



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



VI CONGRESO
Nacional de Investigación en
Ciencia e Innovación de
Tecnologías Productivas

GENERACIÓN DE ENERGÍA SOSTENIBLE CON ZACATE (CHLORIS VIRGATA)

María Catalina Salgado Gutiérrez¹; Gilbert Francis Pérez García¹; José Armando Fragoso Mandujano¹; Jacinta Luna Villalobos¹; Pedro Tomás Ortiz Y Ojeda¹; María Leticia Vázquez Ruiz¹;

¹Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Autor responsable: maria.sg@tuxtla.tecnm.mx.

Resumen

Los avances tecnológicos han permitido mejorar la calidad de vida de la humanidad, la generación de energía eléctrica por presas hidroeléctricas ha beneficiado al desarrollo de la industria y actividades en la ciudad, sin embargo en la actualidad se cuenta con algunas zonas rurales sin energía eléctrica, para atender esta necesidad se realizó la presente investigación con el propósito de desarrollar un sistema de generación de energía utilizando celdas biofotovoltaicas con plantados de zacate (*Chloris virgata*). La energía biofotovoltaica es una forma de energía renovable que se obtiene a través de la fotosíntesis de las plantas y otros organismos fotosintéticos, la luz solar es convertida en energía química almacenada en compuestos orgánicos. Se diseñaron celda biofotovoltaica (BPV), teniendo como objetivo principal estudiar como la variación de tres tipos de suelo (tierra de vega, peat moss, humus) incrementa la eficiencia y la generación de energía, utilizando como planta el zacate (*Chloris virgata*), las características botánicas de esta especie influyen en el desempeño de la celda (BPV), debido a que sus raíces largas y delgadas penetran en las dos membranas asegurando así la generación de electrones. Los electrones generados de la oxidación son captados por el ánodo (membrana de cobre) y se consumen en el cátodo (membrana de zinc) por la reducción del oxígeno a agua (Strik et al. 2011). Los parámetros que se midieron fueron corriente, voltaje, temperatura, luminosidad y humedad. Para el control y registro de los datos se utilizó un módulo con la capacidad de enviar los datos a la nube (000webhost). El análisis estadístico de los datos obtenidos demostró que el mejor diseño de celda es la que contiene tierra de vega, peat moss y humus.

Palabras clave: celda biofotovoltaica, zacate, energía, voltaje y corriente.

Abstract

The text presents various aspects regarding technological advancements and their impact on enhancing humanity's quality of life. Electricity generation via hydroelectric plants has significantly contributed to industrial development and urban activities. However, presently, there remain rural areas lacking access to electricity. To address this issue, the ongoing research endeavors to develop a system for electricity generation utilizing biofotovoltaic cells integrated with foxtail grass (*Chloris virgata*). Biofotovoltaic energy, a renewable form of energy, derives from plant photosynthesis, converting solar light into chemical energy stored in organic compounds. The designed biofotovoltaic cells (BPV) aim to explore how different soil variations (vega soil, peat moss, humus) impact energy generation efficiency. Employing foxtail grass (*Chloris virgata*) as the primary plant, its botanical traits significantly influence BPV performance; its elongated and slender roots penetrate both membranes, ensuring electron generation. The resulting electrons, created through oxidation, are captured by the anode (copper membrane) and subsequently utilized at the cathode (zinc membrane) to convert oxygen into water (Strik et al., 2011). The research measured various parameters, including current, voltage, temperature, luminosity, and humidity. Data collection and control were obtaining using a module capable of transmitting data to the cloud (000webhost). Statistical analysis of the captured data revealed that the most effective cell design incorporates foxtail grass and humus.

Keywords: biofotovoltaic cell, grass, energy, voltage, current.



Introducción

Por razones ambientales, sociales y económicas es necesaria una transición energética, entendida como un proceso de cambio en los modelos de producción y utilización de energía, hacia sistemas más equitativos, mejor distribuidos geográficamente, y menos contaminantes. Para ello es necesario generar energía sostenible o limpia. La idea de “desarrollo sostenible” fue formulada explícitamente en el informe presentado por la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas en 1987, -conocido como el Informe Brundtland-, como “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”. Esto ha dado lugar a buscar fuentes de generación de energía sostenible a través de plantas vivas.

En la actualidad, más del 81% de la generación de energía en el país está dominada por fuentes térmicas, sobre todo petróleo, carbón y gas natural. La fuente hidroeléctrica representa apenas el 10%, y las energías nuclear y eólica el 3% cada una. Es en las fuentes limpias de energía donde hay que poner la atención, pues su participación sigue siendo muy baja.

Chiapas, junto con Oaxaca, son los estados fuente de energía renovable por excelencia, lo que los convierte en entidades estratégicas, y donde con la adecuada atención e inversión, se pueden alcanzar al mismo tiempo dos objetivos: el de tener un planeta más limpio, y el de abatir la pobreza.

El objetivo de esta investigación es diseño de celdas biofotovoltaicas que permitan la generación de energía eléctrica, utilizando zacate (*Chloris virgate*). La celda biofotovoltaica utiliza el proceso natural de la fotosíntesis para generar energía eléctrica, y consta de dos componentes principales: un panel fotovoltaico y un sistema de cultivo de plantas. El panel fotovoltaico se utiliza para capturar la energía solar y convertirla en energía eléctrica, mientras que el sistema de cultivo de plantas se utiliza para cultivar las plantas que se utilizarán para la fotosíntesis y la producción de energía.

Las celdas biofotovoltaicas son dispositivos que utilizan la fotosíntesis de las plantas para generar energía eléctrica de manera sostenible y renovable. La fotosíntesis es un proceso mediante el cual las plantas convierten la energía solar en energía química, que luego se utiliza para alimentar el crecimiento y el metabolismo de la planta. La fotosíntesis se lleva a cabo en los cloroplastos de las células de la planta, donde se encuentran los pigmentos fotosintéticos, como la clorofila. La energía solar es absorbida por la clorofila y se utiliza para descomponer las moléculas de agua en hidrógeno y oxígeno, liberando electrones en el proceso. Las celdas biofotovoltaicas utilizan este proceso de fotosíntesis para generar electricidad.

En resumen, las celdas biofotovoltaicas son un enfoque innovador y sostenible para la generación de energía eléctrica que se basa en la fotosíntesis de las plantas. Su marco teórico se basa en los principios fundamentales de la fotosíntesis y la electrónica, y su eficiencia y utilidad en la práctica dependen de la investigación y el desarrollo continuos en el campo.

Así mismo, esta investigación describe el diseño de la celda biofotovoltaica, comparando tres diseños con diferentes tipos de sustratos (tierra de vega, peat moss, humus). Como aspecto principal, se evaluará las condiciones de mantenimiento óptimas para el zacate (*chloris virgate*), utilizando como parámetros las variables de: temperatura, humedad y luminosidad. Las condiciones óptimas permitirán generar mejores cantidades de energía eléctrica. El sistema tendrá la capacidad de realizar un monitoreo continuo desde la nube, lo que permitirá mantener un control del sistema de manera constante.



Objetivos

El objetivo de este trabajo es diseñar celdas biofotovoltaicas para generar energía eléctrica con plantado de zacate (*Chloris virgata*).

Materiales y métodos

En esta sección, se detallan los materiales y la metodología utilizados en este estudio.

DISEÑO DE LA CELDA BIOFOTOVOLTAICA Para la construcción de las celdas biofotovoltaicas, se seleccionaron los siguientes materiales, recipiente reciclado de pino, malla galvanizada de criba, alambre de cobre, hojas secas, suelos (tierra de vega, peat moss, humus) y semilla de zacate (*Chloris virgata*). Para el primer diseño se agregó al recipiente una capa de hojas secas (2 cm de alto), una capa de tierra de vega y otra capa de peat moss, se colocó la malla galvanizada con pineras soldadas que sobresalieron de la maceta por lo que se le hicieron dos orificios a ésta, las pineras facilitaron la conexión de la celda con los cables. Posteriormente sobre la malla (cátodo) se agregó una capa de tierra de vega y sobre ésta una capa más de humus, seguido de una malla de alambre magnético calibre 12 sin esmalte, para la construcción del ánodo se utilizó malla de criba y se le soldó un par de cables que fungieron como terminales para facilitar la medición de voltaje, finalmente se colocó una última capa de humus para recubrir la malla de cobre y se sembró la planta (ver Fig. 1). Las mediciones de voltaje se realizaron 50 días posteriores a la siembra, utilizando un multímetro digital. Para el segundo diseño de la celda se utilizó solo tierra de vega y la última capa de humus. Para el tercer diseño se utilizó solo peat moss y la última capa de humus.

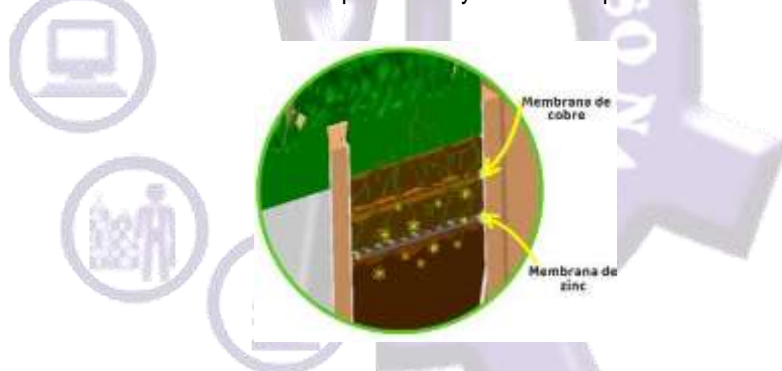


Figura 1. Representación del diseño de celda BPV

FUNCIONAMIENTO Y MEDICIÓN DE PARÁMETROS Las plantas son una forma de producción de energía eléctrica; estas, producen materia orgánica a partir de la luz solar y el CO₂ a través de la fotosíntesis (ver Fig. 2) materia orgánica puede ser oxidada por bacterias que viven en y alrededor de las raíces, liberando CO₂, protones y electrones. Los electrones son donados por las bacterias al ánodo y está acoplado a través de una carga externa a un cátodo. Los protones que se liberaron en el lado del ánodo viajan a través de una membrana hacia el cátodo. La celda BPV utiliza el proceso natural de la fotosíntesis para generar energía eléctrica, y consta de dos componentes principales: un panel fotovoltaico y un sistema de cultivo de plantas. El panel fotovoltaico se utiliza para capturar la energía solar y convertirla en energía eléctrica, mientras que el sistema de cultivo de plantas se utiliza para cultivar las plantas que se utilizarán para la fotosíntesis y la producción de energía.



Figura 2. Esquema gráfico del proceso fotosíntesis en la celda BPV

Se realizó la caracterización de tres suelos de vega, analizando sus propiedades físicas y químicas, para lo cual se hicieron mediciones de pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, densidad, masa y volumen (ver Fig. 3). Después se propusieron tres tipos de diseños de celdas (BPV). El experimento se diseñó empleando tres diferentes diseños de BPV con la misma plata (Chloris virgate). Con 22 unidades experimentales de cada celda.



Figura 3. Imágenes de la caracterización del sustrato. a) dilución del sustrato con agua destilada para usar un equipo multiparametrico que mide conductividad, ph y temperatura, b) horno de secado y c) medición de la humedad del sustrato, con muestras que se acababan de sacar del horno para encontrar un peso constante.

Para realizar las mediciones de voltaje y corriente se utilizaron conectores de dos terminales forrados en hule los cuales se conectaron a las terminales de cada macetera, un protoboard, potenciómetros de $1M\Omega$, $100K\Omega$, $10K\Omega$ y $1K\Omega$, así como un multímetro digital. Para medir la corriente de cada uno de los maceteros se hizo un arreglo en serie con cada una de las resistencias y se tomó la lectura usando el multímetro digital. Posteriormente se realizó una segunda prueba conectando en serie las macetas y se utilizó el led como carga eléctrica, la intensidad de la corriente se evaluó de forma cualitativa por el brillo que emitió el led y de forma cuantitativa empleando el multímetro para registrar los amperes generados.

Para el control y registro de los datos se utilizó un módulo con la capacidad de enviar los datos a la nube(000webhost).



Figura 4. Sistema de monitoreo.

Resultados y discusión

La caracterización de los sustratos permitió determinar la fertilidad de las muestras de suelo a través de los parámetros químicos y físicos (Tabla 1). La muestra 1 presenta los mejores parámetros para beneficiar al crecimiento y la expansión de las raíces en la planta. La muestra 1 y 3 se encuentran los valores más altos de conductividad eléctrica y sólidos totales que nos indican mayor facilidad para que la corriente se mueva en este sustrato por la concentración elevada de sales inorgánicas que puede contener cationes de calcio, magnesio, sodio y potasio y los aniones carbonato, cloruro, sulfato y nitrato. Así mismo en la muestra 1 tiene el valor más alto pH que nos indica ser favorable para la absorción de iones y tiene nutrientes como el boro, aluminio, zinc, hierro y litio. La muestra 2, se descarta como idónea, al tener la concentración más alta en materia orgánica, siendo un suelo no apto para la liberación de electrones.

Tabla1. Caracterización de suelo de vega.

Muestra	Conductividad eléctrica (uS)	Sólidos totales (ppm)	pH	Material orgánico (%)	Tipo de suelo
1	830	410	7.20	20	vega 1
2	627	300	7.15	55	vega 2
3	925	470	4.1	45	vega 3

Para el diseño de las celdas biofotovoltaicas se utilizó un recipiente entubado para asegurar que todas las raíces toquen las mallas (ánodo y cátodo), colocando estas en la parte angosta del recipiente, permitiendo así la liberación de electrones. La Fig. 5 se muestra el diseño de la celda BPV.



Figura 5. Modelo de construcción de la celda BPV.

El análisis de varianza muestra que hay diferencia estadística significativa entre los factores evaluados, siendo así la celda 1 el mejor diseño de sustrato (ver Fig. 6b) para el tratamiento de zacate (*Chloris virgate*), generando un voltaje cercano a 1.9 V, también se encontró que influye la combinación de las capas con los tres sustratos utilizados (tierra de vega1, peat moss y humus), permitiendo un crecimiento abundante de las raíces, la Fig.6a muestra que el crecimiento de la raíz alcanzó la profundidad del recipiente mostrando acumulación en la base, este crecimiento es el más idóneo ya que permite asegurar el contacto con la mallas.



a)

b)

Figura 6. Crecimiento del mejor tratamiento. a) creciente de raíces y b) crecimiento abundante del zacate.

En la Fig. 7 se muestra el diseño de la celda 3, la cual solo contiene peat moss y una última capa de humus, esta muestra que en el mismo tiempo de germinación de la palta las raíces carecen de crecimiento, aunque la planta luce verde y un crecimiento similar al diseño de la celda 1; por lo consiguiente no es adecuada para la generación de energía debido a que sus raíces son fundamentales en la descarga de electrones a las mallas.



Figura 7. Celda BPV con peat moss.

Conclusiones

Se diseñaron tres celdas biofotovoltaicas utilizando tres sustratos (tierra de vega, peat moss, humus). Para evaluar la tierra de vega se realizó el análisis de los parámetros fisicoquímicos, en el cual la muestra 1 presentó las condiciones más aptas para la plata, de acuerdo con los parámetros medidos (pH, conductividad eléctrica, sólidos totales, material orgánico). Para evaluar la eficiencia de las tres celdas BPV se sometieron a condiciones ideales para obtener el mejor rendimiento mediante el monitoreo de condiciones ambientales como la temperatura, humedad y luminosidad.

El diseño de celda BPV que cuenta con capas de los tres sustratos proporcionó los mejores resultados, presentó una mayor estabilidad al momento de conectar una carga y tanto el voltaje como la corriente son mayores logrando así una carga en menor tiempo.

Referencias bibliográficas

Referencias: Bombelli, P., Iyer, D. M. R., Covshoff, S., McCormick, A. J., Yunus, K., Hibberd, J. M., Howe, C. J. (2012). Comparison of power output by rice (*Oryza sativa*) and an associated weed (*Echinochloa glabrescens*) in vascular plant bio-photovoltaic (VP-BPV) systems. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(1), 429–438. doi:10.1007/s00253-012-4473-6

Doran JW. (2005) In-Field Measurement of Soil Quality and Sustainable Management. In 2005 Wisconsin Fertilizer, Agronomy, and Pest Management Conference, Alliant Energy Center, Madison, Wisconsin, January 18–20, Laboski, C. and Boerdoorn, C., eds.; University of Wisconsin Extension: Madison, Wisconsin, 44, 27–31.

Du, Z. Li, H., Gu, T. (2007). A state-of-the-art review on microbial fuel cells: A promising treatment and bionergy, *Biotechnology Advances*, 25, 464-484.

Strik DPBTB, Timmers RA, Helder M, Steinbusch KJJ, Hamelers HVM, Buisman CJN (2011) Microbial solar cells: applying photosynthetic and electrochemically active organisms. *Trends Biotechnol* 29(1):41–49. USDA, 1993. Soil Survey Staff, Soil survey manual (revised and enlarged edition). United States department of Agriculture Handbook, Washington, 18.



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®



VI CONGRESO Nacional de Investigación en
Ciencia e Innovación de
Tecnologías Productivas

UNDP. World Energy Assessment (2000) - energy and the challenge of sustainability. Ireland, G., Hughes, A., y Merven, B. (2017). A techno economic renewable hybrid technology mini-grid simulation and costing model for off-grid rural electrification planning in Sub-Saharan Africa. International Conference on the Domestic Use of Energy (DUE), 289.

Banal, A., Calzada, J., y Jordana. J. (2017). How to achieve full electrification: Lessons from Latin America. ScienceDirect.

Zhang Y, Mo G, Zhang W, Zhang J, Ye J (2011) A graphene modified anode to improve the performance of microbial fuel cells. J Power Sources 196:5402–5407.

Singh NK, Singh M (2020) Fabrication and characterization of a novel eco-friendly plant microbial soil cell. Int J Comput Sci Eng 8(2):39–41.

