

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

**Bioelectricidad a partir de residuos de alimentos hidrolizados
aplicando el sistema de Celda de Combustible Microbiana**

Por:
Rocy Cela De La Cruz Taipe

Eva Sara Huamani Sihuin

Asesor:
Mg. Joel Hugo Fernández Rojas

Lima, Julio del 2020

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Mg, Joel Hugo Fernández Rojas, de la Facultad de Ingeniería y arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: **“Bioelectricidad a partir de residuos de alimentos hidrolizados aplicando el sistema de Celda de Combustible Microbiana”** constituye la memoria que presenta los estudiantes **Rocy Cela De La Cruz Taípe y Eva Sara Huamani Sihuín** para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Ambiental, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 18 días de agosto del año 2020.



Mg. Joel Hugo Fernández Rojas

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Naña, Villa Unión, a 31 día(s) del mes de julio del año 2020 siendo las 10:00 horas,

se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a):

Dr. Rodrigo Alfredo Matos Chamorro, el(la) secretario(a):

Ing. Nancy Curasi Rafael y los demás miembros:

Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio, Ing. Dennis Omar Diaz Bulnes

y el(la) asesor(a) Mg. Joel Hugo Fernandez Rojas

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de

investigación titulado: Bioelectricidad a partir de residuos de alimentos hidrolizados aplicando el sistema de Celda de Combustible Microbiana

de los (las) egresados (as): a) Rocy Cela De La Cruz Taipe

b) Eva Sara Huamani Sihun

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en

Ingeniería Ambiental
(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a las candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por las candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): Rocy Cela De La Cruz Taipe

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	Bueno	Muy Bueno

Candidato/a (b): Eva Sara Huamani Sihun

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	17	B+	Muy Bueno	Sobresaliente

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó a las candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Presidente/a

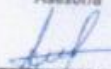


Secretario/a

Asesor/a

Miembro

Miembro



Candidato/a (a)



Candidato/a (b)

Bioelectricidad a partir de residuos de alimentos hidrolizados aplicando el sistema de Celda De Combustible Microbiana

BIOELECTRICITY FROM HYDROLYZED FOOD WASTE APPLYING THE MICROBIAL FUEL CELL SYSTEM

Rocy Cela De La Cruz Taipe ^{a,b} ;Eva Sara Huamani Sihuín ^{a,b}

a Universidad Peruana Unión (UPeU) Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Carretera Central Km.19.5 Ñaña-Chosica

b Escuela de Ingeniería Ambiental, Carretera Central Km 19.5 Ñaña-Chosica

Resumen

El objetivo del presente artículo de revisión es, dar a conocer la factibilidad de la generación de energía eléctrica a partir de residuos de alimentos hidrolizados con el sistema de Celda de Combustible Microbiana. Los residuos de alimentos constituyen un problema ambiental a nivel mundial, por ello se requiere un tratamiento adecuado para su aprovechamiento. La Celda de Combustible Microbiana es una alternativa para generar electricidad. Este sistema se caracteriza por degradar los compuestos orgánicos y recuperar energía renovable a partir de tales compuestos, junto a la acción de microorganismos electrogénicos. Los residuos de alimentos hidrolizados poseen gran cantidad de materia orgánica con alto potencial energético, el cual permite la generación de energía eléctrica. Por lo tanto, mediante el sistema de Celda de Combustible Microbiana se puede generar bioelectricidad, aprovechar los residuos de alimentos y restar la contaminación en el medio ambiente.

Palabras clave: Bioelectricidad, Celda de Combustible Microbiana, residuos de alimentos hidrolizados.

Abstract

The objective of this review article is make known the feasibility of generating electrical energy from hydrolyzed food waste with the microbial fuel cell system. Food residues affected an environmental problem worldwide, therefore require adequate treatment for its use. The Microbial Fuel Cell is an alternative to generate electricity. This system is characterized by degrading organic compounds and recovering renewable energy from compound stories, together with the action of electrogenic microorganisms. Hydrolyzed food residues contain a large amount of organic matter with high energy potential, which allows the generation of electrical energy. Therefore, through the Microbial Fuel Cell system, bioelectricity can be generated, using food residues and contamination in the environment.

keywords: Bioelectricity, hydrolyzed food waste, Microbial Fuel Cell

1. Introducción

Los problemas ambientales relacionados con la producción y el mal manejo de residuos de alimentos conducen a la contaminación del agua subterránea, atracción de vectores y emisiones de gases tóxicos. Anualmente en el mundo se generan 2010 millones de toneladas de desechos sólidos municipales, (World Bank Group, 2018) entre ellos se encuentran los residuos orgánicos (alimentos, excedentes de comida, etc.) (Toro et al., 2016). En la Unión Europea se desaprovechan 180 kg de alimento por persona conllevando a 90 millones de toneladas de alimentos desperdiciados anualmente (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2016). Según (FAO, 2012) en América del norte se desperdician de 95 a 115 kg/año de alimentos por consumidor, este valor es mayor que en el África subsahariana y en Asia meridional y sudoriental que se desperdicia de 6 a 11 kg/año de residuos de alimentos. A nivel latinoamericano, por ejemplo, en México la generación de residuos orgánicos alcanza los 23.5 millones de toneladas anuales, los cuales provienen de los residuos sólidos urbanos y residuos especiales (Martínez *et al.*, 2015). En el caso del Perú se generan 10 640 toneladas de residuos orgánicos/día, esto representa el 56 % de los residuos domiciliarios (Minam, 2019).

Una forma de aprovechar los residuos de alimentos y restar la contaminación sobre el medio sería generar energía eléctrica. Existen tratamientos que permiten la generación de bioelectricidad a partir de los residuos orgánicos. Por ejemplo, la digestión anaerobia la cual genera metano (CH₄) para luego transformarla en electricidad, no obstante, su construcción, mantenimiento y operación resultan complejos, además su huella ambiental es grande. Por otra parte, se encuentran la Celda de Combustible Microbiana que se distingue de otros sistemas de generación de energía porque operan eficientemente a temperatura ambiente e incluso a muy bajas temperaturas; producen menor cantidad de CO₂ que cualquier otra tecnología y son fáciles de construir y operar (Guambo & Allauca, 2015).

Comparando ambos tratamientos, la Celda de Combustible Microbiana es una mejor alternativa para reducir los desechos orgánicos y producir bioelectricidad además las pocas emisiones de CO₂ que generan no requieren ningún tipo de tratamiento, es decir tienen menor impacto sobre el ambiente (Revelo *et al.*, 2013) & (Xin *et al.*, 2018). Por lo tanto, en la última década el sistema de Celda de Combustible Microbiana ha atraído el interés de diversos investigadores a nivel mundial, por su operación simultánea para degradar materia orgánica y generar bioelectricidad (Revelo et al., 2013)

Según (Xin *et al.*, 2018) los residuos de alimentos son materia prima potencial para la generación de electricidad porque contiene C como carbono total, N como nitrógeno total, P como óxido de fósforo y K como óxido de potasio, con la ayuda de la hidrolización enzimática el residuo de alimento se puede separar en sólido y líquido, donde los residuos sólidos se convierten directamente en biofertilizante, mientras que el líquido hidrolizado recogido se utilizaría directamente en la Celda de Combustible Microbiana para la generación de energía eléctrica.

En el presente artículo se ha recopilado información sobre el sistema de Celda de Combustible Microbiana, la hidrolización de alimentos, generación de bioelectricidad. En ese sentido, el objetivo de la revisión es dar a conocer la factibilidad de generación de energía eléctrica a partir de residuos de alimentos hidrolizados, con el sistema de Celda de Combustible Microbiana.

2. Bioelectricidad como energía alternativa

Existe la necesidad de encontrar fuentes de energía sostenibles y limpias, aquellas con un mínimo impacto sobre el ambiente (Arvizu *et al.*, 2011) & (Hassan *et al.*, 2019). La bioelectricidad es una fuente de energía renovable que puede contribuir al desarrollo social, y económico, además de ser un suministro de energía sostenible, reduce los efectos perjudiciales de su producción al medio ambiente y la salud humana (Arvizu *et al.*, 2011).

La bioelectricidad es la producción de electricidad llevada a cabo por seres vivos como las bacterias electrogénicas, la cual parece ser una alternativa con gran potencial para generar energía de un modo más eficiente (Hernandez & Sanchez, 2017). De allí, la producción de electricidad a partir de materiales renovables por microorganismos se considera como energía alternativa sostenible para la biotecnología futura. Se emplean los microorganismos para catalizar la conversión de materia orgánica presente en los residuos de alimentos en electricidad (Hassan *et al.*, 2019).

El uso de microorganismos ha sido una alternativa que ha permitido la producción de combustibles como el metano, el biohidrógeno y la bioelectricidad (Cortaza, 2014). Las ventajas de esta tecnología son; más económica, contamina menos y se aprovecha un proceso metabólico sin la necesidad de alterarlo (Hernandez & Sanchez, 2017).

3. Celda de Combustible Microbiana

La Celda de Combustible Microbiana (CCM) es un tipo de sistema bioelectroquímico que puede degradar compuestos orgánicos y recuperar energía renovable a partir de tales compuestos (Long *et al.*, 2019). Una Celda de Combustible Microbiana (CCM) está constituida por dos cámaras, la anaerobia y una aerobia, separadas por una membrana de intercambio catiónico. La cámara anódica contiene los sustratos orgánicos que, al oxidarse por acción de los microorganismos, generan electrones, protones y CO₂. Además, cada cámara contiene un electrodo; el ánodo en la cámara anaerobia y el cátodo en la cámara aeróbica (Revelo *et al.*, 2013).

Cuando en la cámara anódica se liberan los electrones son inmediatamente captados por el ánodo y seguidamente transportados hacia el cátodo mediante un circuito externo. Asimismo, se generan protones, los cuales migran hacia la cámara catódica a través del separador, la membrana de intercambio catiónico, donde se combinan con el oxígeno del aire para reducirse a agua junto con los electrones que captan directamente del cátodo (Revelo *et al.*, 2013).

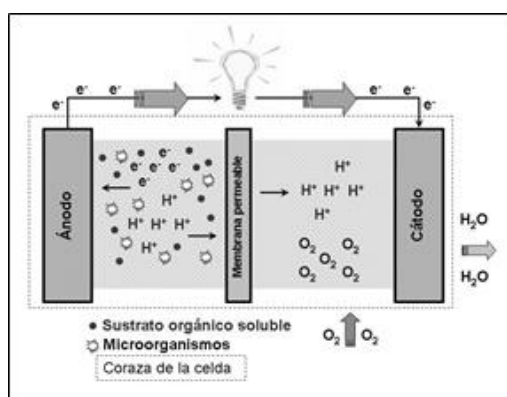


Figura 1. Celda de Combustible Microbiana

3.1. Ventajas de la Celda de Combustible Microbiana

Las Celdas de Combustible Microbianas presentan ciertas ventajas sobre otras formas de generación de energía a partir de la materia orgánica.

Tabla 1
Ventajas de la Celda de Combustible Microbiana

Ventajas	Autor
Permite tener altas eficiencias de la conversión del sustrato a electricidad	(López, 2014)
Operan eficientemente a temperatura ambiente e incluso a bajas temperaturas)	(López, 2014)
No consumen energía en aeración (para el caso de las CCM que emplean catodo expuesto al aire	(López, 2014)
Son potencialmente aplicables en zonas rurales	(Pineda, 2015)
No necesita tratamiento de gases de salida	(Pineda, 2015)
Dado que involucran procesos anaerobios, la producción de biomasa es mínima comparada con tecnologías aerobias	(López, 2014)
La producción energía es económica y sostenible	(Pineda, 2015)

Nota: Elaboración propia

3.2. Comparación de la Celda de Combustible Microbiana versus la Digestión Anaerobia

Un estudio en Singapur evaluó la producción de energía eléctrica a partir del desperdicio de alimentos, mediante el sistema de Celdas de Combustible Microbianas y la Digestión Anaerobia. En la tabla 2 se muestra las comparaciones de los procesos de CCM y la Digestión Anaerobia. Demostrando que el enfoque basado en la CCM ofrece una opción más viable y económicamente viable en términos de conversión de electricidad y costo de proceso para la gestión de residuos alimentarios respetuosa con el medio ambiente (Xin et al., 2018).

Tabla 2
Comparación Celda de Combustible Microbiana VS Digestión Anaerobia

Análisis competitivo	Celda de Combustible Microbiana	Digestión anaerobia
Productos finales	74.4 millones de biofertilizante seco y 42.7 millones de m ³ CH ₄ (es decir, 167.5 millones de KWh)	74.4 millones de biofertilizante seco y 192.5 de KWh de electricidad.

Ingreso de productos (SGD)	145	150
Construcción, operación y mantenimiento	Fácil	Proceso complejo para electricidad, incluye almacenamiento, transporte y combustible.
Tiempo de retención	2 días	10-15 días
Huella	Pequeña	Grande
Emisión de CO2	Menos	Más

Nota: Recuperado de Electric energy production from food waste: Microbial fuel cells versus anaerobic digestion. Bioresource Technology (2018).

1 kWh = 0.20 SGD; 1 kg biofertilizante = 1.5 SGD

4. Tipos de sustratos empleados en la Celda de Combustible Microbiana

El sustrato es un factor importante en la Celda de Combustible Microbiana porque constituye el combustible, a partir del cual se genera la energía (Revelo, 2013). Existen sustratos químicamente puros (glucosa y acetato) y mezclas más compuestas (lodos residuales y residuos orgánicos e inorgánicos). La glucosa es un excelente sustrato de fácil degradación y por su ruta fermentable es aprovechable de forma más rápida por las bacterias existentes en el medio (Valdivieso, 2017).

Los sustratos complejos requieren para su degradación una comunidad microbiana diversa y electroquímicamente activa, cuyas poblaciones se van seleccionando dependiendo del tipo de sustrato. Existen diversos sustratos que por su alto contenido energético y en materia orgánica son aplicables en la Celda de Combustible Microbiana, por ejemplo: aguas residuales provenientes del procesamiento de frutas y vegetales, suero de queso, melazas de destilerías, aguas residuales de biorrefinerías, aguas residuales de industrias farmacéuticas con contaminantes recalcitrantes, residuos agrícolas, entre otros (Revelo, 2013).

Tabla 3
Sustratos utilizados en Celda de Combustible Microbiana

Sustrato	Tipo de CCM	Pmax(mW/m2)
Glucosa	Cámara doble	283
Suero de Queso	Cámara doble	42
Desperdicios de Alimentos	Cámara simple	207.2
Aceite de palmo de acetato de efluentes	Cámara doble	622
Las aguas residuales Lácteos	Cámara simple	5.7
Lixiviados	Cámara simple	20.9
Basura compuesta de alimentos	Cámara simple	107.89
Aguas residuales	Cámara simple	177.36

Las heces humanas de aguas residuales	Cámara doble	70.8
Las aguas residuales penicilina cinético con glucosa	Cámara simple	101.2
Agua residuales de papel	Cámara simple	125
Aguas residuales lácteos	Cámara simple	25
Aguas Residuales de cervecería y panadería	Cámara simple	10
Aguas residuales de destilerías	Cámara simple	145.34
Los lodos de depuradora	Tubular MFC	73
Efluente del clarificador primario	Cámara simple	13
Aguas residuales de destilería de alcohol	Cámara doble	1000
Aguas residuales de agricultura	Cámara simple	13
Aguas residuales domésticas	Cámara simple	42
Vino descompuesto	Cámara doble	3.82

Nota: Recuperado de Evaluación de mecanismos de reactivación en Celdas de Combustible Microbianas para la producción de bioelectricidad (2017).

4.1. Residuos de alimentos como sustrato

Los desperdicios de alimentos se generan durante la eliminación de diferentes procesos como la agricultura, poscosecha y empaque, procesamiento, distribución, venta minorista, servicio de alimentos y usos domésticos. Según la Comisión Europea, los desperdicios de alimentos podrían dividirse en tres categorías que incluyen: (1) alimentos perdidos durante producción, (2) desechos inevitables, como cáscaras de plátano o núcleos de frutas, y (3) alimentos para comer que se pierden durante el consumo (Asefi et al., 2019).

La materia orgánica constituye el principal componente de los desechos alimenticios los cuales contienen varios polímeros de alto peso molecular tales como carbohidratos, celulosa, proteínas y lípidos (Li et al., 2016). Por lo tanto, los desperdicios alimenticios poseen una gran cantidad de desechos orgánicos con alto contenido de energía, el cual permite usarlos en muchos procesos biotecnológicos para la generación de energía eléctrica (Asefi et al., 2019).

4.2. Residuos de alimentos hidrolizados

La hidrólisis enzimática es un proceso utilizado para la modificación de las propiedades funcionales y nutricionales de las proteínas de los alimentos (Salazar *et al.*, 2013). Es también un tratamiento biológico que permite acelerar y maximizar la extracción de biomoléculas de los alimentos (El Kantar *et al.*, 2018).

La hidrolización enzimática permite separar el residuo de alimento en parte sólida y líquida, la parte sólida se convierte directamente en biofertilizante, ya que cumple con todos los requisitos en términos de NPK (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) mientras que el líquido hidrolizado o llamado licor tiene una alta concentración de materia orgánica soluble que se utilizaría directamente en la Celda de Combustible Microbiana para la generación de energía eléctrica (Xin *et al.*, 2018) & (Ma, *et al.*, 2016).

El líquido hidrolizado de alimento está compuesto por carbohidrato soluble, proteína soluble y ácidos grasos volátiles y cuenta con nutrientes como solución de fosfatos, minerales como magnesio, manganeso, sodio, calcio, zinc y cobre, también posee vitaminas como vitamina H, ácido fólico, B1, B12. Xin *et al.* (2019) menciona que la hidrolización del alimento permite una alta densidad de potencia de 0.173 W / m² después del pretratamiento con puré de hongos de concentración de 1,2 g/L DQO. Según Xin *et al.* (2018) los residuos de alimentos hidrolizados junto con la Celda de Combustible Microbiana han tenido ventajas en la producción de energía eléctrica frente a otros sistemas como, la digestión anaerobia.

5. Microorganismos electrogénicos desarrollados en el residuo de alimento hidrolizado

Según Xin *et al.* (2019), en su investigación encontró que se desarrollaron bacterias como: *Rummeliibacillus* en un 18.06%, el *Enterococcus* en un 5.92%, la *Propionispira* en un 2.20%, la *Burkholderia* en 13.61%, el *Lactobacillus* en 1.90% y el *Clostridium* (32.41%) en la Celda de Combustible Microbiana, alimentado con residuo de alimento hidrolizado presentando mayor producción de bioelectricidad. Mientras que Xin *et al.* (2018) encontró que, en las Celdas de Combustible Microbiana, un consorcio de bacterias altamente diversificado en el líquido de residuos de alimentos hidrolizados, con 19.8% de *Moheibacter*, 18.4% de *Azospirillum*, 6.6% de *Geobacter*, 4.6% de *Petrimonas*, 5.2% de *Alicycliphilus*, 3.8% de *Rhodococcus* y 3.2% de *Pseudomonas*. El porcentaje de bacterias en los reactores pueden cambiar según el tipo de residuos de alimento hidrolizado aplicado, inclusive las especies de los microorganismos porque dependen de los sustratos para desarrollarse.

6. Discusión

En Corea del Sur Hassan *et al.* (2012), demostró la generación de energía eléctrica a partir de la celulosa en Celdas de Combustible Microbiana empleando cultivos puros y mixtos de bacterias que degradan celulosa. Esto indica la posibilidad de generar energía eléctrica aplicando solamente celulosa, mientras que la unión de la celulosa con el inóculo de bacterias *Celobioasas S* y *K* permiten una mayor generación de energía eléctrica. Asimismo, las *Celobioasas* como pre-tratamiento ayudan a que las celulosas se conviertan en azúcares para así transformarse en energía eléctrica.

En Canadá Pendyala *et al.* (2016), evaluó los rendimientos de Celdas de Combustible Microbiana utilizando fracciones diferentes de residuos orgánicos como los residuos de alimentos, residuos de jardín, residuos combinados de un relleno sanitario municipal, residuos de papel y cartón para la generación de energía eléctrica, a su vez se eliminó el DQO y CE (eficiencia coulombica). Por último, la combinación de residuos del relleno municipal y residuos de alimentos generaron mayor energía eléctrica y menor eliminación de DQO.

Mientras que en Dinamarca Zhao *et al.* (2018), evaluó la generación de bioenergía eléctrica mediante macroalgas en Celda de Combustible Microbiana. Los resultados muestran que sí se puede usar macroalgas para generar energías sostenibles debido a la alta concentración de glucosa y manitol en el hidrolizado.

También en Singapur Xin et al. (2018), realizó la comparación de eficiencias en el aprovechamiento de los residuos orgánicos para la generación de energía eléctrica, empleando dos tipos de tratamientos, la Celda de Combustible Microbiana y la Digestión Anaeróbica. Para la Celda de Combustible Microbiana la generación de energía demora 2 días, mientras que para la Digestión Anaerobia unos 15 días. Con esto se evidencia la eficiencia de la Celda de Combustible Microbiana y con ello otras ventajas de este sistema como; su facilidad de construcción y operación, económico y sostenible con el medio ambiente.

Después de un año Xin et al. (2019) midió la capacidad de la generación de energía eléctrica en una comunidad de bacterias en Celdas de Combustible Microbiana, usando como sustrato residuos de alimentos hidrolizados agregando un pretratamiento enzimático. En Egipto Hassan et al. (2019), utilizó la melaza de caña de azúcar juntamente con la bacteria *Brevibacillus borstelensis* en la Celda de Combustible Microbiana para medir el rendimiento de producción de energía eléctrica. Los resultados fueron favorecedores al final del tratamiento, además se logró disminuir la DQO a un 81.7%.

Finalmente, Long et al. (2019) analizaron el tiempo de operación y las eficiencias de remoción de concentración del sustrato en aguas residuales del sistema de Celdas de Combustible Microbiana en las propiedades eléctricas. Según su experimentación la potencia de salida en la Celda de Combustible Microbiana disminuyó de 586 a 330 mV conforme va aumentando el tiempo de operación, y la eficiencia de remoción se mantuvo estable en un largo plazo de 400 días. Por consiguiente, el análisis de la comunidad microbiana reveló que la abundancia relativa de microorganismos estaba relacionada con la degradación de los compuestos orgánicos lo que conlleva el crecimiento de las bacterias en corto plazo, y su disminución con el tiempo y sustrato. Además, puede ser aplicable para sustratos de residuos de alimentos hidrolizados ya que se encuentran en fase líquida y contienen mayor concentración de DBO y DQO.

Conclusiones

El sistema de Celda de Combustible Microbiana es factible para la generación de bioelectricidad, a partir de residuos de alimentos hidrolizados.

Los sustratos que se aplican en las CCM son obtenidos mediante la hidrolización enzimática de los residuos de alimentos, ya que la hidrólisis enzimática potencializa la degradación del compuesto orgánico para generar energía eléctrica en menor tiempo.

El desarrollo de los microorganismos generadores de bioelectricidad, están relacionados con el tipo de sustrato aplicado en las Celdas de Combustible Microbiana. Además, las comunidades microbiotas electrogénicas tienen una mayor eficiencia en la generación de bioelectricidad en comparación a la presencia de una sola especie de microorganismo en la celda de combustible microbiana.

Por último, las Celdas de Combustible Microbiana permiten dar tratamiento y aprovechamiento a los residuos de alimentos como una forma de generar bioenergía para reducir la contaminación generada por los residuos orgánicos.

Referencia bibliográfica

- Arvizu, D., Bruckner, T., Chum, H., Edenhofer, O., & Estefen, S. (2011). *Fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- Asefi, B., Lin Li, S., Moreno, H., Sanchez Torres, V., Hu, A., Li, J., & Ping Yu, C. (2019). *Characterization of electricity production and microbial community of food waste-fed microbial fuel cells*. *Process Safety and Environmental Protection*. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.03.016>
- Cortaza, A. M. (2014). *Bioelectricidad*. *Vida Científica Boletín Científico De La Escuela Preparatoria No. 4*. Obtenido de <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/prepa4/article/view/1930>
- El Kantar, S., Boussettab, N., Hiba, R., Richard, M., Louka, N., & Vorobiev, E. (2018). *High voltage electrical discharges combined with enzymatic hydrolysis for extraction of polyphenols and fermentable sugars from orange peels*. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.01.070>
- FAO. (2012). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo – Alcance, causas y prevención*. Roma.
- Grupo Banco Mundial. (20 de Setiembre de 2018). *Banco Mundial*. Obtenido de <https://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2018/09/20/what-a-waste-an-updated-look-into-the-future-of-solid-waste-management>
- Guambo, A., & Allauca, G. (8 de Octubre de 2015). *Estudio de la influencia de la demanda Bioquímica de Oxígeno de Aguas Residuales en la producción de Bioelectricidad de una Celda de Combustible Microbiano*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Obtenido de <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/4075>
- Hassan, S., Zohri, A., & Kassim, R. (2019). *Electricity generation from sugarcane molasses using microbial fuel cell technologies*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.087>
- Hassan, S. H. A., Kim, Y. S., & Oh, S. E. (2012). Power generation from cellulose using mixed and pure cultures of cellulose-degrading bacteria in a microbial fuel cell. *Enzyme and Microbial Technology*, 51(5), 269–273. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2012.07.008>
- Hernández Gómez, G., & Sánchez Olvera, M. (2017). *La plurifuncionalidad de las bacterias electrogénicas*. UNIVERSIDAD de WISCONSIN – MADISON, Wisconsin.
- Li, H., Tian, Y., Zuo, W., Zhang, J., Pan, X., Li, L., & Su, X. (2016). *Electricity generation from food wastes and characteristics of organic matters in microbial fuel cell*. *Bioresource Technology*, 205, 104–110. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.042>

- 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*. *Bioresource Technology*, 285(March), 121395. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121395>
- López, J. (2014). *Desarrollo de una Celda de Combustible Microbiana para Aplicación de Tratamiento de Aguas Residuales*. Tesis de Maestría, Santiago de Querétaro.
- Ma, Y., Yin, Y., & Liu, Y. (2016). A holistic approach for food waste management towards zero-solid disposal and energy/resource recovery. *Bioresource Technology*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.12.090>
- Martínez, J. A., Bielsa, R., García, S., Herrera, B., Lambarry, F., Rinaudo, M., . . . Yesares, N. (2015). *Residuos en Hispanoamérica de lo ambiental a lo social*. Bogotá.
- Minam. (2019). *Taller: Implementación de un sistema integrado de manejo de residuos sólidos municipales, meta 3*. Lima. Obtenido de https://www.mef.gob.pe/contenidos/presu_public/mi/municipalidades_pmm_pi/meta3A_2019_implementar_SI.pdf
- Pendyala, B., Chaganti, S. R., Lalman, J. A., & Heath, D. D. (2016). Optimizing the performance of microbial fuel cells fed a combination of different synthetic organic fractions in municipal solid waste. *Waste Management*, 49, 73–82. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.12.032>
- Pineda, K. (2015). *"Producción de energía eléctrica en una Celda de Combustible Microbiana empleando Cascarilla de Arroz (Oryza sativa) como sustrato y Licor Ruminal Bovino como inóculo microbiano"*. Tesis pregrado, Arequipa.
- Revelo, D. M., Hurtado, N. H., & Ruiz, J. O. (2013). *Celdas de combustible microbianas (CCMs): Un reto para la remoción de materia orgánica y la generación de energía eléctrica*. *Información Tecnológica*, 24(6), 17–28. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642013000600004>
- Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Santiago.
- Salazar Posada, C., López Padilla, A., & CanoSalazar, J. A. (2013). *Efecto del pH y la temperatura en la hidrólisis enzimática de subproductos de la industria bovina*. *Revista Lasallista de Investigación*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/695/69525875002.pdf>
- Valdivieso, L. (2017). *Evaluación de Mecanismos de reactivación en Celdas de Combustible Microbiana para la producción de bioelectricidad*. Tesis de Pre grado, Riobamba – Ecuador.
- Xin, X., Hong, J., & Liu, Y. (2019). Insights into microbial community profiles associated with electric energy production in microbial fuel cells fed with food waste hydrolysate. *Science of the Total Environment*, 670, 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.213>

- Xin, X., Ma, Y., & Liu, Y. (2018). *Electric energy production from food waste: Microbial fuel cells versus anaerobic digestion*. *Bioresource Technology*, 255(December 2017), 281–287. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.099>
- Zhao, N., Jiang, Y., Alvarado-Morales, M., Treu, L., Angelidaki, I., & Zhang, Y. (2018). Electricity generation and microbial communities in microbial fuel cell powered by macroalgal biomass. *Bioelectrochemistry*, 123(May), 145–149. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2018.05.002>