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

Frank Zuluaga Gómez¹
Ángel Durán Sarmiento¹
Yulian García García¹
Yoiner Campo Ortiz¹
Héctor Quiroz²

Resumen

Hoy en día es muy común escuchar sobre la contaminación atmosférica y sus consecuencias no solo para nuestra comunidad, sino para todo el planeta. Los recursos energéticos fósiles se han utilizado durante décadas, y son de naturaleza no renovable, ya que tardamos menos en consumirlos que en renovarlos. El alto consumo de hidrocarburos a nivel mundial conlleva niveles muy elevados de contaminación del aire, la tierra y el agua (Zapien-Rodríguez *et al.*, 2019). El uso de energía eléctrica es cada día más común; muchos hogares obtienen y demandan más energía eléctrica, lo que puede dar como resultado un mayor uso de hidrocarburos, lo que causa aún más contaminación para el planeta. Por tanto, el uso de energías renovables se ha propuesto como una alternativa al uso de hidrocarburos. De aquí surge nuestra iniciativa: promovemos el uso de una energía que podría considerarse nueva, la biofotovoltaica, que aprovecha el proceso de fotosíntesis de las plantas para producir energía eléctrica. Buscamos concienciar a la sociedad sobre la importancia de investigar nuevas alternativas diferentes de las que se ha utilizado durante años, para dejar de pensar solo en nuestra evolución y considerar también una evolución que no tenga consecuencias para nuestro entorno.

Palabras clave: fotosíntesis, energía solar, gestión ambiental, sostenibilidad, medio ambiente.

¹ Estudiantes de la Fundación Universitaria del Área Andina.

² Docente de la Fundación Universitaria del Área Andina.

Abstract

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.

Keywords: photosynthesis, solar energy, environmental management, sustainability, environment.

Introducción

La energía eléctrica se ha convertido en una necesidad para todos. Gracias a ella podemos realizar distintas actividades de nuestro día a día. Para generar energía normalmente se usan los combustibles fósiles, pero el uso de estos le causa un impacto negativo al planeta, al afectar la flora, la fauna y su biodiversidad.

En la actualidad, por culpa del aumento de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y los altos gastos económicos que implica la creación y mantenimiento de las energías renovables, se busca crear e implementar energías a partir de los recursos renovables.

La creación y uso de las energías renovables es un tema que se ha discutido desde hace mucho tiempo, y nace

de la necesidad de un cambio al producir energía eléctrica. En este proyecto proponemos la energía biofotovoltaica, que es en un tipo de energía renovable con poco tiempo de investigación y desarrollo, pero de la que hoy se ha hablado mucho. Incluso microempresas se han interesado en este tipo de energía, que permite encender focos e incluso un teléfono celular.

Este proyecto busca principalmente crear conciencia de lo importante que pueden ser las plantas y lo útil que podría ser tener una en nuestro hogar, como apoyo al desarrollo sostenible.

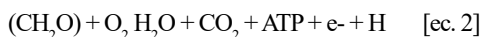
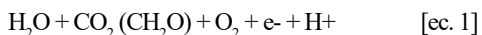
Metodología

A partir de distintas investigaciones pudimos crear un generador biofotovoltaico, que consiste en generar 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, que 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, p. 1).

Dentro de la tierra existe actividad bacteriana incluso sin una planta. Pero al usar algún tipo de planta en la tierra, estos electrones que generan la actividad bacteriana se extinguirían, ya que no hay nada que les permita renovarse. “La investigación actual en biofotovoltaica explota una amplia gama de técnicas, como la electroquímica microfabricación, síntesis química, biología, biología molecular y simulación numérica” (Driver y Bombelli, 2011, p. 16). Para captar estos electrones usamos como electrodos un tornillo bronceado; también podemos usar un clavo, pero este se oxida con mucha rapidez y habría que reemplazarlo, mientras que el tornillo no se oxida tan rápidamente.

Amarramos un cable de cobre recubierto a un escarbadientes y a otra punta; también amarramos el tornillo, el cual ponemos en la tierra. El polo positivo es el electrodo de cobre, y el punto negativo será el tornillo; así, al poner el multímetro, podemos notar que cambia de voltaje. Con el tiempo hemos realizado distintas pruebas de laboratorio con diferentes electrodos para comprobar cuál es el más eficiente.

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



Aquí lo que sucede es que la planta durante el proceso libera en el suelo distintos compuestos como carbohidratos, donde las bacterias terminan consumiéndose y producen los electrones (Jawre, 2018, p. 3).

Al aplicar los dos cables de corriente por debajo de las plantas, es posible medir con el multímetro el voltaje que genera la planta. Esto nos permite calcular cuánta energía necesitamos para encender por ejemplo una bombilla. “Para los futuros trabajos con las energías renovables se requiere la incorporación de más celdas biológicas, así los países más ricos en recursos naturales se beneficiarán con las grandes hectáreas de bosques y selvas que posean” (Lecaro-Zambrano y Garzon-Montealegre, 2021, p. 12).

Este tipo de energía se puede implementar en países ricos con recursos naturales, la cual es de muy fácil su acceso y trae beneficios al ecosistema.

En este proyecto se utilizaron dos electrodos. Se usó este sistema porque era más sencillo y estable al añadirlo en la maceta: “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, p. 1).

Resultados y discusión

Al realizar este proyecto tuvimos que avanzar 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 funcionó, pues brindó variaciones de energía que incluso superaron nuestras expectativas con el tiempo. El objetivo es crear una buena planta de energía biofotovoltaica; así, es fácil comprobar que a partir de la fotosíntesis de la planta se puede obtener energía. Si se le invierte el recurso suficiente a este tipo de energía, se puede producir mucho mayor voltaje y se podrían lograr cosas más grandes a mayor escala. Sin embargo, se necesitan los materiales adecuados para que el proyecto funcione de manera correcta, y es necesario intentar conectar las macetas entre sí para multiplicar el voltaje y crear un circuito en serie.

En la generación 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 instalar un ánodo y un cátodo; el ánodo “[e]s el electrodo donde tiene lugar la oxidación, liberando electrones que fluirán a través de un material conductor, hacia el cátodo” (García y Ledesma, 2019, p. 42) el cátodo recibe los electrones provenientes del ánodo.

El grupo de plantas que escogimos recibe el nombre de torenias (*Torenia fournieri*) Estas son plantas resistentes al sol, de pétalos cuadrangulares ramificados y cuyas hojas pueden ser de distintos tamaños. Se usan con frecuencia para decorar, son muy resistentes y pueden crecer en espacios cerrados.

Las torenias son plantas muy resistentes: “Hay informes de torenias que crecen en pantanos abiertos, en rocas húmedas en laderas abiertas o junto a arroyos, en terreno húmedo en bosques siempre verdes y tierras bajas y en altitudes de 200 a 1400 m” (RoyalBotanicGardens, 2024, p. 1).

Las torenias, como cualquier planta, realizan su proceso fotosintético en el que expulsan oxígeno y glucosa al suelo. Como se puede observar en la figura 1, son de color verde, y sus flores pueden variar según el tipo de planta. Las sembramos en macetas con tierra fértil, la cual tiene organismos que generan los electrones y protones capturados por los electrodos, se alimentan con la glucosa

y expulsan los electrones y protones para producir voltaje. 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 en macetas con tierra fértil
Fuente: elaboración propia.

Para elaborar los electrodos se utilizaron dos metros cable de cobre recubierto, el cual se dividió con un cúter en trozos de 20 cm cada uno; luego se pelaron los extremos de cada cable con el mismo cúter y se unió un extremo con un palillo y el otro con un tornillo bronceado. Esto permitió tener un polo positivo y otro 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 y Escobar, 2021, p. 1). La figura 2 muestra cómo se elaboraron los electrodos, y parte del proceso aparece en las figuras 3 y 4.



Figura 2.
Elaboración de los electrodos
Fuente: elaboración propia.

Al trabajar en este proyecto es necesario el cuidado de la planta para que pueda realizar su debida fotosíntesis, así como el cuidado de la tierra. Que la planta se encuentre bien sembrada garantiza los mejores resultados para generar 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 Lai y Krömer, 2019, p. 2). De aquí en adelante

desempeñan un papel importante los electrodos, es decir, el ánodo y el cátodo.

Sin embargo, la corriente eléctrica no fue la que se esperaba, pero sí se cumplió el objetivo, que era generar energía de la tierra, aunque no la suficiente todavía, tal vez por distintos factores, como, por ejemplo, que la planta no se hubiera podido acoplar bien a la maceta, o por el tamaño de los tornillos que se utilizaron, que al no ser más grandes pudieron afectar el resultado.



Figura 3.
Unión de las macetas mediante los electrodos para generar un circuito
Fuente: elaboración propia.

Al final se pudo generar energía, como se puede ver en las figuras 5 y 6. Con tornillos de mayor tamaño se puede obtener un voltaje mayor, y al realizar un circuito en serie con los electrodos,

se pueden conseguir mejores resultados, ya que apenas se utilizaron seis macetas para la prueba número 1.



Figura 4.
Electrodos sin armar

Nota: se crearon los electrodos con cable de cobre recubierto enrollado en una punta a un palillo.

Fuente: elaboración propia.

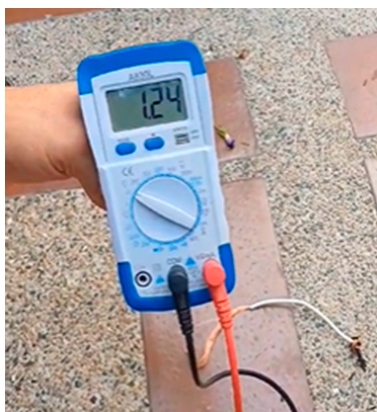


Figura 5.
Primera prueba con el multímetro y seis macetas

Fuente: elaboración propia.



Figura 6.
Generación de corriente eléctrica con circuito en serie y multímetro

Fuente: elaboración propia.

Resultados de laboratorio 2024

1 Laboratorio 9/feb./2024

Circuito en serie con lenguas de suegra

- 0,04 a 0,06 V

Segunda prueba con cuatro lenguas de suegra

- 0,04 a 0,07 V

Tercera prueba con siete lenguas de suegra

- 0,06 a 0,09 V

Se cree 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 torenias

- 0,08 a 0,10 V

Segunda prueba con torenias

- 0,04 a 0,08 V

Conclusiones

Nuevos materiales

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

Nota: torenias con las que se ejecutaron las primeras pruebas.

2 Laboratorio 16/feb./2024

Prueba con una planta:

- 0,44 V

Prueba con cuatro plantas:

- 0,50 V continua

Prueba con seis plantas:

- 0,80 v continua 0,88-1,06 V

Prueba con seis plantas regadas

- Máximo: 1,34-1,51 V

Máximo a temperatura exterior

- 2,04 v 2,00 V

Conclusiones

- Se deben hacer distintos diseños experimentales en diversas condiciones.
- Documentar gradualmente (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.
- Utilizar más macetas para medir distintas condiciones.

La temperatura influye en la liberación de cargas

Véase la creación del circuito en las figuras 7 y 8.

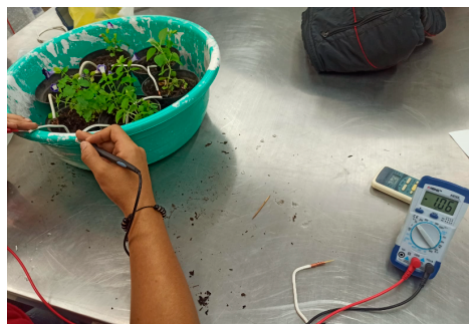


Figura 7.
Circuito en serie con torenias que generó 1,06 V

Fuente: elaboración propia.



Figura 8. *Circuito en serie con torenias que generó 2,01 V*

Fuente: elaboración propia.

3 Laboratorio 24/feb./2024

1 planta, 1 clavo de zinc, abono viejo, alambrado de cobre (0,87 V).

1 planta, 1 clavo de zinc, abono viejo, cable (0,93 V).

2 plantas, 1 clavo de zinc, abono viejo, cable de cobre (1,64 V).

(El clavo de zinc demostró mayor efectividad como ánodo que el tornillo bronceado).

Abono #2 segundas mediciones (nada de agua)

1 planta, tornillos, abono #2, cable de cobre (0,23 V).

1 planta con abono #2, cable de cobre (0,81 V).

(El cable de cobre recubierto da mejores resultados que el alambre de cobre).

Análisis de resultados

- Es necesario probar nuevo abono en las plantas para ver cómo funciona.
- El clavo de zinc fue una buena idea, ya que el voltaje aumentó en gran medida.
- Hacer pruebas en el siguiente laboratorio con el circuito en serie y ver si se puede implementar una batería de litio.

Toma de nuevos datos (figura 9).

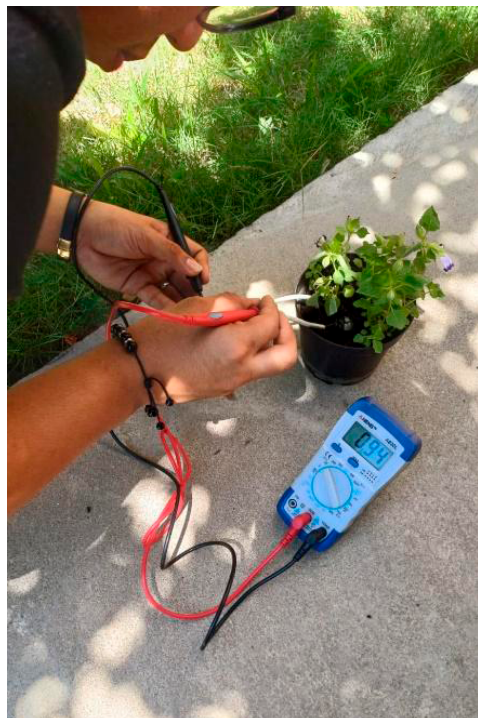


Figura 9.
Mejora en la generación de voltaje
Fuente: elaboración propia.

4 Laboratorio 1.º/marzo/2024

Se hicieron distintas pruebas con varios abonos y se comprobó que la calidad del suelo tiene un efecto en la cantidad de electrones (se logró llegar al voltio con una maceta). Con el circuito en serie con dos macetas se pudo obtener 1,67 V.

Análisis de resultados

Prueba final 1 corte: una batería recargable, más electrodos y tener listo el circuito.

5 Laboratorio 8/marzo/2024

Se hizo un circuito en serie de seis macetas que se conectaron entre sí con los electrodos (un polo positivo y uno negativo en cada maceta).

Usando también una batería recargable de 3,7 V y un pequeño motor de 3 V, se conectó la batería con el circuito en serie.

Análisis de resultados

- Se logró cargar la batería a partir del circuito.
- Se demostró que se va por buen camino y por mejores logros.
- Se buscará la manera de crear el prototipo y la futura participación de convocatorias.

Se tratará de obtener también el mayor amperaje posible y mayor producción de voltios para su implementación a mayor escala (figura 10).



Figura 10.
Circuito en serie con carga de batería
Nota: se observó una mejora sustancial en el proyecto.
Fuente: elaboración propia.

6 Laboratorio 26/abril/2024

Se realizó la práctica de nuevo utilizando los electrodos. Se buscaba una mejora en la producción de energía dejando que las plantas reposaran un tiempo con el mismo tipo de suelo, a la espera de que se acoplaran y la producción de electrones fuera mayor.

Se decidió también probar una nueva manera de conectar el circuito variando la colocación de los electrodos para ver si se podía generar más voltaje.

Análisis de resultados

Se logró conseguir un voltaje mayor que el que se obtuvo antes. Se comprobó que dejando las plantas en reposo durante un tiempo, las bacterias fotosintéticas presentes en el suelo pueden continuar su ciclo de vida y multiplicarse. A medida que lo hacen aumenta la cantidad de electrones liberados en el suelo como subproducto de la actividad metabólica, lo cual prueba que es posible aumentar la producción.



Figura 11.
Circuito en serie. Aumento de voltaje con el mismo número de macetas
Nota: se observó una mejora sustancial en la producción del voltaje, y se comprobó que nuestra teoría de que la producción de electrones podría variar con el tiempo es correcta.
Fuente: elaboración propia.

Se buscó también conectar el circuito de una manera diferente para obtener una mejor manera de producir electrones. Se comprobó que el resultado no es el esperado, pues 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 (figuras 11 y 12).



Figura 12.
Circuito en serie con cambio en el orden de los electrodos

Nota: se observó que el voltaje disminuyó al variar el circuito y que el orden de los electrodos también afectaba.

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Actualmente se usan mucho las energías a partir de combustibles fósiles,

que por décadas han contaminado el planeta y lo han hecho peligroso.

Para remediar este inconveniente surgen las energías renovables, las cuales no generan problemas al ambiente: “Los usos potenciales de estas tecnologías forman parte del dominio de la ingeniería medioambiental y la biorremediación, y en ellos intervienen múltiples disciplinas” (Cheng-han *et al.*, 2022, p. 1); es decir, estos tipos de energía los están usando distintas disciplinas científicas, incluso la ingeniería ambiental, la cual quiere encontrar las distintas soluciones a los problemas ambientales. De aquí surge la energía biofotovoltaica, que 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 relativamente nueva, no existen muchas investigaciones y apenas está en desarrollo; pero nadie niega que en un futuro podíamos verla como una de las principales fuentes de energía en el planeta.

Si se puede crear un circuito de energía entre distintas macetas, se puede generar un voltaje que incluso podría cargar celulares o prender un foco; solo se necesitan más investigaciones. La

energía biofotovoltaica es una realidad que puede contribuir a cuidar el planeta.

Referencias

- Carbonell, J., y Escobar, J. (2021). *Mejoras en el potencial de generación de energía eléctrica de plantas vivas a partir de celdas de combustibles microbiano*. <https://repositorio.cuc.edu.co/entities/publication/4866a1d2-7501-4b67-b194-be03c7b1239d>
- Cheng-han, T., Fong-lee, N., Vengadesh, P., & Wan Jeffrey, B. (2022). *Sustained power output from an algal biophotovoltaic (BPV) platform using selected marine and freshwater microalgae*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10811-022-02879-9>
- Driver, A., & Bombelli, P. (2011). *Catalyst*. <https://www.stem.org.uk/system/files/elibrary-resources/2016/02/Catalyst21.4.pdf>
- García, D., y Ledesma, Y. (2019). *Desarrollo de un prototipo de sistema para la generación de energía eléctrica a partir del proceso de fotosíntesis de las plantas*. <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/server/api/core/bitstreams/15b66b55-65ed-449f-931c-37c5deb2eaa7/content>
- Jawre, A. (2018). *Bio-Photovoltaic: The future of electricity with Natural Resources*. https://www.ijcrt.org/viewfull.php?p_id=IJCRT1803267
- Lecaro-Zambrano, J., y Garzon-Montealegre, V. (2021). *Energía eléctrica fotosintética: una alternativa económica y ecológica para los sectores rurales y urbanos del Cantón Machala, provincia de El Oro*. <https://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/18575/1/TTUACA-2022-EA-DE00007.pdf>
- Royal Botanic Gardens. (2024). *Torenia thouarsii*. <https://powo.science.kew.org/taxon/urn%3Aalsid%3Aipni.org%3Anames%3A255156-2/general-information?>
- Tschörtner, J., Lai, B., & Krömer, J. (2019). *Biophotovoltaics: Green Power Generation From Sunlight and Water*. <https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2019.00866/full>
- Wey, L., Bombelli, P., Chen, X., & otros. (2019). *The Development of Biophotovoltaic Systems for Power Generation and Biological Analysis*. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PM>