

## Diseño y evaluación de una celda biofotovoltaica como enfoque hacia la transición energética

Frank Zuluaga Gómez; Ángel Duran Sarmiento; Yulian García García; Yoiner Campo Ortiz;  
Héctor Quiroz

### PALABRAS CLAVES

Fotosíntesis  
Energía  
Hidrocarburos  
Planeta

### KEYWORDS

Photosynthesis  
Energy  
Hydrocarbons  
Planet  
Environment

### RESUMEN

Ahora en día es muy común escuchar sobre la contaminación del aire, de cómo esta ha traído consecuencias no solo a nuestra comunidad sino a todo el planeta, el uso de los recursos energéticos fósiles lleva usándose desde décadas y estos son de carácter no renovable ya que nos demoramos menos tiempo en consumirlos que el tiempo que los lleva a estos renovarse “El elevado consumo de hidrocarburos a nivel mundial, propicia la contaminación tanto del aire, tierra y agua a niveles muy elevados” (Zapien-Rodríguez et al., 2019). Cada día el uso de la energía eléctrica es más común, muchos hogares están obteniendo y exigiendo más energía eléctrica y esto puede traer como consecuencia que se usen más los hidrocarburos generando aún más contaminación al planeta. Ahora en día también se ha propuesto el uso de las energías renovables como alternativa al uso de los hidrocarburos. Aquí es donde surge nuestra iniciativa, promovemos el uso de una energía que se podría considerar nueva, la cual es la energía biofotovoltaica en la cual utilizamos el proceso de la fotosíntesis de la planta para producir la energía eléctrica. Lo que busca es generar conciencia en la sociedad de cómo es importante investigar nuevas alternativas a lo que se viene usando desde hace años, dejar de pensar en solo nuestra evolución sino también pensar en un tipo de evolución la cual no tenga consecuencias en el medio que habitamos.

### ABSTRACT

#### DESIGN AND EVALUATION OF A BIOPHOTOVOLTAIC CELL AS AN ALTERNATIVE TO THE ENERGY TRANSITION

Nowadays it is very common to hear about air pollution, how it has brought consequences not only to our community but to the entire planet, the use of fossil energy resources has been used for decades and these are non-renewable in nature since It takes us less time to consume them than the time it takes for them to renew themselves “The high consumption of hydrocarbons worldwide leads to the contamination of air, land and water at very high levels” (Zapien-Rodríguez et al., 2019) . Every day the use of electrical energy is more common, many homes are obtaining and demanding more electrical energy, and this can result in more hydrocarbons being used, generating even more pollution to the planet. Nowadays, the use of renewable energies has also been proposed as an alternative to the use of hydrocarbons. This is where our initiative arises, we promote the use of an energy that could be considered new, which is biophotovoltaic energy in which we use the plant's photosynthesis process to produce electrical energy. What it seeks is to raise awareness in society of how it is important to investigate new alternatives to what has been used for years, to stop thinking about only our evolution but also to think about a type of evolution which does not have consequences on the environment in which it exists. we inhabit



## INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica se ha convertido en una necesidad para todos, gracias a ella podemos realizar distintas actividades de nuestro día a día, normalmente se usan los combustibles fósiles para la creación de energía, pero el uso de este genera un impacto negativo al planeta siendo los principales afectados la flora, la fauna y su biodiversidad.

Ahora en día debido al incremento de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y los altos gastos económicos que conlleva la creación y mantenimiento de las energías renovables se busca la creación e implementación de las energías a base de los recursos renovables.

La creación y uso de las energías renovables es un tema el cual se lleva hablando desde hace mucho tiempo, es un tema que nace de la necesidad de un cambio a la hora de producir energía eléctrica. En este proyecto proponemos la energía biofotovoltaica, esta es un tipo de energía renovable el cual no lleva mucho tiempo en su investigación y desarrollo, pero ahora en día se ha hablado mucho sobre ella incluso microempresas se han interesado por este tipo de energía el cual permite encender focos e incluso un teléfono celular.

Con este proyecto se busca como principal es dar conciencia de lo importante que pueden ser las plantas y lo útil que podría ser tener una en nuestros hogares, esto también apoyando al desarrollo sostenible.



## **METODOLOGÍA**

A partir de distintas investigaciones pudimos crear un generador biofotovoltaico que consiste en crear energía a partir de la fotosíntesis de la planta, como sabemos la fotosíntesis es un proceso por el cual la planta crea su propio alimento por medio de las hojas las cuales absorben la energía que viene del sol y la transforman en energía química la cual genera una corriente eléctrica “La fotosíntesis es el proceso utilizado por plantas, algas y otros organismos para convertir la energía química en energía eléctrica procedente del sol”(Jawre, 2018).

Dentro de la tierra podemos encontrar actividad bacteriana aun sin esta necesitar una planta, pero al usar algún tipo de planta en la tierra estos electrones que generan la actividad bacteriana se acabarían ya que no hay nada que permita su renovación. “La investigación actual en biofotovoltaica explota una amplia gama de técnicas, como la electroquímica micro fabricación, síntesis química, biología. biología molecular y simulación numérica” (Alex Driver & Paolo Bombell, 2011).

Para captar estos electrones usamos como electrodos un tornillo bronceado el cual también podemos usar un clavo, pero este se oxida muy rápido y habría que reemplazarlo, mientras que usando el tornillo su tiempo para oxidarse es más extenso.

Amarramos un cable de cobre recubierto a un escarbadienes y también a otra punta amarramos el tornillo el cual ponemos en la tierra, nuestro polo positivo es el electrodo de cobre y nuestro punto negativo será el tornillo y al poner el multímetro podemos notar que cambia su

voltaje. Ahora, con el paso del tiempo hemos realizado distintas pruebas de laboratorio con distintos electrodos para comprobar cuál sería el más eficiente.

En este proceso podemos comprobar que suceden dos reacciones las cuales son:

- $H_2O + CO_2 \rightarrow (CH_2O) + O_2 + e^- + H^+$
- $(CH_2O) + O_2 \rightarrow H_2O + CO_2 + ATP + e^- + H^+$

Aquí lo que sucede es que la planta durante el proceso libera distintos compuestos como carbohidratos los cuales envían al suelo donde las bacterias terminan consumiéndose y producen los electrones. (Jawre, 2018)

Al aplicar los dos cables de corriente por debajo de las plantas es posible medir cuánto es el voltaje que genera o produce la planta, para esto es necesario el multímetro para saber si estamos generando la suficiente energía y sacar cálculos para medir cuánto necesitamos para encender por ejemplo un bombillo. “Para los futuros trabajos con las energías renovables se requerida la incorporación de más celdas biológicas, donde los países más ricos en recursos naturales se beneficiarán con las grandes hectáreas de bosques y selvas que posean” (Luis Lecaro-Zambrano, 2021).

Este es un tipo de energía el cual se puede implementar en países ricos con recursos naturales lo cual permite que sea muy fácil su acceso y trae beneficios al ecosistema.

En este proyecto se utilizaron 2 electrodos, usamos este sistema porque podría ser más sencillo y estable a la hora de añadirlo en la materia “Una configuración de dos electrodos implica que los microorganismos fotosintéticos hacen contacto eléctrico con un ánodo... Los dos

electrodos pueden localizarse juntos en una cámara en electrolito o localizarse por separado en dos cámaras” (Wey et al., 2019)



## **RESULTADOS Y DISCUSION:**

Al realizar este proyecto tuvimos que pasar por distintos pasos, el proyecto como sabemos se centraba en la creación de energía biofotovoltaica es decir (a partir de las plantas), en nuestro caso el proyecto funciono, brindando variaciones de energía de los cuales se esperaba e incluso superaron nuestras expectativas con el paso del tiempo. El objetivo es que podamos crear una buena planta de energía biofotovoltaica y se puede comprobar que a partir de la fotosíntesis de la planta se puede conseguir energía, si se le invierte el recurso suficiente a este tipo de energía se pueden lograr mucho más voltaje y se podrían lograr cosas más grandes y a una mayor escala, Es necesario la obtención de los correctos y debidos materiales para que el proyecto funcione de manera correcta y es necesario intentar conectar cada maceta entre sí para conseguir una suma aun mayor de voltaje y se cree un circuito en serie.

En la creación de este tipo de energía se necesita una planta o mejor dicho un grupo de plantas conectadas entre sí por unos electrodos dentro de los cuales podemos ubicar un ánodo y un cátodo donde el ánodo “Es el electrodo donde tiene lugar la oxidación, liberando electrones que fluirán a través de un material conductor, hacia el cátodo” (García Duván & Ledesma Yerson, 2019) y el cátodo es aquel que recibe los electrones provenientes del ánodo.

El grupo de plantas que escogimos recibe el nombre de (toreñas) o también “Torenia fournieri” (javi, 2014) Las torenias son plantas resistentes al sol, son hierbas de pétalos cuadrangulares ramificados y sus hojas pueden ser de distintos tamaños.

Las torenias son plantas muy resistentes “Hay informes de torenias creciendo en "pantanos abiertos", rocas húmedas en laderas abiertas o junto a arroyos, húmedo terreno en bosques siempre verdes y tierras bajas, y en altitudes de 300 a 1200 m” (Government, 2008, pág. 4). Son usadas muchas veces como decoración presentan una gran resistencia y puede crecer en espacios cerrados.

Las torenias como cualquier planta realizan su proceso fotosintético donde expulsan oxígeno, pero también glucosa al suelo. donde esta como podemos observar en la figura 1 presenta en sus ramas un color verde y sus flores pueden variar a que ha distintos tipos de estas mismas, y estas las sembramos en unas macetas dentro de las cuales le añadimos tierra fértil la cual de por sí ya tiene organismos en su interior los cuales generan los electrones y protones capturados por los electrodos, Esta tierra tiene microorganismos los cuales producen estos mismos elementos y la planta es necesaria para que estos mismos se puedan alimentar con la glucosa y expulsar los electrones y protones para producir voltaje. “El exceso de irrigación puede incrementar el consumo de energía” (arias José & girón filiberto, 2019) es decir el riego

de agua puede ayudar a generar aún más energía en el sistema haciendo que sus electrones se muevan.

### **Figura 1**

*Torenia.*



**Nota:** Se utilizaron macetas en donde añadimos tierra fértil y añadimos nuestras plantas.

Para la creación de los electrodos utilizamos un cable de cobre recubierto, compramos dos metros y los fuimos cortando con un cúter de 20 cm cada una de las divisiones a partir de ahí pelamos los cables con el mismo cúter para luego de eso unirlos en una punta con un palillo y con el otro un tornillo bronceado esto nos permitió hacer nuestro polo positivo y nuestro polo negativo para así usar el multímetro “mediante la colaboración de los electrodos cerca de la raíz se consigue facilitar recolectar estos electrones, lo que para las plantas podría considerarse desecho para nosotros podría ser el futuro en la producción de energía” (Carbonell José &

Escobar, 2021). Podemos observar en la figura 2 como se crearon estos mismos, y parte del proceso en la figura 3 y 4.

## **Figura 2**

*Ejemplo de los electrodos realizados*



**Nota:** Aquí como podemos ver podemos encontrar como se armaron los electrodos.

## **Figura 3**

*Unión de las macetas gracias a los electrodos.*





**Nota:** Aquí unimos las materas gracias a los electrodos generando un circuito donde se pueda conducir la energía.

#### **Figura 4.**

*Electrodos sin armar*



**Nota:** Aquí creamos los electrodos siendo el material principal el cable de cobre recubierto el cual de una punta lo enrollamos de un palillo.

Al trabajar en este proyecto es necesario el cuidado de la planta para que esta pueda realizar su debida fotosíntesis, así como el cuidado de la tierra, que esta se encuentre bien sembrada para garantizar los mejores resultados para conseguir energía eléctrica “la mejor posibilidad de utilizar el aparato de fotosíntesis para la producción de energía no es la producción de biomoléculas para obtener energía sino el acoplamiento directo de la producción

de energía para su división”(Tschörtner et al., 2019). Aquí en adelante es donde entra los electrodos, es decir el ánodo y el cátodo.

La corriente eléctrica no fue lo esperado, pero si se llegó al objetivo que era conseguir la energía de la tierra, aunque no es la suficiente todavía, podría ser por distintos factores, podría ser que la planta no se ha podido acoplar bien a la maceta, también el tipo de tornillos que utilizamos ya que al no encontrar el tornillo bronceado de un tamaño mayor también pudo afectar en el resultado final.

Al final se pudo conseguir energía (pruebas en las figuras 5 y 6), si se logra conseguir el tornillo de un mayor tamaño puede permitirnos conseguir un voltaje incluso mayor y al realizar un circuito en serie con los electrodos podemos conseguir mejores resultados ya que apenas utilizamos 6 macetas para la prueba número 1.

### **Figura 5.**

*Prueba con el multímetro.*



**Nota:** Aquí realizamos la primera prueba con las 6 materas generando voltaje.

### **Figura 6.**

*Aquí es la ejecución.*



**Nota:** aquí ya armamos el circuito en serie y conectamos el multímetro



## **RESULTADOS DE LABORATORIO 2024**

### **1 LABORATORIO 9/FEB/2024**

Circuito en serie con las lenguas de suegra

- 0,04 a 0,06 voltios

Segunda prueba con 4 lengua suegra

- 0,04 a 0,07 voltios

Tercera prueba con 7 lengua suegra

- 0,06 a 0,09 voltios

Suponemos que hay una posible fuga de carga

**Nota:** Realizar nuevas pruebas con electrodos de alambre de cobre

Cuando una maceta conserva actividad bacteriana todavía registra carga eléctrica

Mejorar electrodos (mejorar el agarre soldándolos)

Primera prueba con las plantas florales (toreñas, *Torenia fournieri* )

- 0,08 a 0,10 voltios

Segunda prueba con las plantas florales

- 0,04 a 0,08 voltios

## **CONCLUSIONES:**

### **Nuevos materiales**

- Alambre de cobre
- Nuevos materiales para los tornillos
- Soldar los electrodos



**Nota:** Plantas torenias con las que ejecutamos las primeras pruebas.

## **2 LABORATORIO 16/FEB/2024**

Prueba con 1 sola planta:

- 0.44v

Prueba con 4 plantas:

- 0.50v continua

Prueba con 6 plantas:

- 0.80v continua 0.88-1.06v

Prueba con 6 plantas regadas

- Máximo: 1.34-1,51v

Máximo a temperatura exterior

- 2.04v 2.00v



### CONCLUSIONES:

- Se deben hacer distintos diseños experimentales con distintas condiciones
- Ir documentando (control de los distintos tipos de condiciones)
- De acuerdo con los resultados dar conclusiones y recomendaciones
- Ver beneficios adicionales a los que se encuentren
- Simular condiciones
- Comprar más materas para colocar y medir distintas condiciones

### LA TEMPERATURA INFLUYE EN LA LIBERACION DE CARGAS

ver creación del circuito en las figuras 7 y 8

#### Figura 7.

*Circuito en serie creando 1.06v*



**Nota:** Plantas torenias creación de circuito en serie produciendo voltaje.



### **Figura 8.**

*Circuito en serie creando 2.01v*



**Nota:** Plantas torenias creación de circuito en serie produciendo voltaje.

### **3 LABORATORIO 24/02/2024**

1 planta clavo de zinc abono viejo alambreado de cobre (0.87V)

1 planta clavo de zinc abono viejo cable (0.93V)

2 plantas clavo de zinc abono viejo cable de cobre (1.64V)

**(EL CLAVO DE ZINC DEMOSTRO MAYOR EFECTIVIDAD COMO ANODO QUE EL TORNILLO BRONCEADO)**

---

### **ABONO #2 2das mediciones (nada de agua)**

1 planta tornillos abono #2 cable de cobre (0.23V)

1 planta con abono #2 cable de cobre (0.81)

**(EL CABLE DE COBRE RECUBIERTO DA MEJORES RESULTADOS QUE EL ALAMBRE DE COBRE)**



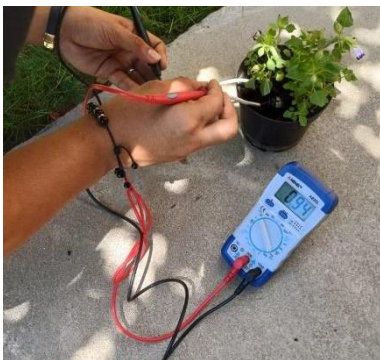
**ANALISIS DE RESULTADOS:**

- Es necesario probar nuevo abono en las plantas haciendo un cambio de este mismo a ver cómo funciona
- El clavo de zinc fue una buena idea ya que el voltaje aumento en gran medida
- Próximo laboratorio hacer pruebas con el circuito en serie y ver si se puede implementar una batería de litio.

Toma de nuevo datos ver figura 9

**Figura 9.**

*Mejora en la producción de Voltios*



**Nota:** Logramos observar una mejora sustancial en el proyecto logrando ver el potencial que podemos tener.

**4 LABORATORIO 1/03/2024**

Hicimos distintas pruebas con distintos abonos y comprobamos que la calidad del suelo tiene un efecto en la cantidad de electrones en el suelo (logramos llegar al voltio con una maceta)

Hicimos el circuito en serie con 2 macetas y el máximo que se pudo llegar fue 1.67

## ANÁLISIS DE RESULTADOS



PRUEBA FINAL 1 CORTE: PROBAR CON UNA BATERIA RECARGABLE HACER MAS ELECTRODOS Y TENER LISTO EL CIRCUITO.

### 5 LABORATORIO 8/03/2024

Hicimos un circuito en serie de 6 macetas y las conectamos entre si con los electrodos (aclarando un polo positivo y un polo negativo en cada maceta.

Usando también como materiales una batería recargable de 3.7v y un pequeño motor de 3v, Procedimos a conectar la batería con el circuito en serie.

### ANALISIS DE RESULTADOS.

Se logro cargar la batería a partir del circuito

Se demostró que vamos por buen camino y vamos por cosas más grandes

Buscaremos la manera para la creación del prototipo y la futura participación de convocatorias.

Buscaremos también el mayor amperaje posible y mayor producción de voltios para su implementación a mayor escala (ver figura 10).

#### **Figura 10.**

*Circuito en serie cargando la batería.*





**Nota:** Logramos observar una mejora sustancial en el proyecto logrando ver el potencial que podemos tener.

#### **6 LABORATORIO 26/04/2024**

Se realizó la práctica de nuevo utilizando los electrodos buscando así una mejoría en la producción de energía dejando que las plantas reposaran un tiempo con el mismo tipo de suelo esperando que se acoplaran y la producción de electrones fuera mayor.

Decidimos también probar con una nueva manera de conectar el circuito variando la colocación de los electrodos y viendo si podríamos lograr un mayor número de voltios dentro del circuito.

#### **ANALISIS DE RESULTADOS.**

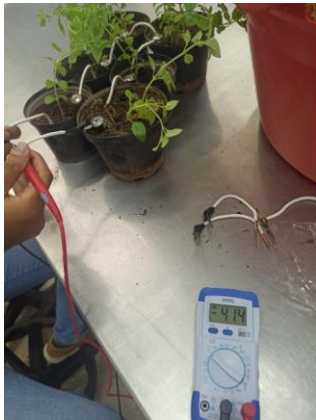
Se logró conseguir un voltaje mayor al conseguido con anterioridad, donde logramos en sí comprobar que si dejas las plantas sin usar durante un tiempo, las bacterias fotosintéticas presentes en el suelo pueden continuar su ciclo de vida y multiplicarse, A medida que lo hacen se aumenta la cantidad de electrones liberados en el suelo como subproducto de la actividad metabólica logrando comprobar que sí, es posible el aumento en la producción.

Buscamos también conectar el circuito de una manera diferente para buscar una mejor manera de producir electrones, comprobamos que el resultado no es el esperado viendo que la mejor opción es creando el circuito de manera organizada empezando con el polo positivo y el negativo en cada maceta y siendo continuo hasta llegar al otro polo (ver figuras 11 y 12).



**Figura 11.**

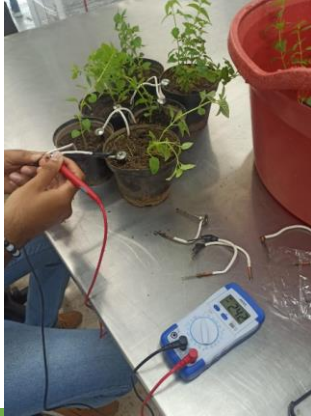
*Circuito en serie logrando observar que con el mismo numero de macetas aumento el voltaje.*



**Nota:** Logramos observar una mejora sustancial en la producción del voltaje logrando comprobar que nuestra teoría de que la producción de electrones podría variar con el tiempo es correcta.

**Figura 12.**

*Circuito en serie cambiando el orden de los electrodos.*



**Nota:** Podemos observar que la producción de voltaje disminuyó al variar el circuito logrando observar que el orden de los también altera.

## CONCLUSIONES

Ahora en día son muy usadas las energías a partir de combustibles fósiles, las cuales a lo largo de las décadas han traído contaminación al planeta haciendo que el medio en el cual habitamos podría llegar a ser inclusive peligroso para ciertas personas.

A partir de esto surgen las energías renovables las cuales no generan problemas al medio en el que habitamos “Los usos potenciales de estas tecnologías forman parte del dominio de la ingeniería medioambiental y la biorremediación, y en ellos intervienen múltiples disciplinas” (Chandra et al., 2019). Es decir, estos tipos de energía se están usando ahora en día por distintas ramas incluyendo la ingeniería ambiental la cual quiere encontrar las distintas soluciones a los problemas ambientales, de aquí surge la energía biofotovoltaica la cual se genera a partir de la fotosíntesis de las plantas.

Podemos crear energía a partir de esta fotosíntesis gracias a los electrodos (ánodo y cátodo). Al ser una energía por así decirlo nueva no ha avanzado mucho en investigaciones y

apenas está en su desarrollo, pero nadie niega que en un futuro podríamos ver a esta como una de las principales fuentes de energía en el planeta.

Si se puede crear un circuito de energía entre distintas materias se puede llegar a un voltaje que incluso podría llegar a cargar celulares o prender un foco, solo es necesario progresar en investigaciones. La energía biofotovoltaica es una realidad y podemos conseguir una nueva forma de cuidar nuestro planeta.



## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

J. Howe, C., & Bombelli, P. (2020). Electricity Production by Photosynthetic Microorganisms. Obtenido de [https://www.sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S2542435120304396](https://www.sciencedirect.com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S2542435120304396)

Anamika , C., Kathirvel , Thirugnasambandam , M., & Sudip , B. (2024). Sustainable power generation from live freshwater photosynthetic filamentous macroalgae Pithophora. Obtenido de <https://www.sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S2468217924000054>

Anna Dawiec-Liśniewska, D. P.-I. (17 de may de 2022). New trends in biotechnological applications of photosynthetic microorganisms. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975022000842>

Bombonelli, P., & J. Howe, C. (2020). Electricity Production by Photosynthetic Microorganisms. Obtenido de [https://www-sciencedirect-](https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S2542435120304396)

[com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S2542435120304396](https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S2542435120304396)

Chandra, R., Castillo, C., Mancera, E., Venkata, S., & Parra, R. (2019). Chapter 3.6 - Fundamentals of Biophotovoltaics for Conversion of Solar Energy to Bioelectricity. Obtenido de [https://www-sciencedirect-](https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/B9780444640529000200)

[com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/B9780444640529000200](https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/B9780444640529000200)

Chandra, R., Modestra, J., & Mohan, S. (28 de July de 2015). Obtenido de [https://www-sciencedirect-](https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/abs/pii/S0016236115007814)

[com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/abs/pii/S0016236115007814](https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/abs/pii/S0016236115007814)

Cheng-Han, T., Fong-Lee, N., Periasamy, V., Basirun, W., & otros. (12 de April de 2022). Sustained power output from an algal biophotovoltaic (BPV) platform using selected marine and freshwater microalgae. Obtenido de

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-022-02879-9>

Cheng-Han, T., N. Priyanga, Fong-Lee Ng, M. Pappathi, & otros. (2022). Metal organic frameworks (MOFs) as potential anode materials for. Obtenido de

<https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/abs/pii/S092058612100328X>

Chin, J.-C., Fong-Lee Ng, & Kang, H.-S. (7 de December de 2023). Obtenido de [https://www-sciencedirect-](https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S2211926423003740)

[com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S2211926423003740](https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S2211926423003740)

Chin, J.-C., Khor, W.-H., Ng, F.-L., Fong, W., & Wu, Y.-T. (2022). Effects of anode materials in electricity generation of microalgal-biophotovoltaic system – part II: Free-floating microalgae in aeration mode. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S2214785322019253>

Ciniciato, G. P. (04 de May de 2022). Biophotovoltaic: Fundamentals and Recent Developments. Obtenido de [https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/chapter/10.1007/978-3-030-99662-8\\_6](https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/chapter/10.1007/978-3-030-99662-8_6)

Doan, C., Sansonnens, J., Morgante, M., Savy, C., & otros. (16 de September de 2023). LED algal microbial fuel cell stack balancing conception: Electronic voltage reversal blockage, light feed-servation cycling, and aeration. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S2213138823004575>

Farah Husna , S., Nurul Affiqah , A., Mohamad Firdaus , M., & Mimi Hani , A. (13 de August de 2022). Existence of sodium bicarbonate enhanced bioelectricity generation on *Chlorella* sp. biofilm in a Biophotovoltaic (BPV) system. Obtenido de <https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/article/10.1007/s10811-022-02814-y>

Fong-Lee , N., Siew-Moi , P., Vengadesh , P., John , B., & Kamran , Y. (30 de May de 2018). Algal biophotovoltaic (BPV) device for generation of bioelectricity using *Synechococcus elongatus* (Cyanophyta). Obtenido de <https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/article/10.1007/s10811-018-1515-1>

Fong-Lee, Siew-Moi, P., Cheng-Han, T., & Vengadesh, P. (2021). Integration of bioelectricity generation from algal biophotovoltaic (BPV) devices with remediation of palm oil

mill effluent (POME) as substrate for algal growth. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S2352186420315807>

Gunaseelan, K., Jadhav, D. A., Gajalakshmi, S., & Pant, D. (2021). Blending of microbial inocula: An effective strategy for performance enhancement of clayware Biophotovoltaics microbial fuel cells. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S0960852420318381>

Gunaseelan, K., jadhav, D., pant, d., & gajalakshmi, S. (13 de junio de 2022). Effectiveness of biophotovoltaics system modified with fuller-clay composite separators for chromium removal. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S0013468622008738>

Gunaseelan, K., Saranya, M., & Gajalakshmi, S. (07 de July de 2022). An Overview, Current Trends, and Prospects of Biophotovoltaic Systems (BPVs). Obtenido de [https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/chapter/10.1007/978-981-16-8094-6\\_16](https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/chapter/10.1007/978-981-16-8094-6_16)

Hee, S., & Seok , Y. (2021). Carbon nanofluid flow based biophotovoltaic cell. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2211285520311976>

Huawei , Z., Haowei , W., Yanping , Z., & Yin, L. (May de 2023). Biophotovoltaics: Recent advances and perspectives. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0734975023000083>

Huawei Zhu. (2023). Turning light into electricity. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S2950155523000046>

Hwarueon , L., & Hyun, J. (14 de agosto de 2023). Biophotovoltaic living hydrogel of an ion-crosslinked carboxymethylated cellulose nanofiber/alginate. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S0144861723007646>

Isabella M. Goodchild-Michelman, G. M.-C. (2023). Light and carbon: Synthetic biology toward new cyanobacteria-based living biomaterials. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S2590006423000431>

J. Howe , C., & Bombelli, P. (2 de March de 2023). Is it realistic to use microbial photosynthesis to produce electricity directly?



J. Tanentzap , A., & Kolmakova, O. (11 de December de 2023). Global change ecology: Science to heal a damaged planet. Obtenido de [https://go-gale-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/ps/retrieve.do?tabID=T002&resultListType=RESULT\\_LIST&searchResultsType=SingleTab&retrievalId=be74b803-7732-44c6-9512-b223e760cf83&hitCount=3&searchType=BasicSearchForm&currentPosition=1&docId=GALE%7CA779274](https://go-gale-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/ps/retrieve.do?tabID=T002&resultListType=RESULT_LIST&searchResultsType=SingleTab&retrievalId=be74b803-7732-44c6-9512-b223e760cf83&hitCount=3&searchType=BasicSearchForm&currentPosition=1&docId=GALE%7CA779274)

Jia-Chun , C., William Chong , W., & Hooi-Siang , K. (01 de January de 2021). Interaction of Wave-Induced Motion and Bioelectricity Generation for Floating Microalgal Biophotovoltaic System. Obtenido de [https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/chapter/10.1007/978-981-33-6311-3\\_31](https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/chapter/10.1007/978-981-33-6311-3_31)



Jing-Ye , T., Fong-Lee , N., Fiona Seh-Lin , K., Choon-Weng , L., & Otros. (April de 2024). Green synthesis of reduced graphene oxide by using tropical microalgae and its application in biophotovoltaic devices. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S2589004224007867>

Jong Hyuk , B., Gu Young , C., & Seoung Jai , B. (03 de January de 2022). A photosynthetic cell-based energy material for flow battery. Obtenido de <https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/article/10.1007/s12206-021-1231-7>

K. Gunaseelan, M. Saranya, & S. Gajalakshmi. (07 de July de 2022). An Overview, Current Trends, and Prospects of Biophotovoltaic Systems (BPVs). Obtenido de [https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/chapter/10.1007/978-981-16-8094-6\\_16](https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/chapter/10.1007/978-981-16-8094-6_16)

Karthikeyan, C., Rani, G. J., Ng, F.-L., Periasamy, V., & Pappathi, M. (17 de June de 2020). 3D Flower-Like FeWO<sub>4</sub>/CeO<sub>2</sub> Hierarchical Architectures on rGO for Durable and High-Performance Microalgae Biophotovoltaic Fuel Cells. Obtenido de <https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/article/10.1007/s12010-020-03352-4>

Kirankumar, K., Hemanth, K., & Otros. (October de 2023). Optical Interactions in Bio-Electricity Generation from Photosynthesis in Microfluidic Micro-Photosynthetic Power Cells. Obtenido de [https://go-gale-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/ps/retrieve.do?tabID=T002&resultListType=RESULT\\_LIST&searchResultsType=SingleTab&retrievalId=585cc59d-52eb-462f-888d-](https://go-gale-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/ps/retrieve.do?tabID=T002&resultListType=RESULT_LIST&searchResultsType=SingleTab&retrievalId=585cc59d-52eb-462f-888d-)

[6c0d8bd01957&hitCount=23&searchType=BasicSearchForm&currentPosition=7&docId=GAL  
E%7CA77253](https://www.sciencedirect.com/proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S1567539422001591)

Kodzo, E., Anku, W., Roopnarain, A., & Green, E. (29 de April de 2022). Exploring indigenous freshwater chlorophytes in integrated biophotovoltaic system for simultaneous wastewater treatment, heavy metal biosorption, CO<sub>2</sub> biofixation and biodiesel generation.

Obtenido de <https://www.sciencedirect->

[com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S1567539422001591](https://www.sciencedirect.com/proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S1567539422001591)

Kuruvinashetti, K., Kumar, H., & Pakkiriswami, S. (2023). Optical Interactions in Bio-Electricity Generation from Photosynthesis in Microfluidic MicroPhotosynthetic Power Cells.

Kuruvinashetti, K., & Packirisamy, M. (14 de May de 2022). Arraying of micro photosynthetic power cells for enhanced power output. Obtenido de <https://link-springer->

[com.proxy.bidig.areandina.edu.co/article/10.1038/s41378-022-00361-7](https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/article/10.1038/s41378-022-00361-7)

Lin , L., & Seokheun, C. (15 de septiembre de 2021). Enhanced biophotovoltaic electricity generation in cyanobacterial biophotovoltaics with intracellularly biosynthesized gold nanoparticles. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378775321007709>

Mahwash , M., & Khuram , S. (07 de August de 2019). Bioelectrochemical systems: Sustainable bio-energy powerhouses. Obtenido de

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956566319306554>

Min Jung , K., Seoung jai, B., Jae, Y., & Song, y. (21 de Marzo de 2018). Anomalous power enhancement of biophotovoltaic cell. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S037877531831303X>

Roullier, C., Reggente, M., Gilibert, P., & Boghossian, A. (9 de June de 2023). Polypyrrole Electrodes Show Strain-Specific Enhancement of Photocurrent from Cyanobacteria. Obtenido de <https://www-scopus-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85152061603&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=0222bf9757f967158e18510c8af72fb8&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28Biophotovoltaic+energy%29&sl=37&sessionSearchId=0222bf9757>

T. Nguyen , H., Giang T, H., Sung-Gwan, P., & otros. (3 de January de 2024). Optimizing electrochemically active microorganisms as a key player in the bioelectrochemical system: Identification methods and pathways to large-scale implementation. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S0048969723083961>

Tanentzap, A., Bombelli, P., & J. Howe, C. (30 de March de 2023). Make it easier to be green: Solutions for a more sustainable planet. Obtenido de [https://go-gale-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/ps/retrieve.do?tabID=T002&resultListType=RESULT\\_LIST&searchResultsType=SingleTab&retrievalId=d4f48f71-2dd2-45d7-99b0-97d80ee718a3&hitCount=2&searchType=BasicSearchForm&currentPosition=1&docId=GALE%7CA745607](https://go-gale-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/ps/retrieve.do?tabID=T002&resultListType=RESULT_LIST&searchResultsType=SingleTab&retrievalId=d4f48f71-2dd2-45d7-99b0-97d80ee718a3&hitCount=2&searchType=BasicSearchForm&currentPosition=1&docId=GALE%7CA745607)

Tay, Z. H.-Y., Ng, F.-L., Ling, T.-C., Iwamoto, M., & Phang, S.-M. (19 de junio de 2022). The use of marine microalgae in microbial fuel cells, photosynthetic microbial fuel cells and biophotovoltaic platforms for bioelectricity generation. Obtenido de <https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/article/10.1007/s13205-022-03214-2>

Teodor, A. H., & Bruce, B. D. (2023). Putting Photosystem I to Work: Truly Green Energy. Obtenido de <https://www-sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S0167779920301098>

Thong, C.-H., Fong-Lee, N., Vengadesh, P., & Wan Jeffrey, B. (26 de November de 2022). Sustained power output from an algal biophotovoltaic (BPV) platform using selected marine and freshwater microalgae. Obtenido de <https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/article/10.1007/s10811-022-02879-9>

Tonny, I., Fisher, A., & Kamran, Y. (26 de August de 2020). Quantitative analysis of the effects of morphological changes on extracellular electron transfer rates in cyanobacteria.

van Moort, M. R., R. Jones, M., N. Frese, R., & M. Friebe, V. (20 de February de 2023). The Role of Electrostatic Binding Interfaces in the Performance of Bacterial Reaction Center Biophotoelectrodes. Obtenido de <https://www-scopus-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0-85147832413&origin=resultlist&sort=plf->

[f&src=s&sid=0222bf9757f967158e18510c8af72fb8&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28Biophotovoltaic+energy%29&sl=37&sessionSearchId=0222bf9757](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2451910317300789)

Vincent , M., & Raoul , N. (2017). Photosynthetic reaction center-based biophotovoltaics. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2451910317300789>

Wangyin, W., Dingyi, L., Xupeng , C., Song , X., & Can , L. (October de 2021). Liberating photoinhibition through nongenetic drainage. Obtenido de [https://go-gale-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/ps/retrieve.do?tabID=T002&resultListType=RESULT\\_LIST&searchResultsType=SingleTab&retrievalId=a31d57db-75cf-4008-9ece-7ea6ebfcff81&hitCount=1&searchType=BasicSearchForm&currentPosition=1&docId=GALE%7CA761256](https://go-gale-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/ps/retrieve.do?tabID=T002&resultListType=RESULT_LIST&searchResultsType=SingleTab&retrievalId=a31d57db-75cf-4008-9ece-7ea6ebfcff81&hitCount=1&searchType=BasicSearchForm&currentPosition=1&docId=GALE%7CA761256)

Xiang , Q., Xinning , L., Yuyi , G., & Peng , L. (August de 2024). Whole-cell biophotovoltaic systems for renewable energy generation: A systematic analysis of existing knowledge. Obtenido de <https://www.sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S1567539424000574>

Z. F. Trova, N., N. Tóth, T., Shetty, P., & Maróti, G. (2023 de December de 18). Enhancing biophotovoltaic efficiency: Study on a highly productive green algal strain

*Parachlorella kessleri* MACC-38. Obtenido de <https://www.sciencedirect-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/science/article/pii/S0960852423016346>

Zenghao, W., Hongrui, L., Miaomiao, Z., & otros. (24 de January de 2023). Water-soluble conjugated polymers for bioelectronic systems. Obtenido de <https://www.scopus-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/record/display.uri?eid=2-s2.0->

[85148866679&origin=resultslist&sort=plf-  
f&src=s&sid=0222bf9757f967158e18510c8af72fb8&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-  
KEY%28Biophotovoltaic+energy%29&sl=37&sessionSearchId=0222bf9757](https://doi.org/10.1186/s13047-024-00000-0)

Zimina, Mandrik, & Pudova. (2024). Biophotovoltaic Energy Sources Based on Cyanobacteria. Obtenido de [https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/article/10.1134/S263516762360089X](https://link.springer.com.proxy.bidig.areandina.edu.co/article/10.1134/S263516762360089X)

Zoe Hui, Y., Fong-Lee , N., Choon-Weng , L., G. Gnana , k., & Abdullah G, A.-S. (09 de January de 2024). Evaluation of selected tropical marine microalgal cultures for use in biophotovoltaic platforms. Obtenido de [https://link-springer-com.proxy.bidig.areandina.edu.co/article/10.1007/s00253-023-12951-0](https://link.springer.com.proxy.bidig.areandina.edu.co/article/10.1007/s00253-023-12951-0)