

Energía Biofotovoltaica: Las Plantas como Fuente Alternativa de Energía Renovable en Portoviejo, Provincia de Manabí

Biophotovoltaic Energy: Plants As An Alternative Source Of Renewable Energy In Portoviejo, Province Of Manabí

Gina Geomaira Aguilar Arteaga

Betancourt Safla Luis Oswaldo, Ing.

Milton Manuel Vega Játiva, Mg.

José Elías Solórzano Giler, Mg.

⁽¹⁾Estudiante del Instituto Superior Tecnológico Paulo Emilio Macías, Manabí – Ecuador, gaguilar7853@itspem.edu.ec

⁽²⁾Instituto Superior Tecnológico Paulo Emilio Macías, Manabí – Ecuador, luis.betancourt@itspem.edu.ec

⁽³⁾Instituto Superior Tecnológico Paulo Emilio Macías, Manabí – Ecuador, milton.vega@itspem.edu.ec

⁽⁴⁾Instituto Superior Tecnológico Paulo Emilio Macías, Manabí – Ecuador, jose.solorzno@itspem.edu.ec

Contacto: gaguilar7853@itspem.edu.ec

Recibido: 25-12-2022

Aprobado: 18-04-2023

Resumen

El presente estudio se llevó a cabo en el Instituto Superior Tecnológico Paulo Emilio Macías, ubicado en la ciudad de Portoviejo, Ecuador. El objetivo fue determinar la capacidad de producción de energía biofotovoltaica utilizando tres especies de plantas: dulcamara, sábila y orégano. Las especies en estudio fueron colocadas en macetas o celdas biológicas a libre exposición solar durante 45 días, tiempo en el que se realizaron varias mediciones con multímetro para determinar la carga eléctrica, tanto en plantas individuales como en forma grupal, conectadas en serie y paralelo. Los resultados con plantas individuales no presentaron diferencias entre las especies estudiadas, obteniéndose baja cantidad de voltios, con valores menores a la unidad. Sin embargo, las

mediciones realizadas utilizando grupos de plantas conectadas en serie, permitió alcanzar 9 voltios, pudiéndose encender una lámpara led. Las conexiones se realizaron con cables de cobre y aluminio. El estudio permitió concluir que la energía biofotovoltaica es una fuente importante de electricidad que puede desarrollarse a mayores escalas para uso en comunidades rurales.

Palabras clave: Energía biofotovoltaica, energía renovable, plantas, bioelectricidad,

Abstract

This study was carried out at the Paulo Emilio Macias Higher Technological Institute, located in the city of Portoviejo, Ecuador. The objective was to determine the production capacity of biophotovoltaic energy using three species of plants: dulcamara, aloe vera and oregano. The species under study were placed in pots or biological cells under free sun exposure for 45 days, during which time several measurements were made with a multimeter to determine the electrical charge, both in individual plants and in groups, connected in series and parallel. The results with individual plants did not show differences between the studied species, obtaining a low amount of volts, with values less than one. However, the measurements made using groups of plants connected in series, allowed to reach 9 volts, being able to turn on an LED lamp. The connections were made with copper and aluminum cables. The study allowed to conclude that bio-photovoltaic energy is an important source of electricity that can be developed on a larger scale for use in rural communities.

Keywords: Biophotovoltaic energy, renewable energy, plants, bioelectricity

Introducción

En el ámbito global, han sido varios los factores ambientales, económicos y geopolíticos que han propiciado un renovado impulso a la investigación y financiación de fuentes energéticas de carácter renovable, que puedan constituirse en una alternativa frente a las fósiles, como el carbón, el gas y el petróleo. El deterioro de los ecosistemas; la emisión de gases de efecto invernadero; el agotamiento de las fuentes convencionales; el alto costo del petróleo; entre otros aspectos, han constituido un conjunto de razones de tipo multidimensional para que científicos, académicos, empresas y gobiernos se encuentren

cada vez más interesados en encontrar alternativas energéticas que garanticen el suministro energético de manera sostenible (Jiménez, 2014).

En los países industrializados, especialmente en Europa y Norte América, se contempla dentro de su desarrollo la utilización de métodos para el aprovechamiento y la generación de energías alternativas como contribución a la reducción de emisiones de gases efecto invernadero como el CO₂, que contribuyen al aceleramiento del calentamiento global. De esta manera este tipo de energías son tomadas como acciones de mitigación y de aprovechamiento sostenible que contemplan la utilización de las radiaciones solares y la potencia del viento para transformar energía (Pascualino et. al 2015).

La energía renovable se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Se consideran en principio limpias o verdes, porque contaminan muy poco, y no emiten los gases suficientes que producen el efecto de invernadero. El resurgimiento de las energías renovables y su importancia se inició como consecuencias del acuerdo de Kioto el cual limita la producción de dióxido de carbono en el medio ambiente (Barragán, R. 2020).

El Ecuador se ha abastecido tradicionalmente de energía renovable, fundamentalmente la hidroeléctrica combinada con un porcentaje de energía térmica (no renovable) proveniente de combustibles fósiles. Sin embargo, actualmente se exploran otras fuentes de energía eléctrica limpia y una de ellas es la fuente biofotovoltaica que encontramos en las plantas, ya que estas por medio de la rizodeposición liberan sustancias basadas en carbono y son captadas por las bacterias, liberando electrones que pueden ser utilizados para generar electricidad verde a partir de la fotosíntesis.

Esta investigación se fundamenta en el aprovechamiento de la energía procedente del sol, la misma que es captada por las hojas de las plantas, fotosintetizada y enviada por los tejidos conductores hacia la raíz, en donde se transforma en electricidad gracias al contacto con ciertos microorganismos y las partículas del suelo. Con el objetivo general que indica: determinar el flujo de energía eléctrica que se puede obtener en plantas de jardín y para solventar se ejecutaron los siguientes objetivos específicos: establecer la

producción de electricidad en varias especies de plantas, de manera individual; definir la producción de electricidad en grupos de plantas conectadas en serie y Configurar el sistema para encender una bombilla led.

La fotosíntesis

Se define fotosíntesis al proceso físico-químico por el cual plantas, algas, bacterias fotosintéticas y algunos protistas como diatomeas utilizan la energía de la luz solar para sintetizar compuestos orgánicos. (Pérez Elena, Carril Urria, 2009). En el proceso se llevan a cabo un conjunto de reacciones que involucran la presencia de la luz (fase lumínica o luminosa) y una independiente de la luz (fase oscura). (Sandava, 2008).

La energía procedente del sol la usan directamente las plantas verdes y demás organismos fotosintéticos capaces de capturar la energía solar, transformarla en energía química y almacenarla. Este proceso natural se denomina fotosíntesis y consiste en convertir la energía solar, el agua y el dióxido de carbono en carbohidratos y oxígeno que actúan como nutrientes para las plantas (Zapien José, Solorio Bianca, Ballesteros Juan, Nuñez Frida, 2019).

Por eso es importante, que cuando nos referíamos a fotosíntesis hay que incluir a los organismos vivos, porque cumplen el rol de fotosintetizadores y pertenecen al dominio Bacteria (son las bacterias fotosintéticas) y al dominio Eucarya (algas, plantas y algunos protistas). Si nos fijamos en ellos, comprobamos que la aparición y el desarrollo de la fotosíntesis está íntimamente ligado al desarrollo de la vida sobre la tierra (Pérez Elena, Carril Urria, 2009). Una vez que hemos mencionado a la fotosíntesis y a su actividad físico-químico, identificaremos el resultado que se obtiene del proceso fotosintético, desde algunos estudios que ya se han realizado.

Generación Eléctrica a partir de la fotosíntesis

Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), en la actualidad el consumo de la energía eléctrica a nivel mundial crece a un ritmo del 1,5% anual, de igual forma hace mención que la fuente de energía eléctrica principal es la proveniente de combustibles fósiles con 80%, seguida de la energía de biomasa con un 10%, el 6% de energía nuclear,

2 % de energía hidráulica y el otro 2 % de energías renovables (Balcells, Autonell, Barra, Brossa, Fornieles, García, Ros y Serra, 2011).

De acuerdo a las estadísticas nacionales las principales fuentes de energía son provenientes de los hidrocarburos con un total de 51%, seguida de la electricidad hidráulica con un total de 48% y el otro 2% lo compone la energía eólica, solar, biomasa, carbón y diesel. Sin tener en cuenta que ya existe una nueva fuente de energía eléctrica proveniente de las plantas, ya que estas, por medio de sus hojas captan la energía proveniente del sol (energía lumínica) y la transforman en energía eléctrica mediante el proceso de la fotosíntesis, que finalmente lo liberan por medio de sus raíces. Se dice que una planta produce 0.2 a 0.3 Voltios de energía (Silva, 2017).

De esta forma, sería posible transformar cualquier planta en una fuente de electricidad, si bien pasarán más de 10 años antes de que este descubrimiento pueda implantarse en la sociedad y revolucionar la economía global, según los científicos (Kanygin, 2020).

Por otro lado, Pérez (2015), Miguel escribe para Blogthinkbig.com, haciendo referencia a **Plant-e** que es un startup con sede en Wageningen, Holanda, que está desarrollando una tecnología que permite generar **electricidad** utilizando plantas como alternativa a los actuales sistemas de producción de energía renovable por viento o radiación solar.

Sin embargo, la tecnología del proceso de la fotosíntesis está basada en un generador biológico que obtiene electricidad de la descomposición de sustancias orgánicas extraídas naturalmente de las plantas. Lo consigue liberando electrones y H₂O en el proceso, sin causar daños a ningún organismo vivo. Por esa razón, la idea del proyecto es identificar nuevas formas de generación de energía limpia, así como la investigación de energías alternativas sustentables, sin la necesidad de usar fuentes costosas como la turbina y el generador (Zapien, et, al 2019)

El mecanismo de los investigadores de Plant-e radica en el excedente de materia orgánica que es generado por las plantas durante el proceso de fotosíntesis transferido al suelo a través de sus raíces, lo que genera todo un ecosistema de microorganismos alrededor de ella que se alimentan de dicha materia liberando **electrones** (Perez, 2015).

Otros resultados surgieron en la investigación que fue dirigida por Iftach Yacoby, jefe del Laboratorio de Estudios de Energía Renovable en la Facultad de Ciencias de la Vida de la Universidad de Tel Aviv, la investigación se basa en conseguir la producción de hidrógeno como combustible y de amoníaco limpio para reemplazar a los contaminantes en la industria agrícola. Es por ello que la ENZIMA CRÍTICA siendo una molécula orgánica acelera la reacción química que produce el hidrógeno: esta enzima se coloca en una abertura de la célula de la planta, y su acción es producir hidrógeno, uno de los combustibles más limpios que existe, por no estar contaminado y ser orgánico (Tendencias, 2020).

De acuerdo a lo explicado cualquier planta o alga puede ser manipulada para convertirla en una toma de corriente que conecte enzimas con diferentes cometidos, como una fuente de energía o de amoníaco limpio, esencial para el cultivo de plantas y productos agrícolas, que hoy se obtienen como contaminados por los tóxicos que contienen y con altos consumos de energía.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en el campus del Instituto Superior Tecnológico Paulo Emilia Macías (ISTPEM), ubicado en la ciudadela San Jorge, Portoviejo (Ecuador). El equipo de trabajo está integrado por un docente y una estudiante de la carrera Tecnología Superior en Producción Agropecuaria y un docente de la carrera Tecnología Superior en Electromecánica.

Se utilizaron 30 celdas biológica o macetas de plantas en total, en las que se utilizaron tres especies de plantas: orégano, dulcamara y sábila, donde 10 celdas biológica es de cada especie. Para obtener la energía eléctrica generada por las celdas biológicas, se utilizó alambre de aluminio que representa la polaridad negativa o cátodo y cable de cobre que funciona como polaridad positiva o ánodo de las celdas. Para almacenar el voltaje obtenido en las celdas biológicas, se utilizó una batería recargable de 4,8 voltios, que se usó como fuente externa.

Ánodo: Es el electrodo donde tiene lugar la oxidación, liberando electrones que fluirán a través de un material conductor, hacia el cátodo. La oxidación del material provoca la liberación de electrones y por tanto los átomos del material del ánodo quedan cargados positivamente (Castells, 2012).

Cátodo: Es el electrodo en el que ocurre la reducción, aceptando electrones provenientes del ánodo. Los electrones cargan negativamente el cátodo, que atrae los cationes del material del cátodo que hay en la disolución que baña el electrodo (Castells, 2012).

Batería: Son dispositivos para captar y almacenar energía eléctrica. El funcionamiento de las baterías de ion-litio recargables o secundarias se basan en procesos denominados de inserción-desinserción de iones Litio (Li⁺). En general, las reacciones se producen en estado sólido, entre dos compuestos de inserción como electrodos. Uno de los compuestos es denominado huésped (M), de naturaleza iónica, reacciona ocupando lugares vacantes en la estructura de otra especie denominada anfitrión (A). Estas reacciones pueden ocurrir en forma reversible (Franco, *et. al.* 2010).

Orégano (*Origanum vulgare*): El orégano es una planta de amplios usos, gastronómico, su uso práctico en cocina es aromatizante de los platillos como condimento, aderezo, aromatizante de sopas, carnes, pescados, ensaladas, conservas y vinagre, dentro del uso medicinal se encuentra útil para aliviar el asma, resfriados o afecciones respiratorias, para combatir la laringitis y la amigdalitis, con propiedades digestivas y alivia dolores musculares y otro uso es cosmético como aceite esencial ya que se utiliza en la farmacia para preparar bálsamos antirreumáticos, pomadas para la dermatitis y como desinfectante y cicatrizante. En perfumería, jabonería y cosmética (Villegas, *et al.*, 2013).

Dulcamara (*Solanum dulcamara*): En condiciones favorables de su habitat natural es un arbusto 50-60 centímetros de alto, los entrenudos de 2-11.5 centímetros de largo, la lámina de la hoja ovalada-lanceolada, los márgenes son gruesos con bordes redondeados, la superficie de la hoja es blanquecina con puntos harinosos; el terminal de la inflorescencia produce un corimbo de 28 centímetros de alto, con 15 centímetros de ancho, tiene pedicelos glabros de 10 milímetros de largo con cáliz glabros, acampanados

de 13 -15 milímetros de largo, tiene lóbulos triangulares y corola- tubular más largo que el cáliz, de color rosa pálido (Catucuago, 2009).

Sábila (*Aloe vera*): Es una planta fanerógama (con flores), angiosperma de la familia de los liliáceos que pertenece a la especie de plantas crasas o suculentas de las cuales también forman parte las cactáceas. Sus flores, repartidas en una o varias astas, parecen pequeñas trompetas de un color que va del blanco verdoso al rojo, pasando por el amarillo y el naranja. Sus hojas carnosas y quebradizas adornadas con púas crecen en forma de roseta espiral alrededor del tallo. (Pineda, 2014).

Antes de realizar la presente investigación, se realizó una encuesta diagnóstica sobre el tema en estudio, con la finalidad de determinar el grado de conocimiento de los encuestados. Se realizaron 216 encuestas virtuales utilizando los formularios de Google, la misma que estuvo dirigida a estudiantes, docentes y personal administrativo del ISTPEM.

En la fase inicial del trabajo de campo, se establecieron plantas de tres especies de rápido crecimiento en maceteros, las mismas que se ubicaron en un lugar con libre exposición solar. Durante su desarrollo, se realizaron labores de mantenimiento como riego, deshierbas y podas sanitarias.

El procedimiento para la obtención de energía eléctrica por medio de las plantas, consistió en instalar en las celdas biológicas, cables con buena capacidad de conducción eléctrica como el cobre y el aluminio, los que provocan reacciones químicas al ser implantados en la tierra (figura 1).

Figura 1. Implementación de los materiales de cobre y aluminio



Fuente: Elaboración propia

<https://www.itsup.edu.ec/sinapsis>



En las primeras pruebas realizadas, el voltaje obtenido en las celdas biológicas fue muy bajo, apenas 0.87 voltios (aproximadamente 0,07 mA), lo que impedía satisfacer el tercer objetivo específico del estudio, poder encender una bombilla led (figura 2).

Figura 2. Medición de voltaje en una celda biológica



Fuente: Elaboración propia

Para obtener un mayor voltaje, se realizaron varias pruebas uniendo varias celdas biológicas con conexión en serie (figura 3). Este tipo de conexión consiste en conectar o empalmar el terminal de aluminio de una celda biológica con el terminal de cobre de la celda sucesora. Se procedió a realizar el mismo procedimiento de conexión con las demás celdas biológicas, debe quedar en un extremo el terminal de cobre (se identifica con la polaridad positiva+) y en el otro extremo el terminal de aluminio (se identifica con la polaridad negativa -). Al realizar la conexión en serie se logró aumentar el voltaje a 9 voltios (figura 4).

Figura 3. Conexión en serie



Fuente: Elaboración propia

Figura 4. Medición de voltaje en conexión en serie



Fuente: Elaboración propia

Otro tipo de conexión que se probó fue la conexión en paralelo, uniendo varias celdas biológicas. Para el efecto, se conectaron en paralelo los tres grupos de celdas biológicas conectadas en serie (figura 5) para aumentar la corriente del sistema, en una cantidad suficiente para encender una lámpara led que se utiliza como carga (figura 6). En esta conexión en paralelo, es necesario empalmar los terminales de cobre y al otro extremo se empalmaron los terminales de aluminio de cada grupo de celdas biológicas.

Figura 5. Conexión en paralelo de las celdas biológicas



Fuente: Elaboración propia

Figura 6. Prueba de Led



a) Led apagado b) Led encendido

Fuente: Elaboración propia

Resultados

En la recolección de datos se realizaron pruebas de mediciones de voltaje de manera individual, utilizando las tres especies en estudio, dando como resultado lo siguiente:

Tabla 1: Mediciones de voltajes

Especie	Voltaje (v)	Corriente (mA)	Tolerancia (v)
Orégano	0,890	0,07	+/- 0,2
Dulcamara	0,877	0,07	+/- 0,2
Sábila	0,900	0,07	+/- 0,2

Fuente: Elaboración propia

Como podemos apreciar en la tabla 2, la variación de voltaje en cada una de las especies utilizadas, fue aproximadamente igual, la corriente fue la misma:

Tabla 2: Medición de voltaje conectada en serie

Grupo de Especie	Voltaje (v)	Corriente (mA)	Tolerancia (v)
Orégano	8,90	0,07	+/- 0,2
Dulcamara	8,80	0,07	+/- 0,2
Sábila	9,00	0,07	+/- 0,2

Fuente: Elaboración propia

En este tipo de ensayo se obtuvo un alto voltaje por cada especie de planta, el cual es suficiente para energizar una carga como una lámpara led o batería.

Al conectar los tres grupos de especie de celdas biológicas en conexión paralelo, se obtuvo como resultado el voltaje a 9,07 voltios con +/- de variación de 0,2 voltios, como se puede apreciar el voltaje se mantiene, pero la corriente eléctrica aumentó a 0,201 mA.

Si bien es cierto, cada planta de las tres especies estudiadas, producen cierta cantidad de energía eléctrica, pero es insuficiente para activar o encender algún dispositivo. Sin

embargo, la conexión en serie, permite un notable incremento de voltaje, pudiéndose encender la bombilla led que se muestra en la figura 6.

Discusión

Rodríguez *et al* (2016) en su proyecto “Electricidad por medio de la fotosíntesis de las plantas” tienen como objetivo generar energía eléctrica a partir de la energía emitida de por las raíces de las plantas, en la ciudad de Bogotá, para ello su metodología consistió en crear jardines de 10 metros cuadrados donde se sembraron 60 plantas de vegetación baja (lechugas), donde se colocó tierra preparada con electrodos, las mediciones se realizaron durante todo el verano (junio a septiembre del 2016) obteniéndose una intensidad de corriente de 2 amperios y un total de energía de 20.4 Joule. Estos autores recomiendan que para plantas como arbustos y árboles solo se puede construir jardines de 3x5 metros permitiendo abastecer sin dificultad a un hogar, en conclusión, las plantas si generan energía eléctrica, donde se recomienda que para una mayor generación de la misma usar plantas arbustivas y árboles.

LUI *et al* (2013) en su tesis “Generación de corriente eléctrica empleando vegetación para producir energías limpias” tiene como objetivo evaluar si las plantas de humedales pueden generar energía eléctrica en la ciudad de China, para ello utilizaron una metodología que consiste en construir 2 reactores utilizando un cilindro de policarbonato de 50 cm de altura, en la base de este cilindro se colocó un ánodo que estaba construido por malla de acero inoxidable, luego se colocó un cátodo, la distancia entre el ánodo y cátodo fue aproximadamente de 15 cm. Los 4 electrodos estaban conectados mediante hilos de titanio con una resistencia externa de 10 ohmios, finalmente se plantaron nueve plantas de *Ipomea acuática* y 9 plantas de *Pontederiaceae*, donde se evaluó durante los meses de junio y setiembre del mismo año y se obtuvo que en el primer reactor se generó 0,9 J y en el segundo reactor 1,24 J concluyéndose que las plantas de humedales si generan energía eléctrica.

Parvis (2009), en su artículo “Energía de los Árboles “realizada en el bosque de Boise (Estado Unidos) tiene como fin verificar la presencia de energía en las plantas de Secuoya, para ello se tomó un total de 10 muestras donde el procedimiento consistió en poner 2

electrodos uno en el árbol de Secuoya y otro en el suelo. Las mediciones se realizaron en el periodo de setiembre a diciembre del año 2009, donde los resultados se tomaban cada quince días, lo que se obtuvo es que la energía inicial era de 1,7 J por planta y al finalizar el plazo de tiempo se obtuvo 5,31 J y una resistencia de 3.5 ohmios. Mediante esta investigación se llega a la conclusión que las plantas son una fuente de energía eléctrica limpia y renovable por ende se debe priorizar e incrementar su uso ya que no solo generaría energía eléctrica sino también ayudaríamos a la conservación y prevención del medio ambiente, así mismo se puede concluir que la energía con el pasar del tiempo se incrementó casi 5 veces más que la energía inicial entonces a mayor tiempo mayor será la energía.

Miranda (2019) en su publicación sobre producción de electricidad con plantas vivas a partir de humedales, tiene como objetivo generar energía eléctrica en la provincia de Güeldres en los países bajos a partir de las plantas que se encuentran en humedales, para ello su metodología consistió en simular 5 muestras de pantanos y se sembró un total de 25 plantas de gramíneas en cada simulador a una altura de 10 cm con respecto al borde superior de los humedales se colocó un ánodo y un cátodo, donde se midió durante los meses de octubre y noviembre cada semana donde se obtuvo en la primera semana un total de 0,4 watts/ hora y al finalizar 0,7 watts/h. En conclusión, se pudo observar que los humedales si generan energía, pero no es lo suficiente como para poder abastecer a un hogar.

Sin embargo, no todos conocen de este hecho innovador en vista que más de 4 millones de habitantes aún no cuentan con el servicio de energía eléctrica, es así que mediante este proyecto de investigación se pretende comparar el aprovechamiento de la energía que generan las plantas de orégano (*Origanum vulgare*), dulcamara (*Solanum dulcamara*) y sábila (*Aloe vera*) para ser aplicada, especialmente en zonas rurales, ya que este tipo de producción de energía solo necesita de la presencia fotosintética de plantas y además son puntuales, es decir, no necesitan de grandes conexiones. De igual forma esta energía se requiere porque es potencialmente limpia, es decir es amigable con el medio ambiente ya que no emite contaminantes al mismo y la producción de esta es de bajo costo. El mecanismo que realizan las plantas en sí, es para producir su propio alimento así lo

menciona Raffino (2019), lo hacen absorbiendo la luz solar utilizando sus hojas las que contienen clorofila transformándola en energía química.

En conjunto la luz solar, el dióxido de carbono, agua y los minerales son los que producen el oxígeno que es expulsado por medio de sus hojas, es esta la razón la que nos permite aprovecharnos de la fotosíntesis para conseguir la electricidad que es producida por las bacterias que la toman como alimento. Para Chuet (2017) la materia orgánica junto a los nutrientes son liberados por las raíces produciendo electrones, los que son capturados por los electrodos que están situados en la materia (tierra) cerca de las raíces.

Los resultados de este proyecto, corroboran la veracidad de los resultados obtenidos en las investigaciones de los últimos años respecto a la disponibilidad de la energía biofotovoltaica como una excelente alternativa de energía renovable. Aunque el uso de este tipo de energía, aun se encuentra en fase de investigación en el mundo, se abre la posibilidad de disponer en el mediano plazo, de energía eléctrica renovable y de bajo costo para sectores de la población con escasos recursos económicos, como las zonas rurales. Si bien, los resultados de esta investigación son claros y alentadores al poderse evidenciar y cuantificar la producción de energía eléctrica, que pueden producir las diferentes especies vegetales, aún quedan muchos elementos por estudiar, que pueden estar relacionados con la producción de voltaje, tales como el tipo de suelo, contenido de flora y fauna en el suelo, tiempo de exposición solar, cantidad de biomasa de las plantas, relación entre el número de plantas conectadas en serie y la duración de la carga eléctrica en términos de tiempo, entre otros aspectos.

Conclusiones

Existe variación en el voltaje que producen las diferentes especies de plantas, aunque las diferencias entre las especies estudiadas no fueron notables. El aprovechamiento de la energía biofotovoltaica procedente de las plantas debe efectuarse mediante conexión en serie para lograr una mayor cantidad de voltaje. El voltaje obtenido mediante la conexión en serie de varias plantas, fue suficiente para dar energía eléctrica a un foco led de 6v. Además, se comprobó que se puede obtener una nueva forma de energía renovable utilizando como materia prima a las plantas, el cobre y aluminio. La energía

biofotovoltaica producida por las plantas, es una potencial fuente de energía eléctrica que, en el mediano plazo, podrá utilizarse a nivel global. El desarrollo de investigaciones tendientes a la utilización de electricidad proveniente de las plantas, puede marcar un hito en el uso de energías renovables y contribuir a satisfacer las necesidades energéticas de la población.

Referencias Bibliográficas

Balcells, J., Autonell, J., Barra V., Brossa, J., Fornieles, F., García, B., Ros, J., Sierra, J., (2001). Eficiencia en el Uso de la Energía eléctrica. 2011, p. 13).

Barragán, 2020. La generación de energía eléctrica para el desarrollo industrial en el Ecuador a partir del uso de las energías renovables, Universidad Internacional SEK, 44 p.

Catucuago, C. (2009). Propagación por hijuelos de la “planta de la vida”, *dulcamara (Bryophyllum gastonis) Bonnier*, utilizando 3 sustratos y evaluación de su efecto fungicida en la roya del fréjol (*Uromyces phaseoli*). Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito. 112 págs.

Castells, X. E. (2012). «Las pilas de combustible,» de Energía, Agua, Medioambiente, territorialidad y Sostenibilidad, Madrid, Diaz de Santos S.A., 2012, p. 347.

Chuet, Juan. (2017). Las plantas también pueden ser fuente de electricidad. *Recuperado de* <https://www.lavanguardia.com/natural/20170118/413415278331/planta-electricidad.html>

Franco, J. I., Sanguinetti, A. R., Colángelo, G. E., & Fasoli, H. J. (2010). Funcionamiento y Estabilidad en el Tiempo de un Sistema Energético con Batería PEM a Combustible y sus Componentes Periféricos. *Información tecnológica*, 21(5), 125-133

Jiménez, T. 2014. Energías renovables y turismo comunitario: una apuesta conjunta para el desarrollo humano sostenible de las comunidades rurales. *Energética* 44, diciembre (2014), pp. 93-105, Colombia.

Kanygin, A. (17 de junio de 2020). Tendencias. Obtenido de https://tendencias21.levantemv.com/descubren-como-obtener-electricidad-de-las-plantas_a45938.html

Lui, S. (2013). Generación de energía mediante la utilización de plantas acopladas a sistemas humedales construidos. En Generación de energía mediante la utilización de plantas acopladas a sistemas humedales construidos. (pág. 105). China, Shanxi: Shanxi Universidad China, Especialidad de Electrónica.

Martínez, Yaiza. (2012). Raíces vegetales y bacterias: una inesperada fuente de electricidad. Recuperado de https://www.tendencias21.net/Raices-vegetales-y-bacterias-una-inesperada-fuente-de-electricidad_a14300.html

Miranda, J. P. (2019). Obtención de energía eléctrica a partir de materia orgánica biodegradable mediante el sistema integrado humedal construido – celda combustible microbiana, Chile. 92 pág.

Parvis, J. (2009). Energía de los árboles realizada en el bosque. Mundo Nuevo, II(1), 10-24.

Pascualino, J; Cabrera, C; Vanegas, M. 2015. “The environmental impacts of folic and solar energy implementation in the Colombian Caribe”, Prospect, Vol 13, N° 1, 68-75.

Pérez Elena, Carril Urria. (2009). Fotosíntesis: Aspectos Básicos. Reduca (Biología). Serie Fisiología Vegetal 2 (3), 1,47.

Pérez, M. A. (09 de Junio de 2015). Blogthinkbig.com. Obtenido de Científicos consiguen generar electricidad a partir de plantas: <https://blogthinkbig.com/generar-electricidad-partir-plantas>

Pineda, B. (2014). “Producción y aprovechamiento de la sábila (Aloe vera) como planta medicinal y sus beneficios. Universidad de San Carlos de Guatemala, 160 pág.

Raffino, María. (2019). Concepto de fotosíntesis. Recuperado de <https://concepto.de/fotosintesis/#ixzz62fmmfEER>



Rodrigo Mazún, Elsy Rosales, Erick Tamayo. (Julio-Diciembre de 2019). Electricity generation using vegetation to produce clean energy. *Advances in Engineering and Innovation*, 4(8), 57-63. Obtenido de http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:c31RAOJM2_EJ:www.progreso.tecnm.mx/revistaAEI/index.php/aei/article/download/38/60/+&cd=1&hl=es&ct=clnk&gl=ec

Rodríguez Javier, Vidarte Pablo, Rebollo Rafael. (2016). Electricidad por medio de la fotosíntesis de las plantas. En Trabajo de Titulación (Maestría en Multimedia) (pág. 50). Europa: Universidad Ramon Llull.

Rojas, Aburto, Espilco et al. (2018). Electricidad a partir de las plantas vivas. Perú: Universidad César Vallejo. P. 37

Sandava, D. (2008). La Ciencia de la biología vegetal. 146-148. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=Rlw3cKDaMfEC&pg=PA162&dq=ETAPAS+D+E+LA+FOTOSINTESIS+SADAVA&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjKuOe2t_vUAhUEFz4KHaabAi0Q6AEIITAA#v=onepage&q=ETAPAS%20DE%20LA%20FOTOSINTESIS%20SADAVA&f=false ISBN: 978-950-06-8269-5

Strik, D. P., Timmers, R. A., Helder, M., Steinbusch, K. J., Hamelers, H. V., & Buisman, C. J. (2011). Microbial solar cells: applying photosynthetic and electrochemically active organisms. *Trends in biotechnology*, 29(1), 41- 49.

Silva, E. Z. (2017). “Comparación de la energía eléctrica generada. En E. Z. Silva, “Comparación de la energía eléctrica generada mediante la fotosíntesis de las especies *Ipomea purpurea* y *Palma areca*, San Martín de Porres, 2017” (págs. 18-129). Perú: Universidad César Vallejo. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/24788/Zamora_SEM.pdf?sequence=1&isAllowed=y

TENDENCIAS. (2020). Descubren cómo obtener electricidad de las plantas. TENDENCIAS.

Villegas-Espinoza, J.A., Briseño-Ruíz, S.E., Aguilar-García, M.G.J., Sosa y Silva Carballo, R.A. 2013. Guía de cultivo de tarragón Francés Edit. Centro De Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México. 30 p.

Yruela I. 2005. Toxic metal in plants Copper in plants. Braz Journal Plant Physiology 17: 145-146

Zamora, E. (2017). Comparación de la energía generada mediante la fotosíntesis de las especies Ipomea purpurea y Palma areca, San Martín de Porres, 2017. Perú [Tesis de grado]. Universidad César Vallejo.

Zapien José, Solorio Bianca, Ballesteros Juan, Nuñez Frida. (2019). Electricity Generation from Natural Photosynthesis; A Scalable Reality? Revista de Energías Renovables, 3(1), 1-6. Obtenido de https://www.RevistadeEnergíasRenovablesecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Energias_Renovables/vol3num10/Revista_de_Energias_Renovables_V3_N10_1.pdf