

Desarrollo de una biocelda fotovoltaica a partir de residuos verdes

Development of a photovoltaic biocell from green waste

LAGUNAS-BERNABÉ, Ignacio†* & LOA-ARJONA, Jocelyn

Tecnológico de Estudios Superiores de Jilotepec, División de Ingeniería Química

ID 1^{er} Autor: *Ignacio, Lagunas-Bernabé* / ORC ID: 0000-0001-6018-6079, Researcher ID Thomson: I-2780-2018, CVU CONACYT ID: 97810

ID 1^{er} Coautor: *Jocelyn, Loa-Arjona* / ORC ID: 0000-0002-7224-9791, Researcher ID Thomson: H-1072-2018, CVU CONACYT ID: 904417

Recibido 10 de Febrero, 2018; Aceptado 30 Marzo, 2018

Resumen

Diversidad de investigaciones está enfocados en la búsqueda de fuentes alternativas de energía sustentable, ya que las formas tradicionales de producción de energía tienen un impacto negativo sobre el medio ambiente. La fotosíntesis es un proceso de suma importancia para la biosfera porque convierte la energía de la radiación solar en energía química que puede ser usada por todas las formas de vida. El presente proyecto tiene como finalidad generar energía fotovoltaica, empleando como receptor de fotones la clorofila del *Pennisetum clandestinum* (pasto común), simulando la fotosíntesis, se aprovecha el flujo de electrones derivado, para generar energía eléctrica. Se evaluó la generación de electricidad de la biocelda a través de diseños estadísticos experimentales básicos, teniendo como variables de respuesta el voltaje e intensidad de corriente. Se logró generar una intensidad de corriente de 0.022 ± 0.008 mA y 3.85 ± 0.15 mV de energía durante 10 hrs fase luminosa natural. Actualmente se está diseñando una biocelda a escala piloto con un amplificador o convertidor de voltaje/corriente, para aumentar la capacidad generadora de electricidad.

Biocelda, Fotosíntesis, Energía Eléctrica

Abstract

A diversity of research is focused on the search for alternative sources of sustainable energy, since traditional forms of energy production have a negative impact on the environment. Photosynthesis is a very important process for the biosphere because it converts the energy of solar radiation into chemical energy that can be used by all forms of life. The purpose of this project is to generate photovoltaic energy, using the chlorophyll of *Pennisetum clandestinum* (common grass) as a photon receiver, simulating photosynthesis, using the derived electron flow to generate electrical energy. The generation of electricity from the biocell was evaluated through basic experimental statistical designs, with the voltage and current intensity as response variables. It was possible to generate a current intensity of 0.022 ± 0.008 mA and 3.85 ± 0.15 mV of energy during 10 hrs natural light phase. A pilot-scale biocell is currently being designed with an amplifier or voltage / current converter to increase the electricity generating capacity.

Biocell, Photosynthesis, Electrical Energy

Citación: LAGUNAS-BERNABÉ, Ignacio & LOA-ARJONA, Jocelyn. Desarrollo de una biocelda fotovoltaica a partir de residuos verdes. Revista de Energías Renovables 2018. 2-4:19-23.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: lagunas.ix07@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

En la actualidad, una gran diversidad de proyectos está encaminados en la búsqueda de fuentes alternativas de energía sustentable, cada vez menos dependientes de las fuentes tradicionales (p.e. petróleo), ya que estas últimas formas de producción de energía tienen un impacto negativo sobre el medio ambiente. El presente proyecto presenta una propuesta de generar energía fotovoltaica por medio de extractos de clorofila del pasto común (*Pennisetum clandestinum*), pigmento relacionado con la fotosíntesis.

La fotosíntesis es un proceso de suma importancia para la biosfera, porque convierte la energía de la radiación solar en energía química que puede ser usada por todas las formas de vida. La fotosíntesis comprende dos reacciones globales diferenciadas. En la primera se realiza la transducción de energía, y en la segunda la reducción y fijación del carbono (Oster *et.al.* 1964; Kartini *et.al.* 2015).

Los pigmentos fotosintéticos son los únicos que tienen la capacidad de absorber la energía de la luz solar y hacerla disponible para el aparato fotosintético. Los cloroplastos de las plantas superiores contienen siempre varios pigmentos tales como la clorofila “a”, clorofila “b”, algunas xantofilas y carotinas.

El organismo vegetal ha desarrollado un sistema para capturar un fotón de luz y utilizar la energía para elevar el nivel energético de un electrón determinado que posteriormente regresa a su nivel basal. Es posible romper las células vegetales en fracciones con una solución amortiguadora (pH 6.5), con lo que se liberan de los cloroplastos los sub-organelos llamados grana, los cuales aún son capaces de llevar a cabo la fotosíntesis, siendo esta situación la que se aprovechara para obtener energía eléctrica (Hope y Sariciftci, 2004).

Una celda solar fotovoltaica es un dispositivo que convierte la energía de la luz del sol en energía eléctrica en forma directa, sin la necesidad de piezas móviles o algún tipo de combustión.

El efecto fotovoltaico, es decir, convertir la luz solar en electricidad se produce en materiales conocidos como semiconductores, las cuales son materiales cuya conductividad puede ser modificada, y además generar una corriente eléctrica con cargas negativas, positivas o ambas (Antohe *et.al.* 1996).

Al incidir los rayos del sol en un semiconductor, algunos de los electrones de la banda de valencia absorben energía de los fotones y pasan a la banda de conducción donde pueden ser llevados fácilmente a un circuito externo generando por tanto una corriente electrónica. Al dejar su lugar los electrones, provocan en el material “huecos”, considerados como una partícula de signo positivo, los cuales también se “mueven” como una corriente en sentido opuesto a la electrónica. Este movimiento se asemeja al desplazamiento de una burbuja en el agua.

Para que los electrones y huecos generados por la luz solar no se recombinen dentro del semiconductor se debe contar con un campo eléctrico interno, en cuyo sentido se moverán los electrones. Este campo eléctrico es producido en general por una juntura similar a la del diodo semiconductor (Zhang y Angelidaki, 2012).

La mayoría de las celdas solares del siglo XXI utilizaban sílice muy refinada para convertir la luz solar en electricidad utilizable. Desafortunadamente, el uso y el refinamiento de sílice en celdas solares tienen potenciales riesgos ambientales y para la salud. En 1991, se creó la primera celda sensibilizada por colorantes orgánicos, con una eficiencia de conversión de energía del 10%. Fue inventada por Michael Graetzel (Suiza), y fue construida con materiales de bajo costo a partir de un proceso de fabricación muy simple.

Gracias al químico Michael Graetzel, actualmente muchos países lideran las investigaciones de este método energético como Alemania y España que son los más destacados. Cada vez más se obtienen mejores resultados tanto en eficiencia como en costo. Sin embargo, con estos resultados positivos aun no son suficientes para ponerse por encima de las celdas tradicionales.

Una característica especial de estas celdas, es que contienen además de las nanopartículas de los óxidos respectivos, unos electrodos y un colorante en el interior de estas estructuras, tipo sándwich. Entre las funciones de este colorante, se encuentran el ser receptor de la luz solar incidida en las celdas y, al excitarse, proporciona los electrones los cuales serán transportados a los electrodos, y de esta manera, lograr la producción de energía (Wang y Kitao, 2012).

De esta manera, se aprovechará el proceso fotosintético del *Pennisetum clandestinum*, dentro de una biocelda, ya que el flujo de electrones que se generen en el proceso bioquímico serán colectados en un sistema de electrodos (ánodo y cátodo), y se evaluará su eficiencia energética para proponer una alternativa de fabricación de celdas solares fotovoltaicas con pigmento orgánico.

Metodología

1. Obtención de extracto crudo de clorofila

Se empleó como materia prima residuos de pasto común (*Pennisetum clandestinum*), proveniente de la poda de los jardines del Tecnológico de Jilotepec (Estado de México, Méx.). Se retiraron restos vegetales ajenos al pasto, posteriormente por cada 100 grs de pasto se adicionó 100 ml de solución amortiguadora TRIZMA pH 7.2 (mezcla 1:1 de TRIZMA base y TRIZMA HCl, Sigma-Aldrich, Méx.) a 4°C, y se procedió a homogeneizar en una licuadora doméstica, se filtró la mezcla con papel filtro Whatman número 40, y se guardó en envases de polietileno oscuro a 4° C. La mezcla se mantuvo estable por 30 días bajo estas condiciones.

2. Identificación de clorofila en el extracto crudo

Para confirmar la presencia de clorofila y determinar el tipo de ésta, se realizó una curva de absorbancia de 200 a 800 nm con intervalos de 30 nm, empleando un espectrofotómetro UV-Visible (VELAB modelo VE-5100UV, E.U.), el extracto crudo se diluyó a razón 1:10 v/v, se realizaron las lecturas en una celda de cuarzo de 1 cm de ancho. Como referencia se empleó clorofila A patrón (Sigma-Aldrich, Méx.) preparado como una solución 0.5 mM solución amortiguadora TRIZMA pH 7.2 (Martín y Castañeda, 2016).

3. Efecto de la cantidad de extracto de clorofila en la generación de corriente eléctrica

Para evaluar el posible efecto de la cantidad de extracto de clorofila en el voltaje e intensidad de corriente, se realizaron mezclas extracto clorofila/agua fisiológica, siendo como volumen total de 200 mL cada tratamiento. Se considera como agua fisiológica una solución de NaCl al 0.9% m/v. (Tabla 1).

Experimento	Extracto de clorofila (mL)	Solución NaCl 0.9 % (mL)
1	50	150
2	100	100
3	150	50
4	200	0

Tabla 1 Relación de mezclas para evaluar voltaje y corriente eléctrica

Fuente Elaboración Propia

4. Desarrollo de prototipo de biocelda fotovoltaica

Se armó un dispositivo tipo celda electrolítica basado en la biocelda de Lefebvre y colaboradores (2011), con dos recipientes conectados con puente de agar salina (Agar-KCl 1%), en un primer vaso de precipitados de 250 mL. se colocaron 200 mL. del extracto de clorofila conforme a los experimentos de la Tabla 1, y se conectó un electrodo de grafito; en el segundo vaso (que servirá para completar la celda electrolítica) con 200 mL. de solución de ZnSO₄ se colocó un electrodo de zinc (Figura 1). Para poder aumentar el voltaje, se conectaron de dos a cinco pares de celdas conectados en serie. Se midió el voltaje en mV y la intensidad de corriente en mA, empleando un multímetro Extech®. Se realizaron mediciones cada hora en un lapso de 10 horas efectivas luz natural por 3 días consecutivos.



Figura 1 Prototipo de celda eléctrica con extracto de clorofila y una solución de ZnCl₂

Fuente: Elaboración Propia

Resultados

1. Identificación de clorofila en el extracto crudo

Al desarrollar y graficar los datos generados de la curva de absorbancia, se determinó la presencia de clorofila A, puesto que coincidió con la curva de absorbancia de la clorofila A patrón (Gráfico 1). Esto coincide con los trabajos de Milenkovic *et.al.*(2012) y Martín-Castañeda (2016), confirmando las dos zonas del espectro visible que absorbe la clorofila: de 400 a 500 nm y de 600 a 700 nm.

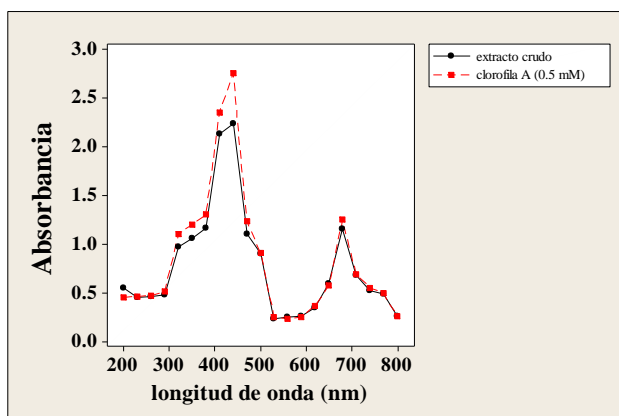


Gráfico 1 Curva de absorbancia del extracto de clorofila de pasto común y clorofila A patrón

Fuente: Elaboración Propia

2. Efecto de la cantidad de extracto de clorofila en la generación de corriente eléctrica

La finalidad de este experimento fue evaluar si existe variación de voltaje y corriente eléctrica al variar la cantidad de extracto de clorofila en dilución con la solución de NaCl al 0.9 % m/v, en el Gráfico 2 se aprecia que en voltaje, hay diferencias significativas ($\alpha=0.05$) entre 100 ml contra 150 y 200 ml de extracto clorofila, sin embargo no hay diferencias significativas para intensidad de corriente (Gráfico 3).

Comparando las medias del Gráfico 2, se decide emplear la cantidad de 100 ml de extracto por cada 200 mL de volumen total de celda fotovoltaica, es decir al 50% v/v, esto debido a que registró un voltaje promedio de 0.55 mV.

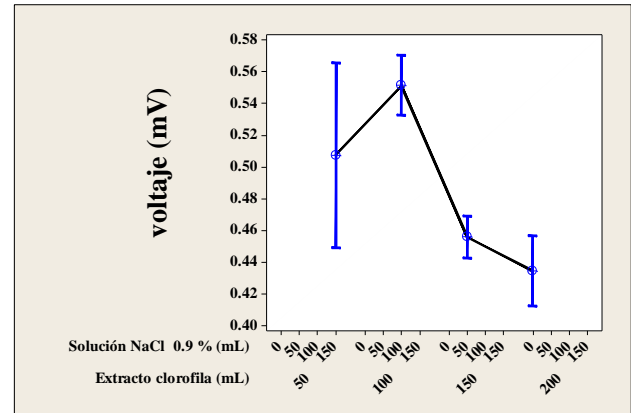


Gráfico 2 Generación de voltaje (mV) según cantidad del extracto de clorofila.

Fuente: Elaboración Propia

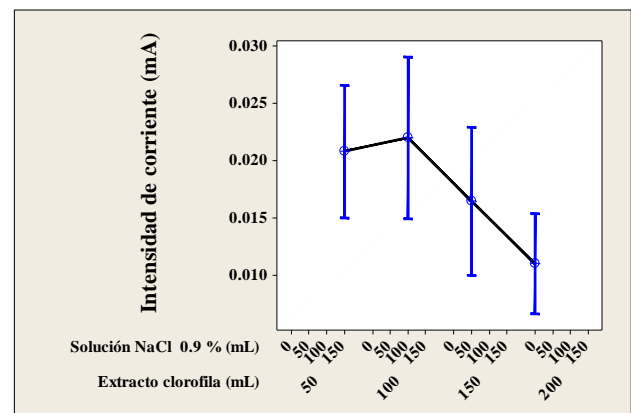


Gráfico 3 Generación de corriente eléctrica (mA) según cantidad del extracto de clorofila

Fuente: Elaboración Propia

Es posible que en la mezcla extracto de clorofila: solución NaCl 0.9%, (100:100 mL), la clorofila y los organelos presente en el extracto, estén en las condiciones fisiológica ideales para llevar a cabo la absorción de energía luminosa, la función del electrodo de gráfico es atraer los electrones generados en el proceso de absorción de fotones de la luz natural, los cuales con bioprocesados con los cloroplastos del extracto verde del *Pennisetum clandestinum* (Wang y Kitao, 2012; Kartini *et.al.* 2015).

3. Desarrollo de prototipo de biocelda fotovoltaica

Se determinó que, al conectar hasta 5 celdas fotovoltaicas en serie, aumentaba el voltaje, aunque la intensidad de corriente se mantenía con valores alrededor de 0.022 ± 0.008 mA. Para evaluar la generación de voltaje durante un periodo de horas consideradas de mayor exposición a la luz natural, se decidió exponer el sistema de celdas fotovoltaicas a la luz de día durante 10 horas efectivas de luz (de 8 hrs a 18 hrs) por tres días consecutivos.

Se puede apreciar en el Gráfico 4 que, durante la fase luminosa solar, se tiene un máximo de 3.85 ± 0.15 mV principalmente en las horas de máxima exposición solar (de 12 a 15 hrs).

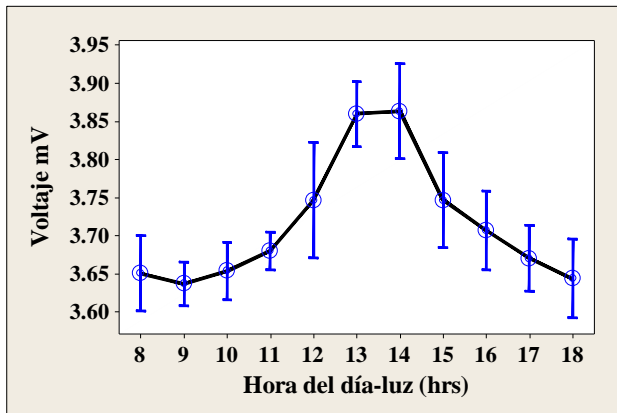


Gráfico 4 Comportamiento del voltaje (mV) en un sistema de 5 celdas fotovoltaicas durante 10 horas-luz natural.

Fuente: *Elaboración Propia*

Agradecimiento

Se agradece al PRODEP-SEP por el financiamiento otorgado al proyecto general *Tecnologías para el aprovechamiento de residuos agroindustriales y remediación del agua*, en la Convocatoria 2017 “Apoyo para el Fortalecimiento de Cuerpos Académicos”.

Conclusiones

Se determina que es viable la construcción de fotoceldas voltaicas del tipo orgánico, en la literatura se encuentra que este tipo de investigaciones están en proceso, principalmente existen prototipos miniatura con placas de vidrio, pero emplean electrodos difícilmente accesibles.

La presente propuesta utiliza materiales que son fáciles de conseguir y económicos, al momento se ha logrado generar un voltaje en promedio de 3.5 mV, y se está en proceso de aumentar la intensidad de corriente al menos hasta 500 mA, para ello se está diseñando un amplificador de corriente (convertidor de voltaje). Además, se está trabajando en un rediseño de las fotoceldas voltaicas para darle mayor viabilidad económica.

Referencias

Antohe, S., Tugulea, L., Gheorghe, V., Ruxandra, V., Caplanus, I. and Ion, I. (1996). Electrical and photovoltaic properties of TO/Chlorophyll PyP/Al p-n junction cells, *Phys. Stat. Sol.*, 153(5), 581-588.

Hoppe, H. and Sariciftci, N. (2004). Organic solar cells: An overview, *J. Mater. Res.*, 19 (4), 1924- 1945.

Kartini, I., Dwitasari, L., Wahyuningsih, T.D., Wang, L. (2015). The sensitization of xanthophylls-chlorophyllin mixtures on titania solar cells. *Internat. J. Sci. Eng.* 8, (2), 109-114.

Lefebvre, O., Uzabiaga, A., Chang, I.S., Kim, B.H., Ng, H.Y. (2011). Microbial fuel cells for energy self-sufficient domestic wastewater treatment- a review and discussion from energetic consideration. *Appl Microbiol Biotechnol*, 89(2), 259-70.

Martín, J.F., Castañeda, J.G. (2016). Análisis de la clorofila de *Spinacia oleracea* y cuantificación de albúmina de espagueti utilizando espectrofotometría. *UGCiencia*. (22), 99-109.

Milenković, S. M., Zvezdanović, J. B., Anđelković, T. D., and Marković, D. Z. (2012). The Identification of Chlorophyll and Its Derivatives in the Pigment Mixtures: HPLC-Chromatography, Visible and Mass Spectroscopy Studies. *Adv. Tech.* 1(1), 16-24.

Rossi, M., Matteocci, F., Di Carlo, A., Forni, C. (2017). Chlorophylls and xanthophylls of crop plants as dyes for Dye-Sensitized solar cells. *J. Plant Sci Phytopathol.*, (1), 521-565.

Oster, G., Broyde, S. B., and Bellin, J. S. (1964). Spectral Properties of Chlorophyllin a. *J. Am. Chem. Soc.* (86), 1309- 1313.

Wang, X.F., Kitao, O. (2012). Natural chlorophyll-related porphyrins and chlorins for dye-sensitized solar cells. *Molecules*, (17), 4484-4497.

Zhang Y., Angelidaki I. (2012). Self-stacked submersible microbial fuel cell (SSMFC) for improved remote power generation from lake sediments. *Biosensors and Bioelectronics* 35(1), 265-270.