ISBN: 978-628-96613-1-6. ISSN: 2414-6390. Digital Object Identifier: https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.291

# Sustainable use of tannery effluents and *Chorella sp.* microalgae in the generation of electrical energy through dual-chamber microbial fuel cells

Santiago M. Benites[1*], S. Jonathan R.-F.[1], Renny Nazario-Naveda[1]
Universidad Autónoma del Perú, Vicerrectorado de Investigación, Lima, Perú

***Abstract – The high increase in electricity prices, as well as the absence of electricity in remote places, is a complex problem that cannot be solved even in this day and age. Scientists have tirelessly dedicated themselves to the search for alternative and sustainable ways to generate electricity. In this sense, microbial fuel cells emerge as a novel and futuristic alternative due to their use as a bioremediator and generator of electricity simultaneously. This research proposes using carbon and zinc electrodes to use microalgae "Chlorella sp." and tannery effluents as fuel in double-chamber microbial fuel cells. The experiment successfully generated an average peak voltage of 1.046 ± 0.024V on the twelfth day, whose pH was 5.438 ± 0.241 at the anode and neutral at the cathode; with these values, the value of the electric current was 2.836 ± 0.081mA. The calculated internal resistance was 134.541 ± 13.597 Ω, where the microbial fuel cell showed a power density of 254.452 ± 19.985 mW/cm2 for a current density of 4.688 ± 0.894 A/cm2, while the density found in the cathode chamber was 1.357x106 ± 0.157 x106 cell/mL.***

***Keywords-- tannery effluents, microalgae "Chlorella sp.", sustainability, microbial fuel cells.***

# Uso sostenible de efluentes de curtiembres y microalgas *Chlorella sp.* en la generación de energía eléctrica a través de celdas de combustible microbiana de doble cámara

Santiago M. Benites[1*], S. Jonathan R.-F.[1], Renny Nazario-Naveda[1]
Universidad Autónoma del Perú, Vicerrectorado de Investigación, Lima, Perú; santiago.benites@autonoma.pe, srojasfl@autonoma.edu.pe, rnazario@autonoma.edu.pe

***Resumen*– El alto incremento de los precios de energía eléctrica, así como, la ausencia de electricidad en lugares alejados es un problema difícil de solucionar aun en esta época. Los científicos se han dedicado incansablemente en la búsqueda de formas alternativas y sostenibles de generar energía eléctrica. En este sentido, las celdas de combustible microbiana surgen como una alternativa novedosa y futurista, por su uso como biorremediador y generado de electricidad de forma simultánea. Esta investigación propone la utilización de las microalgas "Chlorella sp." y efluentes de curtiembre como combustible en celdas de combustible microbiana de doble cámara, usando electrodos de carbón y zinc. El experimento logro generar de forma exitosa un voltaje promedio pico de 1.046 ± 0.024V en el doceavo día cuyo pH fue de 5.438 ± 0.241 en ánodo y neutro en el cátodo, con estos valores el valor de la corriente eléctrica fue de 2.836 ± 0.081mA. La resistencia interna calculada fue de 134.541 ± 13.597 Ω., donde la celda de combustible microbiana mostro una densidad de potencia de 254.452 ± 19.985 mW/cm$^2$ para una densidad de corriente de 4.688 ± 0.894 A/cm$^2$, mientras que la densidad encontrada en la cámara catódica fue de 1.357x10$^6$ ± 0.157 x10$^6$ cel/mL.***

***Palabras clave—efluentes de curtiembre, microalgas "Chlorella sp.", sostenibilidad, celdas de combustible microbiana.***

## I. INTRODUCCIÓN

El curtido es una industria antigua que históricamente atendía las necesidades locales de artículos de cuero como calzado e instrumentos musicales [1]. A medida que la población crecía, surgieron curtidurías comerciales para satisfacer la creciente demanda de productos de cuero [2]. Actualmente, el curtido al cromo es el método predominante y representa el 90% de la producción mundial de cuero, observándose un crecimiento significativo en los países en desarrollo y en los nuevos industrializados durante las últimas décadas [3,4]. En la industria del cuero se generan proceso de curtido que implican convertir pieles de animales en productos de cuero duraderos a través de varios subprocesos como la operación de ribera, procesos de curtido, recurtido y acabado [5,6]. Los diferentes tipos de productos de cuero requieren diferentes procesos de curtido, lo que da lugar a diferentes cantidades y tipos de residuos generados por las industrias de curtido [7]. La industria del cuero, que utiliza sulfato de Cr(III) para el curtido, contribuye significativamente a la contaminación por cromo en el medio ambiente [8]. El cromo existe en dos formas estables, Cr (III) y Cr (VI), siendo el Cr (VI) más tóxico debido a sus propiedades como mayor solubilidad y permeabilidad [9]. Las regulaciones limitan la descarga de Cr(VI) en aguas superficiales para proteger el medio ambiente, enfatizando la importancia de gestionar la contaminación por cromo proveniente de las actividades de las curtidurías [10,11]. Los metales pesados, como el cromo hexavalente (Cr VI), son una preocupación ambiental importante debido a su alta toxicidad y presencia duradera en el medio ambiente [12]. El Cr(VI) se utiliza ampliamente en diversas industrias y plantea riesgos para la salud, ya que puede bioacumularse en la cadena alimentaria y se ha relacionado con el cáncer [13-15]. Los métodos de tratamiento para la contaminación por Cr(VI) a menudo implican reducirla a formas de Cr(III) menos tóxicas, pero estos métodos pueden consumir mucha energía y ser costosos de gestionar [16,17].

Por otro lado, las microalgas "Chlorella sp." tienen la capacidad de producir biomasa a partir del CO2, se ha estimado que se produce 1 gr de biomasa a partir 1.83 gr de CO2, cuya biomasa tiene aplicaciones para la creación de lípidos y carbohidratos como fuente de precursores químicos y biocombustibles [18-20]. Además, la fijación de CO2 de microalgas de biomasa productora se puede utilizar para producir componentes específicos que se pueden refinar como subproductos de alto valor para lograr la sostenibilidad económica [21,22]. Debido a esto se han buscado una gran variedad de aplicaciones para utilización de microalgas "chorella sp.", una de las mas interesantes en su aplicación en celdas de combustible microbiana (CCMs) [23]. La tecnología de las CCMs tiene gran éxito debido a que suelen usar como fuentes de combustible a diferentes tipos de desechos o sustancia, constan de las cámara anódica y cámara catódica que están separadas casi siempre por una membrana de intercambio protónico por el interior y unidas por un circuito externo [24,25]. En este sentido, se ha observado en la literatura la generación de energía eléctrica y pigmentos de valor agregado en celdas de combustible microbiana con algas

fotosintéticas usando como combustible microalgas Chlorella vulgaris en el compartimento del cátodo y un consorcio bacteriano en el ánodo, logrando generar una potencia máxima de 62.7 mW/$m^2$ con una intensidad de luz de 96 µE/($m^2$/s) [26]. Además, se ha desarrollado celdas de combustible microbianas para el tratamiento de desechos orgánicos, producir electricidad y producción de microalgas simultáneamente, utilizando como combustible biomasa de microalgas muertas usando como sustrato en el ánodo y el $CO_2$ generado en este compartimiento se usó para cultivar microalgas de agua dulce en el cátodo, mostrando una densidad de potencia máxima fue de 1926 ± 21.4 mW/$m^2$ y una eficiencia coulómbica de 6.3 ± 0.2% [27]. Pero hasta la actualidad no se ha encontrado la utilización de efluentes de curtiembre y microalgas "Chlorella sp." en celdas de combustible microbiana de doble cámara.

Motivo por el cual, el objetivo principal de esta investigación es la utilización de las microalgas Chorella sp. y efluentes de curtiembre en celdas de combustible microbiana de doble cámara, usando electrodos de carbón y zinc, con el fin de observar el potencial de estas sustancias en la generación de energía eléctrica y reducción de contaminantes por parte de la CCM. Para cual se monitoreará por 21 días lo valores de corriente eléctrica, densidad de potencia, densidad de corriente, voltaje, conductividad eléctrica, resistencia interna de la CCM, demanda química de oxígeno, turbidez, pH, tasa de crecimiento de las algas. Esta investigación brindara nuevos aportes en el área de la generación de energía eléctrica de forma sostenible, y reducción de contaminantes de forma simultánea.

## II. Materiales y Métodos

### 2.1 Operacionalización de la CCM de doble cámara

Las celdas de combustible microbiana utilizada de doble cámara se realizaron a partir de dos frascos de 1000 mL a los cuales se les realizaron orificios de 5 cm de diámetro, cada orificio se sirvió para unir un tubo de 15 cm de largo donde en el medio se colocó el Nafion 117 (Wilmington, DE, USA) como membrana de intercambio protónico. Los electrodos usados fueron carbón para el ánodo (área =36 $cm^2$) y zinc para el cátodo (área =36 $cm^2$), y fueron unidos al circuito externo por medio de cobre, como se observa en la Figura 1. La recolección de los efluentes de Curtiembre se realizó de la empresa Orion S.A., Trujillo, Peru, se colectaron aproximadamente 5 litros de efluentes de curtiembre en un recipiente de polietileno de primer uso; estas aguas se utilizaron 1000 mL como sustrato en la cámara anódica. Para la cámara catódica se utilizó microalgas *Chorella sp.* para lo cual se realizo un medo de cultivo a base de urea (0.20 gr) y cloruro de potasio (15 mg) en 100 ml de caldo de residuos de pescado previamente filtrado y esterilizado en autoclave a 121°C durante 15 min. Para el cultivo de microalgas *Chorella sp* unicelular de color verde se agregó agua destilada en proporción 1:1 y se centrifugó a 3500 rpm por 15 minutos para obtener la biomasa. El mismo procedimiento se realizó por tres veces para lavar y obtener una muestra pura, obteniendo de 300 ml de inóculo de microalga *Chorella sp* donde se le agregó a 1.2 L de medio de caldo de residuos de pescado a un pH de 7.0 y temperatura ambiente (22 ± 3), de todo solo se usó 1000 mL para la CCM, el resultado final se puede observar en la Figura 1.



Figura 1. Esquematización del experimento.

### 2.2. Métodos para las obtenciones de los valores monitoreados de las CCMs

El monitoreo del voltaje y corriente (con resistencia externa de 10 ± 0.2Ω) se realizó mediante un multímetro (Prasek Premium PR-85) cada 24 horas por un periodo de 30 días. Mientras que para la medición de densidad de corriente (DC) y densidad de potencia (DP) se usaron las resistencias y metodo de De La Cruz et al. (2023) [28]. El monitorio de los cambios de la conductividad (conductivity meter CD-4301) y pH (pH- meter 110Series Oakton) también se lograron medir. Para el conteo celular se realizó por método directo con la cámara de Neubauer [29], y se realizaron cada 24 horas y se realizó la identificación de la cepa mediante observación en el microscopio. Para el conteo celular se realizó por método directo con la cámara de Neubauer [29], y se realizaron cada 24 horas y se realizó la identificación de la cepa mediante observación en el microscopio. La fórmula según Bastidas O. [30] se usó para obtener la concentración de células por mililitro está dada por la ecuación 1.

$$\text{Concentración} = \frac{\text{Total células contadas x 10.000}}{\text{Número de cuadrados x dilución}} \quad (1)$$

## III. Resultados y Análisis

En la Figura 2 (a) se pueden observar el incremento de los valores del voltaje de las celdas de combustible microbiana de doble cámara, donde las celdas muestran un aumento de los valores desde el primer día (0.081 ± 0.001 V) hasta el doceavo dia, cuyo valor fue de 1.046 ± 0.024V, las CCMs mostraron una disminuir en los días posteriores hasta el último día (0.837 ± 0.32 V). El incremento de los valores de voltaje, la literatura ha reportado que se debe al diferencial de potencial creado entre los electrodos de las cámaras anódicas y catódicas, cuyo valor incremente en los primeros días debido a la alta cantidad orgánica presente en el sustrato; cuya medida disminuye durante la operacionalización de las celdas de combustible microbiana [31,32].

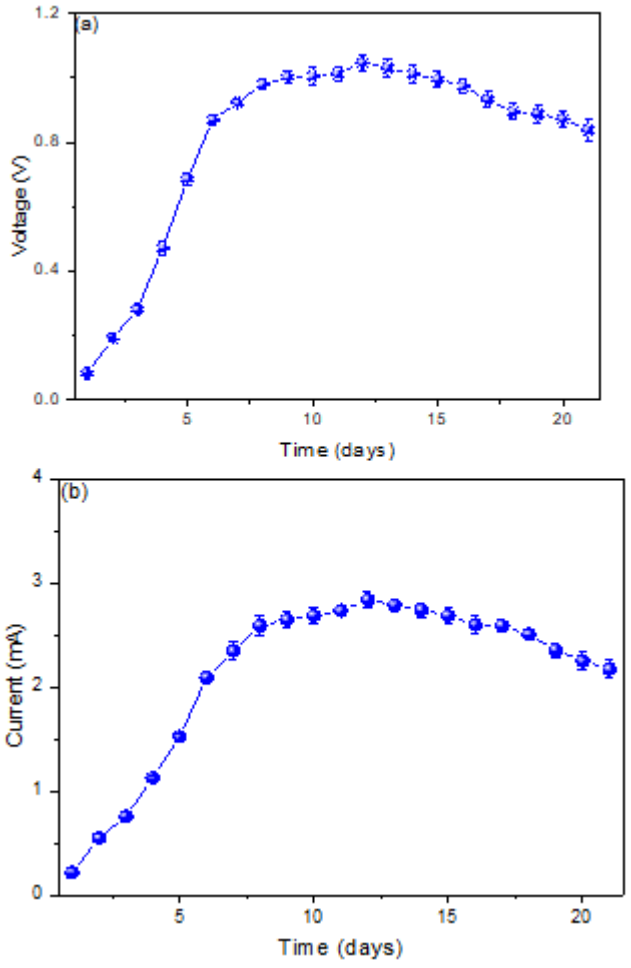



Figura 2. Monitoreo de valores de (a) voltaje y (b) corriente eléctrica de celdas de combustible microbianas.

Las celdas de combustible microbiana lograron generar corriente eléctrica que se muestra en la Figura 2 (b), los valores de corriente incrementaron desde el día 1 hasta el día 12, cuyos valores aumentaron desde 0.221 ± 0.019 mA hasta 2.836 ± 0.081mA; para que los siguientes observar una disminución de los valores hasta el último día (2.172 ± 0.087mA). Los microbios electrogénicos presentes principalmente en los sustratos de la cámara anódica son los responsables de generar los electrones que son captados por los electrodos y transportados por el circuito externo a la cámara catódica [33]. A medida que los microbios comienzan a ralentizar sus metabolismos la generación de electrones también decae, motivo por el cual se observa la disminución de los valores en los últimos días [34,35].

La Figura 3 (a) se puede notar los valores de pH de las cámaras anódicas y catódicas de las celdas de combustible microbiana, donde se nota claramente de la cámara anódica donde se encuentre los efluentes los valores aumentar progresivamente desde un ambiente acido a un ambiente neutro, siendo el valor de pH óptimo de operación de 5.438 ± 0.241 en el doceavo día. Mientras que la camara catódica donde se encuentra las algas se observan en un ambiente neutro durante toda la operación de las CCMs. Los valores de pH son de vital importancia para el funcionamiento de las celdas de combustible microbiana, debido a que los orgánicos como son las bacterias prosperan en ambientes con valores de pH específicos, por lo que es de vital importancia el conocimiento sobre los valores exacto del punto máximo de operación con los sustratos específicos [36,37]. Los valores de la conductividad electrica de las celdas de combustible microbiana de doble camara han sido representados en la Figura 3 (b), notando un incremete sucesido desde el primer dia (27.968 ± 1.014 mS/cm) hasta el doceavo dia (124.357 ± 4.714 mS/cm), estos valores sufrieron una caida en los dias sucesivos hasta el veintiunavo dia (79.083 ± 6.841 mS/cm). En la Figura 3 (c) se muestra el crecimiento de las densidades promedios (cel/mL) de las celdas de combustible microbiana por los 21 días de monitoreo, observándose en el doceavo día el valor máximo del crecimiento progresivo mostrado por la biomasa de la microalga *Chlorella sp* de $1.357 \times 10^6 \pm 0.157 \times 10^6$ cel/mL, de acuerdo con la curva de crecimiento se puede afirmar que la *Chlorella sp* aún se encuentra en la fase de crecimiento de su desarrollo, pero en los días sucesivos se muestra un pequeño decaimiento. En cultivos grandes, la población de microalgas aumenta hasta que aparecen ciertos factores limitantes y todos los subproductos producidos durante el crecimiento celular están presentes en el medio de cultivo [38]. Cuando los recursos se agotan, las cosechas mueren [39]. Según Marrakchi et al. (2023) encontraron que algunos de los efectos de la turbulencia (un producto de la aireación) incluyen la eliminación de oxígeno, la disolución y distribución de dióxido de carbono y nutrientes, que son esenciales para cultivos densos [40].

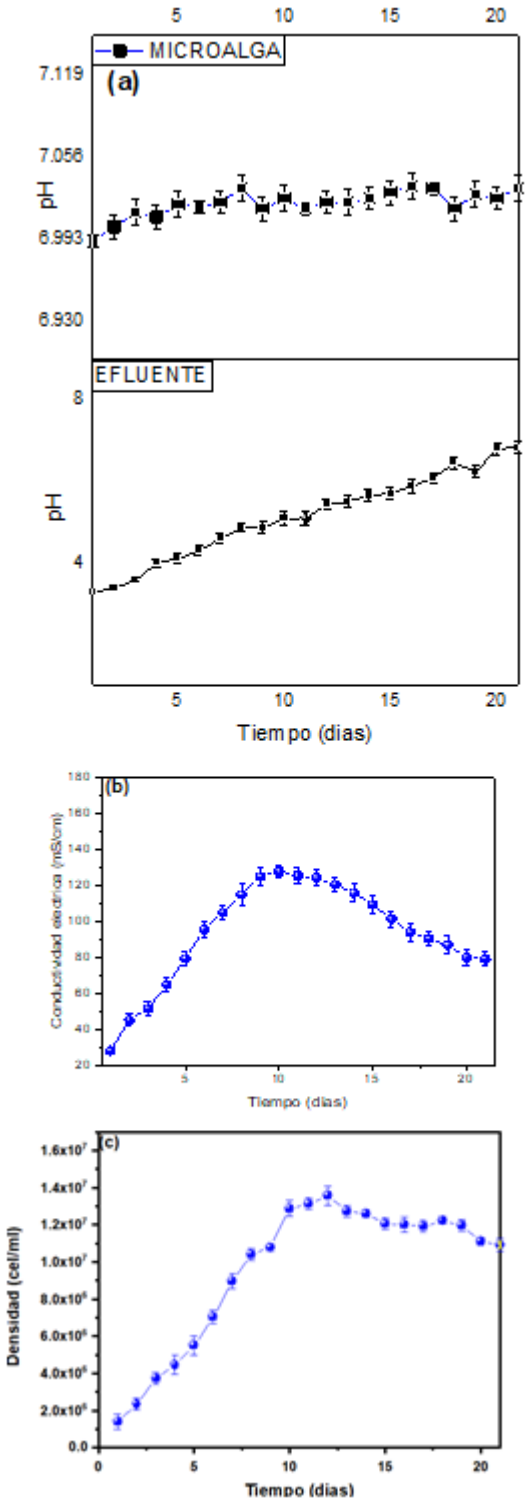



Figura 3. Valores de (a) pH, (b) conductividad electroca y (c) densidad de las microalgas de las celdas de combustible microbiana.

Los valores de la resistencia interna de las celdas de combustible microbiana de doble cámara son mostrados en la en la Figura 4 (a), cuyo valor fue calculada mediante la Ley Ohm, donde el valor de la pendiente representa el valor promedio de la resistencia interna de la celda de combustible microbiana de doble cámara, cuyo valor fue de 134.541 ± 13.597 Ω. La naturaleza metálica de los electrodos ayuda a disminuir la resistencia de los dispositivos electrónicos, se ha encontrado algunas investigaciones que mencionan que al incrustar una mayor concentración de metales en celdas de combustible microbiana mejora la transición de los electrones [41,42]. Elshobary et al (2021) utilizo microalgas en sus celdas de combustible microbiana, logrando mostrar una resistencia interna de 611.8 Ω, mencionada que la baja alta conductividad del sustrato no ayudo a disminuir los valores de la resistencia interna de la celda [43]. Los valores de la densidad de potencia promedia máxima fue 254.452 ± 19.985 mW/cm$^2$ en una densidad de corriente de 4.688 ± 0.894 A/cm$^2$, se puede observar Figura 4 (b). Hadiyanto et al. (2023) uso a las microalgas *Spirulina* como sustrato en sus celdas de combustible microbiana con electrodos de grafito, logrando mostrar una densidad de potencia máxima de 14.47 ± 0.7 mW/m$^2$ mencionando que la distancia de separación de los electrodos es un factor importante en estos resultados [44]. De forma similar, Ash-Shalehah et al. (2022) en su investigación utilizo un consorcio de *Chlorella vulgaris* y *Spirulina Platensis* como sustrato en sus celdas de combustible microbiana, logrando mostrar una densidad de potencia de 323.477 mW/m$^2$, mencionado que los valores de la densidad de potencia también se ven influenciadas por las fugas de corriente que pueda tener el electrodo al momento de fabricación [45].

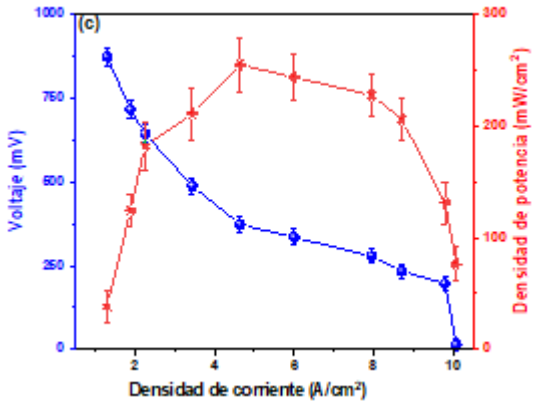



Figura 4. Valores de (a) resistencia interna y (b) densidad de potencia en función de la densidad de corriente.

## IV. Conclusiones

La utilización de las las microalgas Chorella sp. y los efluentes de curtiembre como combustible en celdas de combustible

microbiana de doble cámara, se realizaron exitosamente logrando generar valores promedios máximos de 1.046 ± 0.024V cuya conductividad eléctrica fue de 124.357 ± 4.714 mS/cm y una corriente electrica de 2.836 ± 0.081mA en el doceavo día, cuyo pH de operación mostradas por el sustrato de la cámara anódica fue de 5.438 ± 0.241 y los valores de las microalgas en la cámara catódica se mantuvo neutro. Los valores de la densidad de las microalgas reportaron un aumento hasta el doceavo día de $1.357x10^6$ ± 0.157 $x10^6$ cel/mL, donde la densidad de potencia máxima promedio fue de 254.452 ± 19.985 $mW/cm^2$ cuya densidad de corriente de 4.688 ± 0.894 $A/cm^2$, todos estos valores se reportaron en el día 12 donde la resistencia interna de las celdas de combustible microbiana fue de 134.541 ± 13.597 Ω.

Para los trabajos futuros se recomienda la estandarización de los valores de pH con sustancias química, para obtener los mejores valores de las celdas de combustible microbiano. Así como, También la aplicación de biocatalizadores para mejorar la performance del dispositivo electrónico.

## AGRADECIMIENTO

La investigación fue financiada por la Universidad Autónoma del Perú.

## REFERENCIA


1. Abdelkader, S. E., El-Gendy, A. S., & El-Haggar, S. (2021). Removal of trivalent chromium from tannery wastewater using solid wastes. *Innovative Infrastructure Solutions*, *6*, 1-8.
2. Nur-E-Alam, M., Mia, M. A. S., Ahmad, F., & Rahman, M. M. (2020). An overview of chromium removal techniques from tannery effluent. *Applied Water Science*, *10*(9), 205.
3. Ake, A. H. J., Hafidi, M., Ouhdouch, Y., Jemo, M., Aziz, S., & El Fels, L. (2023). Microorganisms from tannery wastewater: Isolation and screening for potential chromium removal. *Environmental Technology & Innovation*, *31*, 103167.
4. Long, H., Huang, X., Liao, Y., & Ding, J. (2021). Recovery of Cr (VI) from tannery sludge and chrome-tanned leather shavings by Na2CO3 segmented calcination. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *9*(2), 105026.
5. Hashem, M., Mim, S., Ahsan, A., Sheikh, M., Bushra, S., & Rownok, A. (2021). Chromium adsorption on coir pith charcoal from tannery wastewater. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, *56*(1), 53-60.
6. Hashem, M. A., Hasan, M., Momen, M. A., Payel, S., & Nur-A-Tomal, M. S. (2020). Water hyacinth biochar for trivalent chromium adsorption from tannery wastewater. *Environmental and Sustainability Indicators*, *5*, 100022.
7. Hashem, M. A., Hasan, M., Momen, M. A., Payel, S., & Nur-A-Tomal, M. S. (2020). Water hyacinth biochar for trivalent chromium adsorption from tannery wastewater. *Environmental and Sustainability Indicators*, *5*, 100022.
8. Shaibur, M. R. (2023). Heavy metals in chrome-tanned shaving of the tannery industry are a potential hazard to the environment of Bangladesh. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, *7*, 100281.
9. Hao, D., Wang, X., Liang, S., Yue, O., Liu, X., Hao, D., & Dang, X. (2023). Sustainable leather making—An amphoteric organic chrome-free tanning agents based on recycling waste leather. *Science of The Total Environment*, *867*, 161531.
10. Li, Z., Yu, D., Wang, X., Liu, X., Xu, Z., & Wang, Y. (2024). A novel strategy of tannery sludge disposal–converting into biochar and reusing for Cr (VI) removal from tannery wastewater. *journal of environmental sciences*, *138*, 637-649.
11. Misganaw, A., Akenaw, B., & Getu, S. (2024). Determination of the level of chromium (III) and comparison of chemical precipitating agents to recover and reuse it from tannery waste water. *Desalination and Water Treatment*, 100150.
12. Hao, D., Wang, X., Yue, O., Liang, S., Bai, Z., Yang, J., ... & Dang, X. (2023). A "wrench-like" green amphoteric organic chrome-free tanning agent provides long-term and effective antibacterial protection for leather. *Journal of Cleaner Production*, *404*, 136917.
13. Murugan, K. P., Sabarinathan, S., Prabhakaran, N., & Swarnalatha, S. (2023). Valorization of hazardous chrome tanned leather buffing waste for the production of Cr2O3/carbon/TiO2 composite semiconductors with the removal of chlorophenol from its wastewater. *Chemical Engineering Journal*, *468*, 143547.
14. Jannat, N., Nahar, H., Khan, N. S., Tanmoy, M. A., Mottalib, M. A., Goni, M. A., ... & Miran, M. S. (2023). Potential removal of chromium from tannery wastewater by water hyacinth roots. *Water Conservation Science and Engineering*, *8*(1), 21.
15. Chiampo, F., Shanthakumar, S., Ricky, R., & Ganapathy, G. P. (2023). Tannery: environmental impacts and sustainable technologies. *Materials Today: Proceedings*.
16. Banti, A., Grammenos, O., Kokkinos, E., Touni, A., Sotiropoulos, S., & Zouboulis, A. (2023). Electrochemical conversion of chromium from tannery effluents for potential reuse in industrial applications. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(4), 8722-8731.
17. Ghorab, R. E. A., Pugazhendi, A., Jamal, M. T., Jeyakumar, R. B., Godon, J. J., & Mathew, D. K. (2022). Tannery wastewater treatment coupled with bioenergy production in upflow microbial fuel cell under saline condition. *Environmental Research*, *212*, 113304.
18. Sindhuja, M., Harinipriya, S., Bala, A. C., & Ray, A. K. (2018). Environmentally available biowastes as substrate in microbial fuel cell for efficient chromium reduction. *Journal of hazardous materials*, *355*, 197-205.
19. Kuo, C. M., Sun, Y. L., Lin, C. H., Lin, C. H., Wu, H. T., & Lin, C. S. (2021). Cultivation and biorefinery of microalgae (Chlorella sp.) for producing biofuels and other byproducts: A review. *Sustainability*, *13*(23), 13480.
20. Shaima, A. F., Yasin, N. H. M., Ibrahim, N., Takriff, M. S., Gunasekaran, D., & Ismaeel, M. Y. (2022). Unveiling antimicrobial activity of microalgae Chlorella sorokiniana (UKM2), Chlorella sp.(UKM8) and Scenedesmus sp.(UKM9). *Saudi journal of biological sciences*, *29*(2), 1043-1052.
21. Natarajan, L., Omer, S., Jetly, N., Jenifer, M. A., Chandrasekaran, N., Suraishkumar, G. K., & Mukherjee, A. (2020). Eco-corona formation lessens the toxic effects of polystyrene nanoplastics towards marine microalgae Chlorella sp. *Environmental Research*, *188*, 109842.
22. Hu, N., Xu, Y., Sun, C., Zhu, L., Sun, S., Zhao, Y., & Hu, C. (2021). Removal of atrazine in catalytic degradation solutions by microalgae Chlorella sp. and evaluation of toxicity of degradation

products via algal growth and photosynthetic activity. *Ecotoxicology and environmental safety*, *207*, 111546.
23. Jiménez-Llanos, J., Ramírez-Carmona, M., Rendón-Castrillón, L., & Ocampo-López, C. (2020). Sustainable biohydrogen production by Chlorella sp. microalgae: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, *45*(15), 8310-8328.
24. Agbede, O. O., Oke, E. O., Akinfenwa, S. I., Wahab, K. T., Ogundipe, S., Aworanti, O. A., ... & Babatunde, K. A. (2020). Thin layer drying of green microalgae (Chlorella sp.) paste biomass: Drying characteristics, energy requirement and mathematical modeling. *Bioresource Technology Reports*, *11*, 100467.
25. 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.
26. Fadhil, S. H., & Ismail, Z. Z. (2023). Influence of Light Color on Power Generation and Microalgae Growth in Photosynthetic Microbial Fuel Cell with Chlorella Vulgaris Microalgae as Bio-Cathode. *Current Microbiology*, *80*(5), 177.
27. De La Cruz-Noriega, M., Benites, S. M., Rojas-Flores, S., Otiniano, N. M., Sabogal Vargas, A. M., Alfaro, R., ... & Delfín-Narciso, D. (2023). Use of Wastewater and Electrogenic Bacteria to Generate Eco-Friendly Electricity through Microbial Fuel Cells. *Sustainability*, *15*(13), 10640.
28. Iannucci, L., Parvis, M., Cristiani, P., Ferrero, R., Angelini, E., & Grassini, S. (2019). A Novel Approach for Microbial Corrosion Assessment. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, *68*(5), 1424-1431.
29. Chen, W., Liu, Z., Li, Y., Jiang, K., Hou, J., Lou, X., ... & Zhu, X. (2019). A novel stainless steel fiber felt/Pd nanocatalysts electrode for efficient ORR in air-cathode microbial fuel cells. *Electrochimica Acta*, *324*, 134862.
30. Dziegielowski, J., Mascia, M., Metcalfe, B., & Di Lorenzo, M. (2023). Voltage evolution and electrochemical behaviour of Soil microbial fuel cells operated in different quality soils. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *56*, 103071.
31. Hamdan, H. Z., & Salam, D. A. (2023). Sediment microbial fuel cells for bioremediation of pollutants and power generation: a review. *Environmental Chemistry Letters*, *21*(5), 2761-2787.
32. Bazina, N., Ahmed, T. G., Almdaaf, M., Jibia, S., & Sarker, M. (2023). Power generation from wastewater using microbial fuel cells: A review. *Journal of Biotechnology*.
33. Meylani, V., Surahman, E., Fudholi, A., Almalki, W. H., Ilyas, N., & Sayyed, R. Z. (2023). Biodiversity in microbial fuel cells: Review of a promising technology for wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, *11*(2), 109503.
34. Gupta, S., Patro, A., Mittal, Y., Dwivedi, S., Saket, P., Panja, R., ... & Yadav, A. K. (2023). The race between classical microbial fuel cells, sediment-microbial fuel cells, plant-microbial fuel cells, and constructed wetlands-microbial fuel cells: Applications and technology readiness level. *Science of the Total Environment*, *879*, 162757.
35. Banerjee, A., Calay, R. K., & Das, S. (2023). Effect of pH, COD, and HRT on the performance of microbial fuel cell using synthetic dairy wastewater. *Water*, *15*(19), 3472.
36. Ding, F., Liu, H., Jiang, X., Jiang, Y., Cheng, J., Tu, Y., ... & Yan, X. (2023). Bimetallic zeolite imidazolium framework derived multiphase Co/HNC as pH-universal catalysts with efficient oxygen reduction performance for microbial fuel cells. *Electrochimica Acta*, *438*, 141548.
37. Kuo, C. M., Sun, Y. L., Lin, C. H., Lin, C. H., Wu, H. T., & Lin, C. S. (2021). Cultivation and biorefinery of microalgae (Chlorella sp.) for producing biofuels and other byproducts: A review. *Sustainability*, *13*(23), 13480.
38. Shaima, A. F., Yasin, N. H. M., Ibrahim, N., Takriff, M. S., Gunasekaran, D., & Ismaeel, M. Y. (2022). Unveiling antimicrobial activity of microalgae Chlorella sorokiniana (UKM2), Chlorella sp.(UKM8) and Scenedesmus sp.(UKM9). *Saudi journal of biological sciences*, *29*(2), 1043-1052.
39. Marrakchi, F., Wei, M., Cao, B., Yuan, C., Chen, H., & Wang, S. (2023). Copyrolysis of microalga Chlorella sp. and alkali lignin with potassium carbonate impregnation for synergistic Bisphenol A plasticizer adsorption. *International Journal of Biological Macromolecules*, *228*, 808-815.
40. Deng, Z., Zhu, J., Yang, L., Zhang, Z., Li, B., Xia, L., & Wu, L. (2022). Microalgae fuel cells enhanced biodegradation of imidacloprid by Chlorella sp. *Biochemical Engineering Journal*, *179*, 108327.
41. Hadiyanto, H., Christwardana, M., & da Costa, C. (2023). Electrogenic and biomass production capabilities of a microalgae–microbial fuel cell (MMFC) system using tapioca wastewater and Spirulina platensis for COD reduction. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, *45*(2), 3409-3420.
42. Kakarla, R., & Min, B. (2014). Photoautotrophic microalgae Scenedesmus obliquus attached on a cathode as oxygen producers for microbial fuel cell (MFC) operation. *international journal of hydrogen energy*, *39*(19), 10275-10283.
43. Elshobary, M. E., Zabed, H. M., Yun, J., Zhang, G., & Qi, X. (2021). Recent insights into microalgae-assisted microbial fuel cells for generating sustainable bioelectricity. *International Journal of Hydrogen Energy*, *46*(4), 3135-3159.
44. Hadiyanto, H., Christwardana, M., & da Costa, C. (2023). Electrogenic and biomass production capabilities of a microalgae–microbial fuel cell (MMFC) system using tapioca wastewater and Spirulina platensis for COD reduction. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, *45*(2), 3409-3420.
45. Ash-Shalehah, L. M. Z., Anggraeni, C., & Gloria, E. (2022). Development of microalgae-microbial fuel cell (mmfc) technology using microalgae consortium of chlorella vulgaris and spirulina platensis.