



Article scientific

Effect of microbial fuel cells on the production of electrical energy from the mucilage of *Theobroma cacao* "cocoa"

 Rolando Reyes Huamán ^a

^a Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú 

ITEM INFORMATION

Published: 2024-06-20
Accepted: 2024-06-12
Received: 2024-02-28

Keywords:

Mucilaginous water
Electric power
Environmental pollution
Oxygen exchange
Microbial fuel cell

ABSTRACT

The study carried out seeks to find an alternative solution for the environmental contamination of the main receiving bodies without prior treatment, in the following study water with a mucilaginous composition of cocoa with a high content of organic matter has been used to generate electric current through cells of microbial fuel. For the study method, mucilaginous water from the Alto Huallaga Agroindustrial Cooperative was used with a 2.3 L sample with oxygen exchange every 24h, obtaining as a result 1248mV of electrical energy throughout the evaluation process, in addition to removing 83.46 % organic matter from an initial sample 220.615mg/l of contaminant as organic matter.

Efecto de las celdas de combustible microbiana en la producción de energía eléctrica a partir del mucilago del *Theobroma cacao* "cacao"


RESUMEN

El estudio realizado busca, encontrar una alternativa de solución por la contaminación ambiental de los principales de cuerpos receptores sin previo tratamiento, en el siguiente estudio se ha utilizado agua de composición mucilaginosa del cacao de alto contenido de materia orgánica para generar corriente eléctrica mediante celdas de combustible microbiana. Para el método de estudio se utilizó el agua mucilaginosa de la Cooperativa Agroindustrial Alto Huallaga con una muestra de 2.3 L con recambio de oxígeno cada 24h obteniendo como resultado 1248mV de energía eléctrica en todo el proceso de evaluación, además de logró remover el 83.46% de materia orgánica de una muestra inicial 220.615mg/l de contaminante como materia orgánica.

Palabras clave:

Agua mucilaginosa
Energía eléctrica
Contaminación ambiental
Recambio de oxígeno
Celda de combustible microbiana



 <https://doi.org/10.47422/GreenHorizon.v3i1.28>



INTRODUCCIÓN

El vertimiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica contamina las fuentes naturales. La industria de cacao, durante su proceso de transformación genera aguas residuales con esta característica, donde gran parte de la materia orgánica proviene del mucílago de cacao. Esta investigación busca encontrar una alternativa de solución a la contaminación ambiental, utilizando esta agua para generar corriente eléctrica mediante celdas de combustible microbiana. Las celdas microbianas son tecnologías para generar energía eléctrica, como alternativa a la generación de otras energías renovables. Poseen una gran expectativa a su desarrollo, pues depende de la actividad microbiana y de un sustrato, obtenido de fuentes renovables de vertimientos de industrias que contengan materia orgánica. El oxígeno es indispensable en la cámara aeróbica, influye directamente en la obtención de energía. Este sistema se caracteriza por la remoción de materia orgánica en función de la generación de energía eléctrica en una celda de combustible microbiana con agua residual de la industria de cacao con una celda aeróbica que tiene oxigenación natural mediante los procesos fotosintéticos. El manejo de los parámetros es indispensable para el rendimiento de estos sistemas de generación de energía eléctrica.

Como consecuencia de la generación de energía fósil, el mundo experimenta diversos problemas ambientales, dentro de los cuales se podrían citar la contaminación atmosférica, la contaminación de las cuencas hídricas, del suelo por descargas de aguas residuales y residuos peligrosos, etc.

Las celdas microbianas son tecnologías para generar energía eléctrica, como alternativa a la generación de otras energías renovables. Poseen una gran expectativa a su desarrollo, pues depende de la actividad microbiana y de un sustrato, obtenido de fuentes renovables de vertimientos de industrias que contengan materia orgánica. El oxígeno es indispensable en la cámara aeróbica, pues influye directamente en la obtención de energía. Este sistema se caracteriza por la remoción de materia orgánica en función de la generación de energía eléctrica y facilite alternativas de manejo en la cámara aeróbica oxigenando mediante procesos fotosintéticos. El trabajo de investigación tuvo por objetivo determinar el efecto de las celdas de combustible microbiana en la producción de energía eléctrica a partir del mucílago del *Theobroma cacao* "cacao".

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Laboratorio de Calidad del agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS) ubicado en el Distrito de Rupa Rupa, Provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco.

El estudio se realizó en referencia de Logan et al. (2006) se diseñó con la finalidad de evidenciar el funcionamiento y la obtención de energía eléctrica mediante celdas de combustible microbiana. Los electrodos conformados de placas de cobre 5cm x 3cm y placas de zinc respectivamente se introdujeron en cada una de las 4 celdas (botellas de polietileno). Las celdas de doble cámara en forma de H, conectadas por medio de un tubo que contiene de una membrana selectiva Agar-agar cada celda de combustible con una capacidad de 2.5L. Luego se realizó las mediciones de los parámetros correspondientes después de un periodo de 24h, en la muestra extraída de los efluentes de la cooperativa agroindustrial alto Huallaga, siguiendo los procedimientos para la propagación de microorganismos, como fuente de energía.

Celda anaeróbica

En la celda anaeróbica se producen electrones y protones a través de la oxidación microbiana. Los iones de hidrogeno migran hacia la cámara catódica a través del separador también membrana de intercambio de iones Liu et al. (2004), menciona la presencia de oxígeno en la celda aeróbica donde se combinan con el oxígeno del aire para producir agua, esta reacción no está catalizada por microorganismos o compuesto químico. En este trabajo siendo una de las prioridades mantener con alto contenido de oxígeno, mediante los procesos fotosintéticos.

El flujograma de operación se realizó de los siguientes criterios, Luego de la construcción de las celdas cada uno con sus respectivos electrodos en las celdas anaeróbicas y aeróbicas y el puente salino, se procedió al llenado de agua residual en la celda anaeróbica mientras en la celda aeróbica se llenó de agua con alto contenido de oxígeno disuelto y las respectivas mediciones de potencial de hidrogeno, demanda biológica de oxígeno, oxígeno disuelto y el potencial eléctrico, se realizó la evaluación de los parámetros en 24, 48 y 72 horas durante la duración de la investigación.

Celda aeróbica

La funcionalidad inicia desde la celda anaeróbica donde producen electrones y protones. Los iones de hidrogeno migran

hacia la cámara catódica a través del separador también membrana de intercambio de iones Liu et al. (2004), menciona la presencia de oxígeno en la celda aeróbica donde se combinan con el oxígeno del aire para producir agua, esta reacción no está catalizada por microorganismos o compuesto químico, el manejo de la celda anaeróbica es un eje fundamental para la eficacia del sistema. En este trabajo siendo una de las prioridades mantener con alto contenido de oxígeno, mediante los procesos fotosintéticos.

Este proceso se evaluó en periodos de 24, 48, 72 h, el llenado del agua con alto contenido de oxígeno disuelto y el testigo, donde en este no se cambió de agua durante el tiempo de operación, este proceso es realizado para contrastar si el oxígeno disuelto es indispensable en el rendimiento del potencial eléctrico. Y posteriormente se realizó el análisis estadístico para cada parámetro. La sustancia mucilaginoso extraída fue de la Cooperativa Agroindustrial alto Huallaga un total de 20 litros, luego se trasladó al laboratorio de calidad del agua de la Universidad Nacional agraria de la selva luego paso la homogenización por un tiempo 24 horas con la finalidad de lograr la propagación de los microorganismos anaeróbicos. Para el traslado de microorganismos de un lugar a otro necesitan condiciones favorables, movimientos vibratorios, movimientos de torsión en los que cambian la densidad de su cuerpo, si no son tomados en cuenta estos factores, sufren alteraciones, mutaciones y algunos mueren. Adecuación de los microorganismos para su la propagación de los microorganismos electrógenos bajo ciertos parámetros controlados, estas celdas se sellaron herméticamente, regulando el pH de 5 a 7 con el hidróxido de sodio en cada una de las celdas microbianas, este parámetro es fundamental para la propagación de los microorganismos electrógenos permitiendo propagarse y colonizándose entre sí.

Los parámetros evaluados fueron a 24, 48 y 72 horas en las distintas celdas y las muestras de testigo se evaluaron 17 días, además la medición del potencial eléctrico (mV) se ha medido con un multímetro digital marca TRUPER- 830, en milivoltios en cada uno de los tratamientos, la medición se realizó en la unión de los puntos del ánodo y cátodo se midieron cada 24 horas durante el proceso de evaluación en cada uno de los tratamientos.

Para la determinación de los efectos en la generación de energía eléctrica mediante celdas de combustible microbianas en la generación de energía eléctrica, el parámetro medido y evaluado fue el oxígeno presente en la celda anaeróbica. posteriormente se realizó el análisis estadístico en los tratamientos evaluados.

Para la comparación de tratamientos según Rubina (2017), se realizó la comparación de los tratamientos con respecto a los parámetros evaluados el potencial eléctrico y oxígeno presente en la celda aeróbica través de la prueba de Tukey, debido a que nos permitió comparar las medias de los tratamientos después de haber rechazado la Hipótesis nula de igualdad de medias en el ANOVA

Durante la investigación se estableció un experimento experimental completamente alzar, con tres repeticiones, tres tratamientos y un testigo. Los tratamientos con una capacidad de 2.3L de mucilago de cacao, los cuales se evaluaron en diferentes periodos de tiempo, como 24, 48 y 72h paralelamente al testigo, se evaluaron el potencial eléctrico y la eficiencia de remoción de materia orgánica en cada uno de los tratamientos en función al tiempo establecido, en los resultados obtenidos en cada tratamiento en relación con el tiempo, se observaron las fluctuaciones de los parámetros evaluados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales (sustancia mucilaginoso de cacao), pH de 3.8 con una carga orgánica de 220.615 mg/L el oxígeno disuelto 1.84 mg/L, esta carga orgánica será suficiente para producir energía eléctrica en una celda de combustible microbiana. La muestra evaluada fue 2.3 litros en cada uno de los tratamientos. De la muestra extraída de los efluentes proviene de la Cooperativa Agroindustrial Alto Huallaga, arrojando los siguientes datos.

Tabla 1

Resultados de la caracterización de sustancia mucilaginoso del cacao y presencia del oxígeno en la celda aeróbica

		ODmg/L	pH	DBO ₅ (mg/L)
Celda anaeróbica	Agua Residual (sustancia mucilaginoso del cacao)	1.84	3.8	220.615
Celda aeróbica	Agua con alto contenido de oxígeno	5.42	6.3	-.*

OD: Oxígeno disuelto

pH: Potencial de hidrogeno

DBO₅: Demanda biológica de oxígeno

*No se tomaron en cuenta los valores de temperatura y demanda biológica de oxígeno, esta variable no aporta valor con respecto a los objetivos de la investigación.

La Tabla 1 muestra el resultado de la determinación de la demanda biológica de oxígeno obtenido después de incubar la muestra del agua a una temperatura de 20 °C durante 5 días en la cámara incubadora, obteniendo como resultado de 220.615 mg/L de la muestra de mucilago de cacao. Además, en la misma tabla se observa un valor de 1.84 de oxígeno disuelto por mg/L de una muestra 2.3 litros de la sustancia mucilaginoso de cacao, mientras en la celda anaeróbica se observa un valor de 5.42 mg/L de oxígeno disuelto esta muestra se evaluó en dicha celda.

En la misma tabla muestra el potencial de hidrógeno de 3.8 de la muestra extraída, en comparación con otros estudios realizados dicha variación es mínima, en su investigación Rojas y Rojas (2017) menciona un pH de 3.4 – 3.9 está ácidos es por diversas fuentes como: ácidos orgánicos débiles tales como el CO₂ disuelto, presencia de ácidos cítricos, estas aguas residuales con su grado de ácidos, afectan al ecosistema acuático y las principales quebradas y ríos. El estudio realizado de Logan et al. (2006) determinó el comportamiento del pH en la celda anaeróbica es por reacción iónica las actividades metabólicas de los microorganismos. También indica la velocidad de producción de iones en el ánodo es constante, entonces se deduce que hay diferencia significativa entre ambas velocidades del flujo es continuo y no hay acumulación de estos en la cámara anaeróbica, pero si la velocidad de generación en la cámara anaeróbica supera la velocidad de reacción en la celda aeróbica entonces los iones no se acumulan en la celda anaeróbica tampoco se fermenta y producción de ácidos grasos volátiles (AGVs y otros productos intermediarios. En esta investigación realizada, el pH disminuye paulatinamente (que se reguló aplicando NaOH), el paso de flujo de iones hacia la cámara aeróbica es constante, siendo como indicador la ausencia de fermentación y algunos gases en exceso, el potencial de hidrogeno es manejado en un rango de 6 a 7 en la celda anaeróbica con la finalidad de proliferación de microorganismos electrógenos, Alzate et al. (2008), menciona que la mayoría de las bacterias (bacterias entéricas) empleadas en estos sistemas no tolera los niveles de pH superior de 7.5 tampoco inferior a 4. Además, por debajo de estos valores inhiben la actividad metalogénica y por ende se fermentan. Entonces el potencial eléctrico disminuye. Sin embargo, dentro del monitoreo realizado en este trabajo está en un rango de pH 6 a 7. Durante el proceso sufre una pequeña variación. Esto es normal por las actividades metabólicas de los microorganismos.

Los resultados en la cuantificación del oxígeno disuelto necesario para generar energía eléctrica, se observa en la tabla 2 es posible generar energía eléctrica a través del agua con alto contenido de oxígeno disuelto (celda aeróbica)

Tabla 1

Energía obtenida en distintos tiempos de operación del sistema bajo condiciones del oxígeno disuelto

Tiempo	Celdas	OD Aeróbica	mg/L	Energía obtenida (mV)	coeficiente variación de energía	Coeficiente variación de oxígeno disuelto celda aeróbica	Coeficiente variación de pH celda anaeróbica
Testigo	Testigo	2.96		262	9.69%	27.18%	1.04%
24 horas	T1	5.36		1 248	50.06%	3.44%	0.45%
48 horas	T2	4.15		765	42.67%	7.60%	0.91%
72 horas	T3	3.43		440	24.43%	17.65%	1.29%

Tiempo de evaluación (24, 48,72horas)

Tratamientos (T1, T2, T3)

OD: Oxígeno Disuelto

mV: Unidad de medida de energía (milivoltios)

pH: Potencial de hidrogeno

Durante la evaluación en el tiempo de exposición de cada tratamiento se observa una relación directa, durante las primeras 24 horas con oxígeno disuelto a un 5.36 OD mg/L genera 1 248mV, siendo el más eficiente en comparación de los demás tratamientos, en 48 horas con un volumen de 4.15 OD mg/L genera 765 Mb y a las 72 horas con un volumen de 3.43 mg/L de oxígeno disuelto genera 440mV de energía, esto demuestra que cuanto mayor sea el contenido de oxígeno disuelto mayor será la producción de energía (celda aeróbica) y se observa que pasado las 24 horas al disminuir la cantidad de oxígeno también disminuye la producción de energía según las pruebas realizadas a 48 y 72 horas La generación de energía eléctrica es directamente proporcional al oxígeno disuelto es decir la cantidad de oxígeno presente en la celda anaeróbica influye directamente a la constante producción de energía, en comparación con el trabajo de Buitrón y Pérez (2011) según sus resultados obtenidos fueron 408mV has 660mV generados, oxigenando la celda anaeróbica con bomba de aire (aireador de pecera) este mecanismos de oxigenación artificial de la cámara aeróbica influye para que los electrones sean liberados y captados. Además, comprobó que a falta de aireación en la cámara aeróbica se produce otros compuestos en la cámara anódica y como consecuencia disminuye el

potencial de hidrogeno, en su investigación, según Jiménez (2018) corrobora sobre el comportamiento del oxígeno como aceptor natural y recomendado debido a la accesibilidad y costo. Sin embargo, se usó componentes oxidantes químicos diferente al oxígeno, por eso siempre será la opción más viable económica debido no requiere el uso de energía es esta celda y no presenta ninguna toxicidad para la biomasa, es su prototipo usó una celda con los cátodos expuestos al aire y otros en la fase acuosa. Los investigadores evaluaron sobre el uso de energía para la aireación (gasto de energía) se logra alcanzar altas de densidades de potencia, usaron diversos aceptores químicos con la finalidad de generar mayor energía como ion férrico permanganato, nitratos, sulfatos, sim embargo se evalúa el costo de adquisición y la toxicidad, concluyen el uso del oxígeno natural para la generación de energía eléctrica incentivan mayor estudio a la celda anaeróbica para la oxigenación.

Resultados obtenidos mediante la determinación del potencial eléctrico en función a la tasa de remoción de la materia orgánica durante las tres pruebas evaluadas en diferentes tiempos durante 17 días que duró el proceso, tomando como materia principal el mucilago de cacao en una muestra de 2.3 litros por cada tratamiento, se obtuvieron los siguientes valores en la producción de energía eléctrica:

Tabla 2

Producción de energía eléctrica a través de la remoción de materia orgánica en distintos tiempos de operación

Tiempo de operación	Celdas	DBO _i (mg/L)	DBO _f (mg/L)	% Remoción de residuos mucílago cacao	Potencial del Eléctrico(mV)
Testigo	Testigo	220.615	125.1	43.29	262
24horas	T1	220.615	36.5	83.46	1 248
48horas	T2	220.615	57.4	73.98	765
72horas	T3	220.615	90.48	58.99	440

Tiempo de evaluación de los tratamientos: 24, 48, 72horas

Tratamientos: T1, T2, T3

DBO_i: Demanda biológica de oxígeno inicial

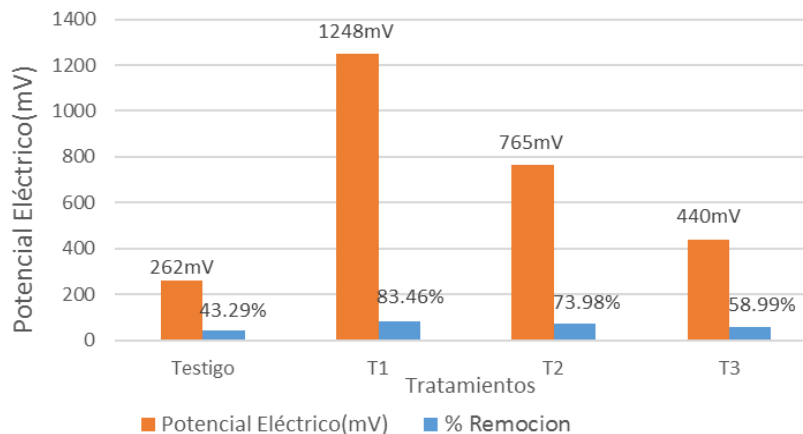
DBO_f: Demanda biológica de oxígeno final

mV: Milivoltios, unidad de medida

En la figura 1 se evidencia el resultado de la remoción de materia orgánica en función al potencial eléctrico en cada uno de los tratamientos. De acuerdo con ello el tratamiento más eficiente corresponde a T1, según el porcentaje de remoción de 83.46% corresponde a la mejor tasa de remoción de materia orgánica, generando un potencial eléctrico de 1 248mV, en el T2 disminuye a 73.98% generando 765mV de energía, en el T3 la remoción orgánica es de 58.99% generando 440mv de energía y por último el testigo es de 43.29% produciendo 262 mV de energía eléctrica.

Figura 1

Remoción de la materia orgánica vs el potencial eléctrico

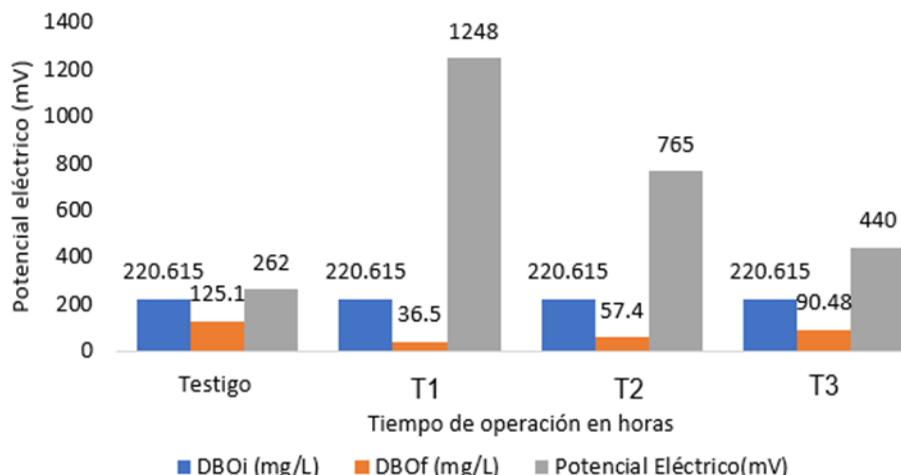


La demanda biológica de oxígeno inicial y final en los tratamientos evaluados de observa en la figura 2, la reducción de demanda biológica de oxígeno función de la generación de energía eléctrica. De un total de 220.615 mg/L de demanda

biológica de oxígeno, se logró reducir: En el T1, logró reducir 36.5 mg/L de demanda biológica de oxígeno en 24h generando 1 248mV de electricidad siendo el más eficiente, el T2 redujo 57.4 mg/L de demanda biológica de oxígeno, produciendo 765mV, de energía eléctrica y el T3 redujo en 90.48 mg/L de demanda biológica de oxígeno produciendo 440mV de energía.

Figura 2

Demanda biológica de oxígeno removida en función a la energía producida

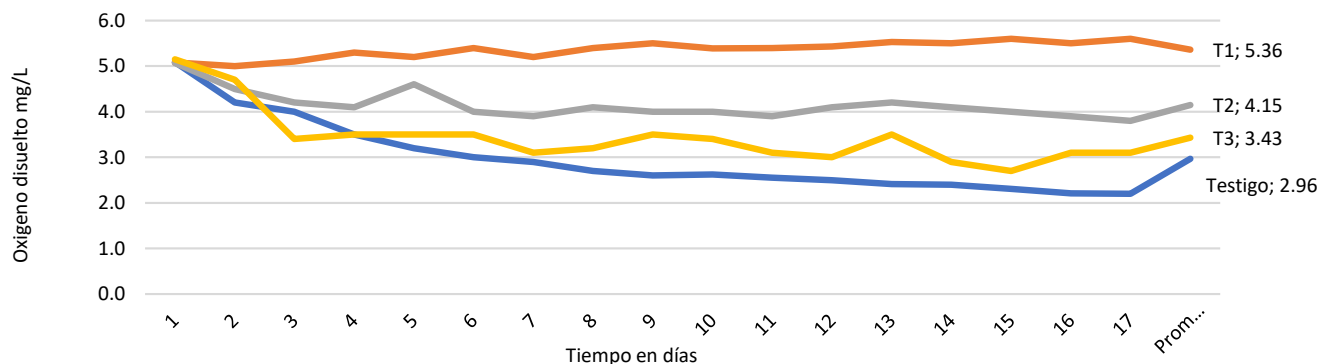


En la figura 2 se muestra la remoción de la demanda biológica, como contaminante inicial, la demanda biológica de oxígeno inicial fue de 220.615 mg/L, en el T1, logró remover 36.5 mg/L de demanda biológica de oxígeno en 24 horas generando 1 248 mV de electricidad siendo el más eficiente, el T2 removió 57.4mg/L de demanda biológica de oxígeno, produciendo 765mV, de energía eléctrica y el T3 removió 90.48 mg/L de demanda biológica de oxígeno produciendo 440mV de energía, Buitrón y Pérez (2011) en su investigación, generaron energía eléctrica con valores entre 408mV has 660mV haciendo prueba de obtención de corriente eléctrica en celdas de combustible microbiana utilizando agua residual, removiendo el 71% de materia orgánica presente en el agua residual. Revelo et al. (2013), también menciona que el mejor rendimiento de las celdas de combustible microbiano ocurre en el diseño de doble cámara. Las condiciones ambientales y los parámetros que fueron vitales para su eficiencia, permitieron medir el porcentaje de remoción de materia orgánica, resultando un 70% DBO en cada celda de combustible microbiano si bien es cierto que esta remoción se mide mediante el oxígeno disuelto y trabaja con celda de doble cámara, también prescinde el uso de membrana de intercambio iónico. Los resultados de la remoción de materia orgánica presentan más de un 50%, siendo buenos resultados.

El la figura 3 se observa el comportamiento de del consumo de oxigeno disuelto en la cámara aeróbica durante el tiempo de operación.

Figura 3

Comportamiento del oxígeno disuelto en la cámara aeróbica en función al tiempo



En la figura 3 se reporta el comportamiento del oxígeno disuelto de la cámara aeróbica en función del periodo de evaluación para cada tratamiento. Lográndose reportar el mayor potencial eléctrico en el tratamiento T1. Habiéndose reservado el oxígeno disuelto en periodo de 24h. Se evidencia las fluctuaciones luego de la reposición del agua con

alto contenido de oxígeno, en el T1 durante las primeras 24 horas se evalúa el contenido de oxígeno disuelto de 5.36 mg/L en los 2.3 litros de agua en la celda aeróbica, en el T2 se observa 4.15mg/L de oxígeno, en el T3 se observa 3.43mg/L de oxígeno respectivamente. Buitrón y Pérez (2011) en su investigación realizada sugiere investigar la demanda y consumo de energía en la celda de combustible de microbiana, proponiendo el estudio de la celda aeróbica para mantener la cantidad de oxígeno necesario para producir energía eléctrica, evitando el usos de mediadores, estos sirven como aceptor de electrones, también menciona “cuanto mayor sea la diferencia potencial entre el donador y el aceptor, mayor será la ganancia energética y además su tasa de eliminación de materia orgánica”; Calderon (2017), describe su importancia del oxígeno disuelto en la cámara aeróbica de las celdas de combustible microbiana, los electrones liberados son captados atreves del cátodo, así cerrando el circuito del transporte de electrones. Mientras en la celda aeróbica se realiza como una especie de burbujeo para ayudar oxigenar con (aireador de pecera) este investigador sugiere profundizar este estudio para oxigenar este medio acuoso como aceptor final de electrones, el oxígeno en la cámara aeróbica es un eje fundamental en la generación de energía eléctrica existe diferencia potencial entre el ánodo y cátodo de las celdas de combustible microbiana.

En la Tabla 4 se muestra el potencial eléctrico evaluado durante un periodo de 17 días con tres repeticiones, donde se evidencia que el análisis es altamente significativo con un p-valor de <0.0001.

Tabla 3

Análisis de varianza del diseño completo al azar

F.V.	SC	GI*	CM	F	p-valor**
T	2811065.59	3	937021.86	17.59	<0.0001
Error	3410003.65	64	53281.31		
Total	6221069.24	67			

*GI: Grados de libertad; ** significancia

En la Tabla 5 se muestra la significancia estadística entre cada tratamiento, mediante la prueba de Tukey se pudo analizar las medias para los potenciales obtenidos en este trabajo. Se observa que el tratamiento, T1, T2 y T3 son estadísticamente diferentes, pero el T1 tiene una media estadística superior, lo que evidencia que las 24 horas de reposición del oxígeno en la celda aeróbica tiene un impacto positivo en la generación de energía eléctrica.

Tabla 4

Prueba de tukey para la comparación del potencial eléctrico

Tratamientos (mL)	Medias(mV)	n	Error estándar	Grupos Homogéneos	
Testigo	251.65	3	55.98	A	
72horas= T3	360.12	3	55.98	A	
48horas= T2	510.24	3	55.98		B
24horas= T1	792.94	3	55.98		C

DMS (diferencia mínima significativa) = 208.84602. Alfa = 0.05

CONCLUSIONES

Si es posible generar energía eléctrica a partir del mucilago del cacao con oxigenación natural en la celda aeróbica en una celda de combustible microbiana, teniendo una carga orgánica de 220.615 mg/L.

El oxígeno disuelto y el potencial eléctrico son directamente proporcionales a la generación de energía eléctrica.

Con la remoción de 83.46% de materia orgánica de aguas residuales, se pudo generar 1248mV, mediante celdas de combustible microbiana.

La energía eléctrica producida con la celda de combustible microbiana es directamente proporcional a la concentración de oxígeno disuelto de la celda aeróbica.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abarca, D. (2010). Identificación de fibra dietaria en residuos de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad complejo nacional por trinitario [Universidad Técnica de Loja]. <https://1library.co/document/nzw121ye-identificacion-dietaria-residuos-theobroma-variedad-complejo-nacional-trinitario.html>

Alzate, L. Fuentes, C. Alvarez, A. Sebastian, P. (2008). Generación de Electricidad a Partir de una Celda de Combustible Microbiana Tipo PEM. *Interciencia*, 33(7), 8.

- Armas, P., & Ramírez, G. (2014). Generacion de electricidad microbiana con diferentes matrices orgánicas mediante celdas de combustible. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Benintende, S., & Sanchez, C. (2015). Crecimiento Microbiano. Ciencias Agropecuarias, 1(1), 8. http://www2.fca.uner.edu.ar/files/academica/deptos/catedras/microbiologia/unidad_3_crecimiento_bacteriano.pdf
- Bermudez, A., & Bernal, D. (2018). Implementacion de una celda de combustible microbiana a escala laboratorio para generacion de energia electrica.
- Betance, V. (2010). Sistema mixto de tanques anaerobicos y fitoremediacion como una alternativa de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales en centros recreativos [Centro de investigacion en materiales avanzados , departamento de posgrado]. <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2289/1/Tesis M. Vicente Betance.pdf>
- Buitrón, G. Pérez, J. (2011). Produccion de electricidad en celdas de combustible microbiana utilizando agua residual: Efecto de la distancia entre electrodos. Revista Especializada En Ciencias Quimicos - Biologicas, 14(1), 7. <http://www.scielo.org.mx/pdf/tip/v14n1/v14n1a1.pdf>
- Calderon, H. (2017). Generación y acumulacion de energía eléctrica utilizando sistemas de celdas de combustible microbiana (MFC) inoculadas con lodos activos procedentes de la (PTAP) [Universidad Católica de Santa María]. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/6640/42.0154.IB.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cardenas, A., Alvarado, C., Pichardo, E., Martinez, J., Rodriguez, M., Camacho, E., Perez, M., & Rico, M. (2022). Celdas de combustible microbinan como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Ciencia y Tecnologia, 26, 8.
- Carmen, L., & Man, J. (2000). Tratamiento biológico de aguas residuales. Tecnologia Del Agua, 1(1), 7. https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/libros/Pasar/Tratamiento_biologico_edar.pdf
- Castro, N. (2014). Diseño y simulacion de un proceso de tratamiento de aguas residuales domesticas para la generacion simultanea de energia eléctrica mediante celdas de combustible microbiana [Universidad de san buenaventura seccional cartagena]. http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/2359/1/Diseño_y_simulación_de_un_Proceso_de_Tratamiento_Natalia_Castro_González_USBCTG_2014.pdf
- Catal, T. (2016). Comparación de varios carbohidratos para la producción de hidrógeno en celdas de electrólisis microbiana. Biotecnología y Equipos Biotecnológicos, 30(1), 7. <file:///C:/Users/Notebook Acer/Downloads/catal 2016.af.es.pdf>
- Ccora, B. (2019). Generacion de energía eléctrica y tratamiento de aguas residuales municipales utilizando celdas de combustible microbiano (MFC) [Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/bitstream/handle/UNH/2877/TESIS-2019-ING.AMBIENTAL-CCORA REPUELLO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chang, R. (2002). Fundamentos de Quimica. In R. Chang & W. College (Eds.), MC GRAW HILL (7ma ed., Vol. 6, Issue 1). <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/3609>
- Comision Nacional del Agua. (2013). Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/135609/SGAPDS-3-13.pdf>
- Costa, J. (2005). Diccionario de Química Física (Dias de Sa). <http://www.publicacions.ub.edu/refs/indices/06380.pdf>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Perez, L., & Andrade, M. (2010). Depuracion de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro de Agua, 115. <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Estrada, E. (2014). Generacion de energía eléctrica a partir del tratamiento de aguas residuales por medio de bioceldas [Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua]. <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1377/TC-1314.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fernando, G., & Omar, N. (2009). Microbiología de las aguas residuales - Aplicación de Biosólidos en Suelo. Editorial de La Universidad Tecnologica Nacional, 1(1), 25. http://www.edutecne.utn.edu.ar/sem_fi_qui_micrb_09/biosolidos_en_suelo.pdf
- Gongora, C., Ochoa, J., Sosa, E., & Vázquez, E. (2017). Celdas de combustible microbianas. Ingenieria Revista Académica, 21(1), 10. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46752305005.pdf>
- Gonzáles, A. (2015). Valorizacion energetica y tratamiento de efluentes residuales mediante celdas de combustible microbiológicas [Universidad de Castilla la Mancha]. https://ruidera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/6531/TESIS_González_del_Campo_García_Villarrubia.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Gretel, N. (2016). Análisis técnico - económico de la tecnología de celdas de combustible microbianas para la producción de energías alternas. In Ciencia y tecnología. [https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/144/1/Desarrollo de una celda de combustible microbiana %28CCM%29 para la aplicación en el tratamiento de aguas residuales %28Protegida%29..pdf](https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/144/1/Desarrollo%20de%20una%20celda%20de%20combustible%20microbiana%20%28CCM%29%20para%20la%20aplicación%20en%20el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20%28Protegida%29..pdf)
- Hernandez, B., Reinaldo, M., Rojas, O., & Priscilla, K. (2011). Estudio del mucilago de cacao(Theobroma cacao L) con fines de aprovechamiento industrial. Universidad Central de Venezuela.
- Holdridge, L. (1982). Ecología basada en zonas de vida (Matilde de). <http://www.cct.or.cr/contenido/wp-content/uploads/2017/11/Ecologia-Basada-en-Zonas-de-Vida-Libro-IV.pdf>
- Huang, L., Regan, X., & Quan, X. (2011). Mecanismos de transferencia de electrones, nuevas aplicaciones y rendimiento de las celdas de combustible microbianas de biocátodo. *Sciencie*, 102(1), 8. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852410010977?via%3Dihub>
- Jibaja, S. (2018). Producción de electricidad en celdas de combustible microbiana a partir de tiosulfato utilizando cepas de *Acidithiobacillus ferrooxidans* [UNIVERSIDAD PERUANA CAYETANO HEREDIA]. https://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12866/3965/Produccion_JibajaCaceres_Sandro.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Jiménez, M. Garibay, C. B. (2018). Modelo Bioquímicamente Estructurado para la Estimulación de la Eficiencia de una celda de Combustible. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2), 3–19. <https://doi.org/https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.13>
- Liu, H., & Logan, E. (2004). Generación de electricidad utilizando una celda de combustible microbiana de cámara única de cátodo de aire en presencia y ausencia de una membrana de intercambio de protones. 38(14), 9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/translate.goog/15298217/>
- Llantop, E. (2018). Influencia de los niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de las aguas residuales crudas con la cantidad de energía eléctrica utilizando celdas de combustible microbiana [Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/2130/BC- TES-TMP-1000.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Logan, E., & Regani, M. (2006). Fuel Cells Applications. *Environmental Science & Technology*, 9. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.717.6648&rep=rep1&type=pdf>
- López, I. (2013). Implementación de una estrategia de control para la puesta en marcha de una celda de combustible microbiana [Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/6142/1/tesis.pdf>
- Mantilla, G., Sandoval, L., Ramirez, E., Gasca, S., Navarro, J., Hernandez, N., Garcia, J., Esquivel, A., & Calderón, C. (2017). Energía limpia del agua sucia, aprovechamiento de lodos residuales. *Instituto Mexicano de Tecnología Del Agua*, 1(1), 90. file:///C:/Users/Notebook Acer/Downloads/IMTA_608.pdf
- Márquez, J., & Salazar, J. (2015). Análisis de los niveles de desperdicio del mucilago de cacao y su aprovechamiento como alternativa de biocombustible [Universidad Estatal de Milagro]. [http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/1770/1/Análisis de los niveles de desperdicio del mucílago de cacao y su aprovechamiento como alternativa de biocombustible.pdf](http://repositorio.unemi.edu.ec/bitstream/123456789/1770/1/Análisis%20de%20los%20niveles%20de%20desperdicio%20del%20mucílago%20de%20cacao%20y%20su%20aprovechamiento%20como%20alternativa%20de%20biocombustible.pdf)
- Metcalf & Eddy, I. (1995). Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización (Vol. 1, Issue 0). https://www.academia.edu/35963101/Ingeniería_de_aguas_residuales_Volumen_1_3ra_Edición_METCALF_and_EDDY_FREELIBROS_ORG_pdf
- Morales, A. (2020). Diseño y experimentación de un prototipo para la generación de energía eléctrica no convencional mediante el proceso fotosintético de plantas. *Ciencia Unisalle*, 1(1), 66. https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1603&context=ing_electrica
- Morales, J. (2015). Análisis teórico de una celda de combustible microbiana [Instituto Tecnológico de Toluca]. https://www.academia.edu/35941274/celdas_microbianas
- Moscoso, J. (2011). Estudio de opciones de tratamiento y reuso de aguas residuales en Lima Metropolitana. *Liwa*, 1(1), 90. http://www.lima-water.de/documents/jmoscoso_informe.pdf
- Ñacato, D. (2018). Evaluación de la aplicación del campo magnético en la producción de energía eléctrica a partir de la degradación de aguas residuales domésticas utilizando celdas de combustible microbianas tipo batch.

- Navas, J., & Morales, D. (2016). Texto de Microbiología Pecuaria. <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tn170n322.pdf>
- Racines, Y. Santander, M. (2016). Implementación de una celda de combustible microbiano a partir de agua residual domestica. UNIVERSIDAD DE LA COSTA.
- Ramalho, R. (1998). Tratamiento de aguas residuales (Revesté). https://dlscrib.com/queue/r-s-ramalho-tratamiento-de-aguas-residuales_58ebe881dc0d60a80eda97e9_pdf?queue_id=623322b5e2b6f5e94665023e
- Revelo, D. Hurtado, N. Ruiz, J. (2013). Celdas de Combustible Microbianas (CCMs): Un Reto para la Remoción de Materia Orgánica y la Generación de Energía Eléctrica. *Informacion Tecnológica*, 24(6), 28. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000600004>
- Rojas, J., & Rojas, E. (2017). Aprovechamiento de mucilago de cacao (Teobroma cacao) En la formulacion de una bebida no alcoholica [Univeridad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/2684/Rojas_Sosa_Johanna_Marleny_y_Rojas_Manayay_Erick_David.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Romero, J. (1998). Calidad del agua.
- Romero, J. (2002). Tratamiento de las aguas residuales, teoría y principios de diseño (Escuela Co). https://www.academia.edu/41246680/Tratamiento_de_Aguas_Residuales_Romero_Rojas
- Rubina, E. (2017). Determinacion de la cantidad de energia eléctrica a partir de electrones libres, productos de la actividad metabólica de los microorganismos, en las plantas de palma aceitera (Elaeis guineensis), cacao (Teobroma cacao) y césped Tororco (Axonopus compresu [Universidad Nacional de Ucayali]. http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4345/UNU_AMBIENTAL_2020_T_EDWAR-RUBINA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Saavedra, I. (2012). Diseño de una celda de combustible microbiológica con uso de bacterias oxidantes de azufre y hierro. *Ciencia y Tecnologia*, 57.
- Sanchez, M. Fernández, L. Espinoza, P. (2021). Generación de energía eléctrica y tratamiento de aguas residuales mediante celdas de combustible microbianas. *Novasinerгия*, 4(1), 17. <https://doi.org/10.37135/ns.01.07.10>
- Santamaria, A. (2020). Produccion de energia a partir de aguas residuales industriales [Univeridad de Alcalá]. https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/44119/TFM_Santamaria_Garcia_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Santana, P. (2017). Mucilago de cacao (teobroma cacao L.) nacional y trinitario para obetencion de una bebida hidratante. Universidad Tecnica Estatal de Quevedo.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2015). Diagnostico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ambito de operaciones de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. Cooperación Alemana, Implementada Por La GIZ Programa de Modernización y Fortalecimiento Del Sector Agua y Saneamiento (PROAGUA II), 1(1), 150. <https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>
- Valencia, M. (2018). Evaluacion de generacion de electricidad y remocion de materia orgánica en celdas de combustible microbiana en aguas residuales de camal [UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO]. http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/7944/Valencia_Pacho_Marleni_Yovanna.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Vera, J., Vallejo, C., Párraga, D., Morales, W., Macias, J., & Ramos, R. (2014). Atributos fisicoquimicos y sensoriales de las almendras de quince clones de cacao nacional (Teobroma cacao L.). *Ciencia y Tecnologia*, 7(2), 14. https://www.uteq.edu.ec/revistacyt/publico/archivos/C2_en_construccion.pdf
- Villarroel, J., & Saldarriega, E. (2020). Determinacion de los Parametros de Bioadsorcion del Mucilago de Cacao (Teobroma cacao L.) como cuagulante floculante natural en muestras del rio congo, canton el empalme [Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/51163/1/BINGQ-IQ-20P54.pdf>