi, R. K. (2017, August). Maximum electricity generation from low cost sediment microbial fuel cell using copper and zinc electrodes. In *2017 International Conference on Information, Communication, Instrumentation and Control (ICICIC)* (pp. 1-4). IEEE.
- [18] Bose, D., Bose, A., Kundani, D., Gupta, D., & Jain, H. (2018). Comparative Analysis of Carbon Cloth and Aluminum Electrodes Using Agar Salt-Bridge Based Microbial Fuel Cell for Bioelectricity Generation from Effluent Derived Wastewater. *Nature Environment and Pollution Technology*, 17(4), 1201-1205.
- [19] Li, J., Li, H., Fu, Q., Liao, Q., Zhu, X., Kobayashi, H., & Ye, D. (2017). Voltage reversal causes bioanode corrosion in microbial fuel cell stacks. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(45), 27649-27656.
- [20] Iannucci, L., Grassini, S., Angelini, E., Parvis, M., & Cristiani, P. (2018, April). Microbial Corrosion Assessment of Ag-Doped Hybrid Coatings in a Microbial Fuel Cells System. In *Meeting Abstracts* (No. 14, pp. 1048-1048). The Electrochemical Society.
- [21] Beech, I. B., & Sunner, J. (2004). Biocorrosion: towards understanding interactions between biofilms and metals. *Current opinion in Biotechnology*, 15(3), 181-186.
- [22] Ledezma, P., Donose, B. C., Freguia, S., & Keller, J. (2015). Oxidised stainless steel: a very effective electrode material for microbial fuel cell bioanodes but at high risk of corrosion. *Electrochimica Acta*, 158, 356-360.
- [23] Cui, G., Li, Z., Yang, C., & Wei, X. (2015). Study on the interference corrosion of cathodic protection system. *Corrosion Reviews*, 33(5), 233-247.
- [24] Bolton, N., Critchley, M., Fabien, R., Cromar, N., & Fallowfield, H. (2010). Microbially influenced corrosion of galvanized steel pipes in aerobic water systems. *Journal of applied microbiology*, 109(1), 239-247.
- [25] Shubina, V., Gaillet, L., Chaussadent, T., Meylheuc, T., & Creus, J. (2016). Biomolecules as a sustainable protection against corrosion of reinforced carbon steel in concrete. *Journal of Cleaner Production*, 112, 666-671.
- [26] Long, X., Cao, X., Song, H., Nishimura, O., & Li, X. (2019). Characterization of electricity generation and microbial community structure over long-term operation of a microbial fuel cell. *Bioresour technology*, 285, 121395.
- [27] Kwak, S., & Jin, Y. S. (2017). Production of fuels and chemicals from xylose by engineered *Saccharomyces cerevisiae*: a review and perspective. *Microbial cell factories*, 16(1), 82.

- [28] Mao, L., & Verwoerd, W. S. (2013). Exploration and comparison of inborn capacity of aerobic and anaerobic metabolisms of *Saccharomyces cerevisiae* for microbial electrical current production. *Bioengineered*, 4(6), 420-430.
- [29] Rossi, R., Fedrigucci, A., & Setti, L. (2015). Characterization of Electron Mediated Microbial Fuel Cell by *Saccharomyces Cerevisiae*. *Chemical Engineering Transactions*, 43, 337-342.
- [30] Gunawardena, A., Fernando, S., & To, F. (2008). Performance of a yeast-mediated biological fuel cell. *International journal of molecular sciences*, 9(10), 1893-1907.
- [31] Prabowo, A. K., Tiarasukma, A. P., Christwardana, M., & Ariyanti, D. (2016). Microbial Fuel Cells for Simultaneous Electricity Generation and Organic Degradation from Slaughterhouse Wastewater. *International Journal of Renewable Energy Development*, 5(2), 107-112.
- [32] Mansfeld, F. (2007). The interaction of bacteria and metal surfaces. *Electrochimica Acta*, 52(27), 7670-7680.
- [33] Aguilar, J., Espinoza, M., Cabanillas, J., Ávila, I., García, A., Julca, J., ... & Linares, G. (2015). Evaluación de la cinética de crecimiento de *Saccharomyces cerevisiae* utilizando un medio de cultivo a base de melaza de caña y suero lácteo. *Agroindustrial Science*, 5(1), 37-47.
- [34] NMKL Procedure. (2006). The use reference materials, reference strains and control charts in a food microbiological laboratory. Ole BjØrn Jensen; 1(18): 1-20.
- [35] [32] Ochoa, J. L., & Juárez, R. V. (2004). Las levaduras marinas como herramientas científica y biotecnológica. *Universidad y Ciencia*, (1), 39-50.
- [36] Cepero de García, M. C. (2012). *Biología de hongos*. Ediciones Uniandes-Universidad de los Andes. Colombia. Pag. 550. ISBN:978-958-695-701-4
- [37] Programa online de identificación de levadura. <https://apiweb.biomerieux.com/servlet/Identify>
- [38] Rahimnejad, M., Najafpour, G. D., Ghoreyshi, A. A., Shakeri, M., & Zare, H. (2011). Methylene blue as electron promoters in microbial fuel cell. *International journal of hydrogen energy*, 36(20), 13335-13341.
- [39] Chiao, M. (2008). A microfabricated PDMS microbial fuel cell. *Journal of Microelectromechanical systems*, 17(6), 1329-1341.
- [40] Zhu, X., & Logan, B. E. (2014). Copper anode corrosion affects power generation in microbial fuel cells. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 89(3), 471-474.
- [41] Gunawardena, A., Fernando, S., & To, F. (2008). Performance of a yeast-mediated biological fuel cell. *International journal of molecular sciences*, 9(10), 1893-1907.
- [42] Raghavulu SV, Goud RK, Sarma PN, Mohan SV. *Saccharomyces cerevisiae* as anodic biocatalyst for power generation in biofuel cell: influence of redox condition and substrate load. *Bioresour Technol* 2011; 102:27517.
- [43] Rabaey, K., & Verstraete, W. (2005). Bacterial potential for electricity generation. *Trends in Biotechnology*, 6(23), 291-298.
- [44] Cai, Z., Ou, Y., Wang, J., Xiao, R., Fu, L., Yuan, Z., ... & Sun, Y. (2020). Chemically resistant Cu–Zn/Zn composite anode for long cycling aqueous batteries. *Energy Storage Materials*, 27, 205-211.
- [45] Liu, H., Cheng, S., & Logan, B. E. (2005). Production of electricity from acetate or butyrate using a single-chamber microbial fuel cell. *Environmental science & technology*, 39(2), 658-662.
- [46] Ezziat, L., Elabed, A., Ibsouda, S., & El Abed, S. (2019). Challenges of microbial fuel cell architecture on heavy metal recovery and removal from wastewater. *Frontiers in Energy Research*, 7(1), 1-13.
- [47] Karthikeyan, R., Selvam, A., Cheng, K. Y., & Wong, J. W. C. (2016). Influence of ionic conductivity in bioelectricity production from saline domestic sewage sludge in microbial fuel cells. *Bioresour technology*, 200, 845-852.
- [48] Rahimnejad, M., Najafpour, G., Ghoreyshi, A. A., Talebnia, F., Bakeri, G. R., & Oh, S. E. (2012). Effect of Thionine as Electron Shuttle for production of Bioelectricity in Microbial Fuel Cell.