



PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Título:

Mejoras en el potencial de generación de energía eléctrica de plantas vivas a partir de celdas de combustibles microbiano.

Autores:

Stalin José Carbonell Navarro
Jaider Emilio Escobar Duque

UNIVERSIDAD DE LA COSTA - 2021





ANEXO 2

FORMATO DE INSCRIPCIÓN PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN: **INVESTIGACIÓN EN CURSO**

País	Colombia		
Nodo	Atlántico		
Universidad	Universidad de la costa CUC		
Nombre del Semillero	AMPERE		
Nivel de Formación (Indique Grado o Semestre)	9° Semestre		
Programa Académico	Ingeniería Eléctrica		
Título del Proyecto	MEJORAS EN EL POTENCIAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE PLANTAS VIVAS A PARTIR DE CELDAS DE COMBUSTIBLES MICROBIANO.		
Autor(es)	Stalin José Carbonell Navarro	Jaider Emilio Escobar Duque	
Identificación	1.042.797.567	1.047.361.514	
Ponente(s) (máximo dos)	Stalin José Carbonell Navarro	Jaider Emilio Escobar Duque	
E-mail de Contacto	Scarbone1@cuc.edu.co	Jescobar17@cuc.edu.co	
Teléfonos de Contacto	+57 3006966502	+57 3057887619	
CATEGORÍA (seleccionar una)	INVESTIGACIÓN EN CURSO	X	Investigación Terminada
Área de la investigación (seleccionar una)	Ingeniería	Sub-área:	

Para el diligenciamiento de la siguiente sección, tenga en cuenta los caracteres máximos permitidos según la modalidad:
Investigación en curso: Máximo 15.000 caracteres (con espacios)

1. TÍTULO: Afirmación precisa que hace referencia al tema en torno al cual gira el proyecto de investigación.

MEJORAS EN EL POTENCIAL DE GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA DE PLANTAS VIVAS A PARTIR DE CELDAS DE COMBUSTIBLES MICROBIANO.

2. INTRODUCCIÓN: Descripción breve del tema de investigación, dirigido a orientar al lector sobre la condición a investigar.
Máximo 1500 caracteres (con espacios)

La presente tesis, es una investigación relacionada con la evolución en tecnologías de generación de electricidad. Desde la creación de la tendencia Green Energy los entes de educación, centros investigativos y demás que organismos cuya temática es enfocada en esta rama buscan alternativas de inclusión para que en el planeta se adopten diferentes alternativas con el fin de alcanzar un desarrollo sostenible y de esta manera impulsar a los mismo en la fomentación de nuevas soluciones en materia de reducción de impacto ambiental (Once, 2017). Es de conocimiento que en la actualidad se requiere generar energía de manera confiable y sostenible para hacer frente ante el crecimiento de la demanda de energía (5.7% - 4.4% porcentaje de crecimiento en energía eléctrica en Colombia)(XM. "filial ISA," 2018), el agotamiento de los combustibles fósiles y la contaminación ambiental. Esta generación de energía está relacionada con los recursos naturales inagotables que el planeta nos provee como lo es el sol, agua tierra y fuego; produciendo como resultado energías del tipo solar, eólica y la bioenergía(Schallenberg et al., 2008). En consecuencia a esto la investigación respecto a las Fuentes No Convencionales de Energía en especial las de uso Renovable (FNCER), pero con la sugerencia de que estas generen el menor o no impacto ambiental posible al momento de generar electricidad. La planificación de un conjunto de actividades que lleven a un país o nación a un desarrollo sostenible, seguridad, estudio y cuidado ambiental han sido los pilares para la generación de energía eléctrica con el menor impacto posible, en consecuencia, a esto, nace la alternativa de generación y tema de principal de esta tesis, el cual se encuentra fundamentado en la búsqueda de una alternativa que permita aumentar o mantener el potencial de generación de energía eléctrica mediante el proceso de Plant Microbial Fuel Cell (PMFC) en sus siglas inglesas. La cual ha comenzado a ser enfoque de estudio en diferentes instituciones y centros de investigación internacional, con la finalidad de cambiar los paradigmas respecto a las Fuentes Convencionales de Energía (FCE). Logrando observar la aplicabilidad de esta tecnología sin generar impacto ambiental y sin causar daños en el recurso natural de generación que para este caso será la planta. Durante el proceso investigativo de este tema se pudo analizar que, en diferentes países del mundo, basan su investigación en tres aspectos:

En primer lugar, parten de la implementación de la técnica Microbial Fuel Cell (MFC) la cual consiste en celdas de combustible microbiano que por su composición química interna cuenta con la capacidad de convertir toda la energía química de un compuesto, típicamente glucosa o cualquier forma de materia orgánica (Sustrato Natural) en energía eléctrica. En segundo lugar, se encuentra la interacción del sistema anterior en contacto con una planta viva, con el fin de aumentar el potencial de generación de electricidad con la ayuda neta del proceso químico natural de las plantas Fotosíntesis a este proceso se le llama Plant Microbial Fuel Cell. Y en tercer lugar se hace referencia a lograr una técnica que permita obtener un aumento significativo en las variables eléctricas básicas (Voltaje, Corriente, Potencia) de cualquier sistema eléctrico, para así mantener y poder aprovechar la energía generada por esta tecnología. Como evidencia de esto se encuentra el prototipo de universitarias chilenas que se basaron en la implementación de esta tecnología de generación y la ayuda fundamental de la presencia de la Luz, Dióxido de Carbono y Agua. Para lograr que la plantas haga su proceso natural fotosintético y cuando esto sucede una parte grande de la materia orgánica generada es excretada por la planta y



devuelta nuevamente a el suelo, esta materia orgánica es consumida por microorganismos que viven en el suelo, liberando electrones como resultado de este consumo, estos son recolectados mediante electrodos hechos de material conductor de electricidad que adhieren a sus paredes lo mismo, brindando como resultado energía limpia y aprovechable (Piyare, Murphy, Tosato, & Brunelli, 2017) (Wetsler, Liu, Buisman, & Strik, 2015) (Guan, Tseng, Tsang, Hu, & Yu, 2019). El objetivo principal de este proceso investigativo es construir un prototipo funcional que permita mostrar la técnica o mecanismo usado para lograr mantener y aumentar el potencial de generación que esta técnica puede ofrecer, presentar indicaciones respecto al uso dado actualmente y las restricciones que esta contiene al momento de encontrarse en funcionamiento. El proyecto en su estructura general presenta una estructura del tipo experimental en la cual inicialmente, se realizó una investigación en las bases de datos de información Scopus, Web Of Science, Science Direct, con el fin de estudiar todas las variantes en este proceso de generación, en segunda instancia se elaboró un diseño y pruebas con la finalidad de la identificación del sustrato de la planta óptimo en generación y que no presenten daños internos en planta, es decir que no ocasione la muerte de la planta, y en el último lugar se plantean alternativas para aumentar el nivel de generación manteniendo las condiciones de generación anteriormente mencionadas. El principal aporte de este proceso investigativo es mostrar un conjunto de pautas para el desarrollo e implementación de esta tecnología desde nuestros hogares, como forma de contribuir por nuestra parte a la sociedad al buen uso de los recursos naturales y las nuevas formas de generación con menos huella de carbono en ellas.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN: Descripción de la situación problema que soporta al estudio, además de la relevancia, pertinencia e impacto del proyecto de investigación.

Máximo 2500 caracteres (con espacios)

La generación de energía limpia en el planeta es un proceso que ha tenido diferentes cambios en los últimos años, esto se debe al incesable método que permitan mitigar la contaminación ambiental al momento de la generación eléctrica, por lo que la mayoría de los gobiernos están promoviendo su uso, con el fin de mejorar la seguridad energética además de las consideraciones políticas y sociales, por ello como alternativa central se tiene el uso de Fuentes No convencionales de Energía principalmente las de uso renovables (Capellán-Pérez, de Castro, & Arto, 2017).

Un gran crecimiento industrial va de la mano de un alto consumo energético, en una nación esto lleva a su vez a grandes emisiones de gases de efecto invernadero, la degradación del agua, el aire y los recursos (Yi & Liu, 2015). Así que actualmente se han realizado diversos estudios con la idea de llevar al mínimo la emisión de gases invernaderos en la generación de energía eléctrica sacando el máximo provecho en su utilización y uno de los conceptos surgido de ello es el llamado "economía verde", la cual busca mejorar el bienestar humano invirtiendo en el capital natural y aumentando la eficiencia energética considerando su gran potencial de mitigación y de ahorro fósil, y aunque el uso de la energía renovable en el mundo es muy poca actualmente se estima que en un futuro tendrá la capacidad de cubrir las necesidades humanas (Gasparatos, Doll, Esteban, Ahmed, & Olang, 2017).

"En 2005 la generación de electricidad en el mundo fue de 17450TW de las cuales el 16% se generó a partir de la energía hidroeléctrica, el 40% de carbón, el 20% de gas, el 16% de energía nuclear, el 7% de petróleo y solo el 2% de fuentes renovables" (Kumar Sahoo, 2016).

El problema de la energía renovable no está en su creación si no en su implementación, ya que durante el proceso de generación se presentan cantidades de agentes contaminantes al medio ambiente y a la biodiversidad; *"por ejemplo algunas vías de energía renovable pueden tener impactos negativos en biodiversidad e interrumpir procesos de los ecosistemas y, por lo tanto, pueden tener un costo en la provisión de servicios de los ecosistemas"* (Gasparatos et al., 2017), donde se puede tomar como la generación de energía a través de Biomasa, donde dicho método consiste en la utilización y/o recolección de todo aquel material orgánico de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y los desechos orgánicos, que por medio de un proceso de combustión ayudan a crear energía eléctrica, conllevando a un pequeño grado de contaminación al igual que los biocombustibles como lo son el dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y dióxido de carbono (Zhao, Cai, Li, & Ma, 2018). También a ello se suma la competencia mundial actual por las tierras y es que el uso de la tierra para producir energía está ligado a la preocupación de la conservación de ecosistemas naturales, su diversidad y su uso para las necesidades humanas ya que esto puede causar pérdida de soberanía alimentaria y problemas de biodiversidad (Capellán-Pérez et al., 2017; Jackson, 2011).

Por lo tanto, la energía y el cambio climático se encuentran íntimamente ligados y con la firme idea de minimizar las consecuencias por el cambio climático es imprescindible modificar el actual modelo energético para hacerlo sostenible lo que conlleva a ideas como la de erradicar o llevar a su mínima expresión el uso de fuentes de energía fósiles ya que un sistema sostenible solo puede ser alcanzado con la relación eficiente de los recursos y los seres humanos (Oncel, 2017).

¿SE PUEDE APROVECHAR LA COMBINACIÓN DEL PROCESO FOTOSINTÉTICO DE LAS PLANTAS Y LA TÉCNICA MFC, PARA GENERAR ENERGÍA 100% LIMPIA?

Desde la invención de la máquina a vapor trajo consigo la llamada revolución industrial lo que marcó un antes y un después en la vida del ser humano levantando varios cuestionamientos como: ¿la humanidad puede acoplarse fácilmente a los rápidos cambios climáticos y del medio ambiente?, ¿Que tanto daño se le puede causar a otros seres vivos, además estos serán capaces de acoplarse a dichos cambios? *"Nuestra civilización es como un hombre de guerra colosal que chupa energía para mover, resistir y superar los problemas"* (Oncel, 2017). Por lo que es importante encontrar una solución "verde" donde se alcance una interacción entre el ser humano y la naturaleza de forma equilibrada en la que ganen ambas partes (Oncel, 2017). La influencia de generar energía eléctrica a partir de plantas vegetales PMFC, busca abrir el pensamiento con miras a un futuro donde existen soluciones, para así para satisfacer necesidades notada en el aumento de la demanda energética del país dando uso principal en los dispositivos electrónicos siendo estos los de mayor uso en la actualidad, manteniendo los límites de sostenibilidad ambiental del planeta en el que vivimos sin impedir los procesos regeneración de los ecosistemas o en la biodiversidad buscando un nuevo enfoque de los hábitos en mira del fortalecimiento de prácticas verdes.



JUSTIFICACIÓN.

La influencia de las nuevas tecnologías, ha traído consigo mismo, diversos cambios entre los que se encuentran la modernización y automatización de procesos en la industria y la búsqueda de mejorar de eficiencia energética de los diversos ambientes de aplicación, ha ayudado a la mejora de la calidad en servicio prestado a los usuarios e industrias (Ge & Zhi, 2016). Pero como se sabe todo cambio trae sus pro y sus contras y es que gracias a la era industrial la demanda energética es muy grande creando la necesidad de suplir esa demanda como dé lugar, impulsando al uso de energías bastantes contaminantes ya que son las más baratas y rápidas, complementadas en menor medidas con las renovables, la implementación de las energías renovables en el mundo con respecto al consumo total de energía primaria a nivel mundial ronda el 8% y en Europa es del 6%; estos porcentajes corresponden casi exclusivamente a energía hidráulica y biomasa sin tener en cuenta el factor porcentual que tiene la aplicación de la energía renovable más utilizada como lo es la solar con su sub- aplicación a solar fotovoltaica encontrándose en niveles muy bajos (Rodprasert, Chandarasupsang, Chakpitak, & Yupapin, 2014) (Gozgor, Lau, & Lu, 2018); Además el desarrollo estas fuentes de energía renovables presentan factores de problemática como lo es un mínimo porcentaje de contaminación al medio ambiente. pero actualmente el acceso a las energías renovables representa un valor central para la sostenibilidad ambiental, que en el largo plazo preserva la vida humana, facilita la obtención de sociedades más inclusivas y equitativas en un horizonte de tiempo mucho más cercano en Colombia el aprovechamiento de esta, la participación actual de las Fuentes no Convencionales de Energías Renovables (FN CER), en la matriz energética del país es cercana al 1% y según proyecciones de la Unidad de Planeación Minero Energética (Upme) en los próximos 10 años puede llegar al 16% (Tyler & Harper, 1983). Estos desarrollos podrían dar cierto grado de tranquilidad en cuanto al escenario de oferta de energía eléctrica del país, a partir de 2022, cuando se comienzan a evidenciar los efectos del retraso de la entrada en operación de Hidroituango, con esto se busca una modificación en el estado actual de la matriz energética del país involucrando significativamente a la generación limpia “Clean Energy” (eólica, fotovoltaica, biomasa, geotérmica y pequeños aprovechamientos hidroeléctricos) en Colombia, con más de 200 proyectos registrados en la Upme (Tyler & Harper, 1983), el cual con esta diversificación de la matriz disminuye el racionamiento eléctrico en épocas encontradas bajo amenaza del fenómeno del niño el cual según las autoridades ambientales pronostican mayor duración en la presencia de este en el país (Tyler & Harper, 1983). Las ventajas de aprovechar las fuentes renovables es que son limpias y contribuyen al cumplimiento del compromiso de Colombia, tanto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) como con la Agenda de París (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático) de 2015, de reducir emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% para el 2030. Debido a esto se ha buscado de incluir nuevas FN CER, entrando como centro de todo el proceso de desarrollo sostenible y sustentable la energía verde “Clean Energy”, como perspectiva de un sistema de producción de energía limpia y sin contaminantes (Yigitcanlar et al., 2018).

Esta es una iniciativa al compromiso que se tiene con el medio ambiente, las nuevas generaciones y desarrollo sostenible del planeta, con el fin de desarrollar nuevas formas de adquirir energía eléctrica, limpia, verde y sostenible, teniendo como referencia cada factor que se pueda presentar durante el proceso de búsqueda, por tanto, este proyecto muestra una alternativa de solución que están siendo pocamente estudiada en el mundo. Donde el objetivo del proyecto, es elaborar e implementar un nuevo método para el uso de energía eléctrica a partir de plantas vegetales con el fin de reducir la emisión de gases de efecto invernadero, y cuál sería el beneficio de aplicarlo en un espacio o ambiente de estudio como la universidad de la costa (Yi, 2013). Brindando la posibilidad de tener energía eléctrica sin contaminante alguno para el medio ambiente, es decir, que esta fuente de generación de electricidad no presenta un peligro ni deterioro al entorno ambiental, además permite reflejar la presencia en investigación de FN CER en el país, generando impacto en la matriz energética como se ha mencionado anteriormente. La energía en uso de este proyecto es de menor costo, debido al aprovechamiento en este proceso químico natural de las plantas como es la fotosíntesis dándole una utilidad en la conexión de dispositivos que utilizamos en el día a día.

4. OBJETIVOS: Presentación del objetivo general y los objetivos específicos de su investigación.

Máximo 1000 caracteres (con espacios)

Objetivo general.

- Diseñar e implementar un sistema de generación de energía renovable limpia con plantas vivas a partir de celdas de combustibles microbiano que permita aumentar o mantener su potencial de generación de energía eléctrica.

Objetivos específicos

- Identificar las características de la generación de energía renovable y limpia a partir del proceso de fotosintético de las plantas.
- Diseñar un sistema de generación de celdas de combustibles microbiano a partir de muestras de plantas vivas.
- Implementar y probar la capacidad del sistema de generación de energía con diferentes sustratos naturales y plantas vivas.

5. REFERENTE TEORICO: Abordaje breve de los principales aspectos teóricos que respaldan la investigación (Conceptos, leyes, principios, fundamentos, etc.). Se debe presentar un texto descriptivo.

Máximo 2000 caracteres (con espacios)

Fuentes Renovables: La conservación del medio ambiente y el cambio climático son factores importantes en la búsqueda de las alternativas para la disminución del calentamiento global y la mitigación de problemáticas es el sector energético, Siendo esta una de las metas a largo plazo que se plantean las naciones del mundo, donde cuyo objetivo es llegar contar con una matriz energética donde el porcentaje de generación por parte de las energías renovables (solar fotovoltaica, eólica, biomasa, entre otras) abarque el 50% de la misma (Tyler & Harper, 1983).

Energía solar: Dentro del campo de las energías renovables después de la hidráulica esta es una de las más usadas e implementadas en el planeta; la energía solar como ya se ha planteado es una energía renovable que se obtiene a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del sol. Las emisiones echas por medio del calor y la luz del sol se puede aprovechar por diferentes medios que se encargan de captar esta energía como lo es las células fotovoltaicas, heliostático o colectores térmicos que permiten la transformación de esta energía en energía eléctrico o térmica, estas tecnologías las podemos clasificar en pasivas (Están dentro de la arquitectura bioclimática: la orientación de los edificio al sol, y la selección de materiales con masa térmica favorable o que tengan propiedades de dispersión de luz) o activas (formas convencionales y agrandes escalas). Es decir que esta clasificación es según la forma en que se extrae o se llega a capturar, convertir y distribuir la energía de este tipo. (Tyler & Harper, 1983) (Laing et



al., 2012). Dentro de la generación de energía solar tenemos la solar fotovoltaica, solar térmica (termosolar), termosolar de concentración, eólica solar, solar híbrida (Laing et al., 2012; Schallenberg et al., 2008)

Energía Eólica: Esta se obtiene a partir del viento, es decir que la energía cinética generada por el efecto del corriente de aire, convertida de otras humanas. Actualmente en el campo del desarrollo energético la energía eólica se utiliza, principalmente, para producir electricidad mediante aerogeneradores conectados a las grandes redes de distribución (Diez, 2008). Por medio de parque eólico construidos en tierra suponen una fuente de energía cada vez más económica y con un nivel de competitividad en muchos lugares del planeta, creando impulso en otras fuentes de energía convencional; actualmente el auge de la energía eólica ha provocado también la planificación y construcción de parques eólicos marinos conocidos como parques eólicos offshore, por su nombre de inglés los cuales se encuentran situados cerca de las costas (Giménez Álvarez & Gómez Targarona, 2011) (Diez, 2008).

Energía Biomasa: La generación de biomasa o bioenergía es un tipo de energía renovable que proviene del aprovechamiento que se le puede dar a la materia orgánica e industrial formada en algún proceso biológico o mecánico, que por lo general se saca de los residuos de las sustancias que constituyen los seres vivos o sus restos. El aprovechamiento de la energía de la biomasa se hace directamente o por combustión o por transformación en otras sustancias que pueden ser aprovechadas más tarde como combustibles o alimentos. Para que exista rentabilidad en proyectos de este tipo se tiene que contar n primera instancia disponibilidad de recursos o materia prima, los costos de producción de energía biomasa son muy variables, van desde cero para los desechos producidos como resultado de procesos industriales e incluso precios o egresos negativos porque por ejemplo un producto que sale directamente gratis por ser residuo su transporte hasta las plantas de biomasa es muy costosos son factores desventajosos al momento de adquirir la materia prima, es decir que esta puede estar oscilando para la producción de energía entre el 20% y 50% del costo final de la electricidad basada en tecnologías biomasa (Pursiheimo, Holttinen, & Koljonen, 2017) (Fernández, 2007) (Borges, Silva, Alves, & Torres, 2016).

Estado de FNCE Colombia.

El sistema eléctrico de Colombia sufrió diferentes cambios, siendo el más importante el ocurrido en la década del 90 donde paso de un monopolio gubernamental a una estructura orientada hacia el mercado donde se permitió la participación de empresas privadas en el sector eléctrico, además se realizó una división en actividades: generación, transmisión, distribución y comercialización; las dos primeras quedaron en monopolios naturales regulados y las dos últimas en empresas públicas (Edsand, 2017) (Jimenez, Franco, & Dyner, 2016). Con el fin de satisfacer la demanda eléctrica en Colombia se ha establecido una economía basada en bajo carbono como prioridad como principal plan del gobierno, para cumplir esta meta trazada están realizando diversos estudios sobre la implementación de las fuentes de energía no convencionales (Rodríguez-Urrego & Rodríguez-Urrego, 2018). Actualmente Colombia es un país que cuenta con un sistema de generación de mercado abierto y un marco regulatorio cambiante además usa hidroeléctricas y termoeléctricas para la mayoría de la generación de electricidad, las energías renovables presentes en el país son la eólica y la solar fotovoltaica, pero se encuentran en una participación secundaria por lo que no están siendo implementadas en el sistema interconectado nacional (Rodríguez-Urrego & Rodríguez-Urrego, 2018).

En los últimos años Colombia ha realizado diferentes estudios sobre la implementación de la energía renovable en el sistema interconectado nacional y un claro ejemplo son las leyes 629 del 2000 que promueve el uso racional de la energía y la ley 1715 del 2014 la cual busca fomentar el uso de las fuentes no convencionales de energía y la eficiencia energética ya que el país es altamente dependiente de las fuentes convencionales de energía como el petróleo y el gas mes pero, para la implementación de esta Ley existen muchas barreras en Colombia como las barreras regulatorias que impiden que nuevos actores entren al mercado, faltan normas que regulen la venta de electricidad y las capacidades máximas de los FNCE, regulaciones en zonas no interconectadas y mayor agilidad en el proceso para el uso de FNCE además del cambio de hábitos de consumo humano (Esteban, Ordoñez, Jaime, & Cardona, 2017; Radomes & Arango, 2015) (Huffman & Bolvin, 2014). La mayor generación de electricidad en Colombia se ve reflejada en la hidroeléctricas (con un 65% aproximadamente) teniendo como respaldo la termoeléctricas (con un 30% aproximadamente) que funcionan con Carbón, diésel y gas natural como se había dicho anteriormente, lo que representa una gran dependencia del país a las fuentes hídricas y lo hace vulnerables a los fenómenos naturales como el del niño y a la demanda eléctrica que se acrecienta con los años por lo que las termoeléctricas son las encargadas de suplir cualquier variación de las hidroeléctricas, generando un aumento de gases de efecto invernadero, además solo el 48% del país hace parte del sistema interconectado nacional por lo que el resto de la población produce su energía principalmente con el uso de generadores diésel (Jiménez et al., 2016) (Huffman & Bolvin, 2014).

Generación de Energía a partir de plantas Vegetales: Es de conocimiento que el porcentaje de ecosistemas y biodiversidad en nuestro planeta es alto y porque no llegar a preguntarnos desierto modo porque no aplicar las energías renovables en estos y hacerlo sin que se modifique su biología, su estructura interna y sin perjudicar los alimentos cultivados, o algo más simple aplicarlo en el jardín de la sortea de una vivienda, y que sin darnos cuenta estos estén produciendo electricidad (Oncel, 2017). Ahí es donde entra esta nueva investigación de innovación en avances de energía renovables, este gran paso lo logro un patentado por la universidad de Wageningen en los países bajos (WUR) en 2007, la tecnología se basa en los procesos naturales seguros para las plantas y el medio ambiente (Amanda Froelich, 2015) (Nanda Scharama, 2015).

Pero esta información la está haciendo realidad desde el 2009 una empresa llama Plant-e la cual se formó como una división del sub-departamento de tecnología ambiental de la entidad de educación antes mencionada donde Marjolein Helder, PhD, y sus colaboradores tienen como objetivo proporcionar una fuente de energía renovable a los más de 1.400 millones de personas de todo el mundo que no tiene acceso a electricidad y más que eso electricidad limpia (Nanda Scharama, 2015).

Al estar realizando el estado detallado de esta fuente de energía nos preguntamos, - ¿si sabemos que las plantas generan energía eléctrica!, ¿pero ¿cómo lo hace o cómo funciona?

Dando respuesta y haciendo referencia a algo literalmente simple como lo han planteado Plant-e, la universidad de Wageningen, E-Kaia, Bioo lite, Y la universidad de ingeniería y tecnología (Antonio Vazquez Villoria, 2015; BBC MUNDO, 2015; Kenrick Vezina, 2015; Maria Monica Monsalve S., 2016).

El proceso de extracción de los electrones es único, lo que se va modificando son los materiales e instrumentos para facilitar la extracción de estos.

Debido a esto se dice que este proceso solo es necesario la implementación e intervención de un campo de plantas, luz, dióxido de carbono y agua (Nanda Scharama, 2015).

Las plantas a partir de esto van generando y/o creando su propio alimento usando la fotosíntesis. Cuando esto sucede, una gran parte de la materia orgánica generada es excretada por las raíces hacia el suelo. Esta materia orgánica es entonces consumida por microorganismos que viven en el suelo, liberando así electrones como resultado de este consumo. Pero mediante la colaboración de electrodos cerca de la raíz, se facilita la recolección de está, apreciando esos electrones que para la planta son desecho y para nosotros son productividad y avance, sin embargo la preocupación de este proceso siempre está centrada en la planta, después de muchas pruebas se pudo demostrar que estas aún permanecen ilesas, y sin llegar interrumpir su proceso de crecimiento absoluto, es decir sin daños producidos por la presencia de los electrodos, que trabajan durante el día y la noche extrayendo la energía siempre y cuando la planta siga viva.

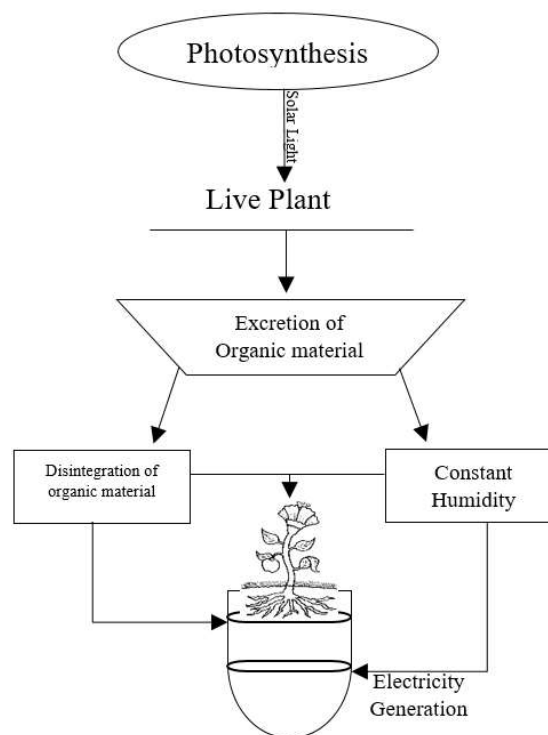
Gracias a los estudios realizados se pudieron especificar los lugares o el lugar ideal para que este proceso surja o sea más eficiente como lo es, secciones húmedas o campos acuosos, como arrozales y para jardines en azoteas, en que so de las plantas primeramente de agua o helechos y lo mejor de hacer este proceso en esos sistemas, es que no es de importancia alguna si el agua está contaminada, porque a un no han descartado ningún tipo de cultivo en especial que no nos sirva para este proceso, buscan desarrollador una manera de "interrumpir" la fotosíntesis y redirigir los electrones antes de que se utilizan para hacer azúcares(Amanda Froelich, 2015; Nanda Scharama, 2015; Rosenbaum, He, & Angenent, 2010).

6. METODOLOGIA: Presentación del tipo de investigación, diseño de investigación, Población-muestra, Técnicas de recolección de datos.

Máximo 2500 caracteres (con espacios)

Generación de Energía Eléctrica.

Con la finalidad de cumplir cada uno de los objetivos planteados en este proyecto, la primera etapa del mismo se centró en un análisis de conductividad de sustratos, con el fin de generar la mayor cantidad de tensión, que se le pueda extraer a la planta, la cual consto en la realización de diferentes pruebas para identificar el sustrato y la planta adecuada y de esta manera poder identificar si la generación de energía depende la planta, la raíz, la exposición al sol, tamaño del terreno cubierto por el circuito o de los materiales que se utilizan como ánodos y cátodos en el mismo.



Cada una de las pruebas consiste en circuitos eléctricos diseñados con un sustrato base de arena negra abonada y combinaciones con materiales como carbón activo, solución salina, agua de mar, composta y diferentes tipos de plantas. A continuación, se describen las pruebas.

Pruebas.

- **Prueba 1:** Combinaciones en el sustrato usados en cada uno de los procesos

Para este paso se construyeron cinco circuitos (*Ilustración*) con sustrato a base de arena negra con la finalidad de medir el voltaje generado en cada una de ellas y así determinar que combinación produce mayor voltaje sin plantas.

La construcción de los circuitos que se utilizaron fue estándar para todas y cada una de las pruebas, cada uno contaba con macetas del mismo tamaño (*Ilustración*), una red metálica de aluminio como polo negativo y un espiral de alambre de cobre desnudo como polo positivo. Previo a su construcción, la arena negra se humedeció con agua potable y se realizaron cinco combinaciones con materiales como carbón natural, carbón activado y solución salina para mejorar la conductividad del sustrato (*Ilustración*). La tabla 1 muestra las combinaciones realizadas.

Tabla 1. Combinaciones de sustrato con base de arena negra

Combinaciones	Materiales
1	Arena Negra+agua potable
2	Arena Negra + Carbón Activo+ agua potable
3	Arena Negra + carbón vegetal+agua potable
4	Arena Negra + +solución salina
5	Arena Negra + Carbón Activo + Solución salina

El carbón activo fue utilizado debido a que estos son carbones con una estructura porosa y puede llegar a desarrollar índices de absorción altamente cristalina y una porosidad interna altamente desarrollada. es decir que la superficie del mismo atrae y retienen moléculas de un sólido y de otro compuesto, contiene en su estructura propiedades similares a las del grafito permitiendo catalizar reacciones químicas y de almacenar cargas eléctricas permitiendo una conductividad eléctrica alta, siendo este el principal material para la construcción de las actuales celdas fotovoltaicas.(Moliner, Marsh, and Heinz 2016)(Richard Martin 2015), para el caso del carbón vegetal es uno de los fertilizantes con mayor uso en el proceso de sembrado y cuidado de las plantas(Jacobo Mendez Alzamora 2017), y con el objetivo de aumentar la conductividad y lograr un aumento en la generación de energía eléctrica se dio uso a la solución salina (*Tabla 2*).

Cada circuito fue construido a través de cuatro pasos. Primero, se adiciona una capa de arena negra humedecida con agua potable en la base de la maceta. Segundo, sobre la primera capa de arena se coloca la malla de aluminio que es el polo negativo. Tercero, sobre la malla se adiciona una segunda capa de arena y se introduce un espiral de cobre que es el polo positivo. Finalmente se coloca otra capa de arena tratada. *Ilustración 8* muestra el esquema del circuito descrito e *ilustración 9* presenta las dimensiones de la maceta.



Ilustración. Construcción del circuito para cada combinación



Ilustración. Dimensiones de las macetas

La tabla 2 muestra las combinaciones y las cantidades de arena, agua y materiales empleados para cada circuito.

Tabla 2. Materiales empleados en las combinaciones

COMBINACIONES					
N°	1	2	3	4	5
Peso de la maceta	0.1 Kg	0.1 Kg	0.1 Kg	0.1 Kg	0.1 Kg
Arena Negra	1.1 Kg	1.1 Kg	1.1 Kg	1.1 Kg	1.1 Kg
Ánodo	Red metálica de aluminio de carbón R4	Red metálica de aluminio de carbón R4	Red metálica de aluminio de carbón R4	Red metálica de aluminio de carbón R4	Red metálica de aluminio de carbón R4
Cátodo	Alambre de cobre desnudo Centelsa SPT-C- C _u 60°C 2x16	Alambre de cobre desnudo Centelsa SPT-C- C _u 60°C 2x16	Alambre de cobre desnudo Centelsa SPT-C- C _u 60°C 2x16	Alambre de cobre desnudo Centelsa SPT-C- C _u 60°C 2x16	Alambre de cobre desnudo Centelsa SPT-C- C _u 60°C 2x16
Agua Potable	0.25 L	0.25 L	0.25 L	No	No
Carbón Activo	No	10 C _u – 15 ml/gr	No	No	10 C _u – 15 ml/gr
Carbón Vegetal	No	No	20 gr	No	No
Solución Salina	No	No	No	500 gr de sal y 1L agua	500 gr de sal y 1L agua

– **Prueba 2:** Mezcla de Sustratos con plantas

Después del proceso de investigación de la temática se pudo identificar que la generación depende en primera instancia del sustrato y luego del volumen de raíz que la planta posee, para esto fueron sembradas plantas de tipo *Chlorophytum comosum* (*Ilustración*) en cada una de las combinaciones, (*tabla 1*) para determinar cuál de estas al encontrarse la planta en contacto produce mayor voltaje.

Se observó el estado de la planta y el efecto del proceso de fotosíntesis en la producción de energía eléctrica midiendo el voltaje de cada circuito durante siete días con un intervalo de 24 horas. Durante este periodo se le adicionó la misma cantidad de agua en todas las combinaciones. La *Ilustración* una de la combinación con la planta sembrada.



Ilustración 1 Combinación de sustrato con planta *Chlorophytum comosum*.

– **Prueba 3:** Aumento del voltaje

Una vez determinada la combinación de sustrato con planta que genera mayor voltaje y que no cause deterioro a planta, se procedió a realizar dos pruebas con el fin de demostrar la posibilidad de aumentar significativamente la tensión generada. En la primera prueba se colocaron 5 macetas con la combinación seleccionada conectándolas entre si formando un circuito serie. Durante 8 días se midió la tensión generada por el circuito.

Para la segunda prueba se tomaron dos macetas de mayor tamaño, en una maceta se incrementó el número de plantas de *Chlorophytum comosum* y en otra maceta se combinaron diferentes tipos de plantas, *Chlorophytum comosum*, *Tradescantia pallida*, *Caladium*. La figura muestra el circuito serie, la figura muestra la maceta de mayor tamaño con plantas *Chlorophytum comosum* y la figura la maceta con la combinación de diferentes plantas.

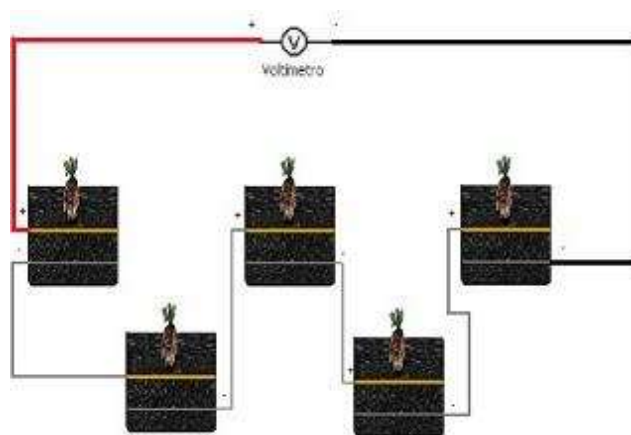


Ilustración. Conexión de las macetas formando circuito serie



Ilustración. Plantas *Chlorophytum comosum*.



Ilustración. Maceta Diferente plantas

- **Prueba 4:** Incremento de corriente

Una vez seleccionado el circuito que generó mayor voltaje (*Prueba 3*), se emplearon construyó tres nuevos circuitos con materiales para obtener un aumento de corriente, tales como, composta, agua tibia y agua de mar. La composta fue utilizada para fertilizar la planta lograr su crecimiento y nutrición y de esta manera lograr que más materia orgánica excretada por la planta se cree y poder recolectarla mediante los electrodos utilizados; El agua tibia (agua potable a 45°C – 50°C) se empleó para mantener en un estado de temperatura constante a la planta por la diferencias de temperaturas del ambiente y del sustrato; el agua de mar se le dio uso debido

a la gran cantidad de minerales, propiedades de conductividad y altos niveles de salinidad y pH que esta contiene se podría lograr un aumento de la misma.

Para la construcción y mantenimiento de este circuito se hizo necesario adicionar 1.5 Litros/Día y, 250 ml diarios durante un periodo de 5 Días, en el desarrollo de esta se mantuvo como constante la estructura del circuito planteado en la *Ilustración*.

7. RESULTADOS PARCIALES: Descripción de los datos recolectados; su presentación deberá ser en forma narrativa, sin adicionar tablas ni gráficos. En el caso de **Investigación en curso indique resultados parciales**. **Máximo 2500 caracteres (con espacios)**

- Prueba 1

En la prueba 1 se midió el voltaje generado por las cuatro combinaciones de sustrato con base de arena negra sin plantas en un periodo de 7 días en un intervalo de 24 horas. La importancia de esta prueba se encontró en determinar el sustrato más óptimo para la generación de energía determinando principalmente el nivel de conductividad eléctrica del mismo. La conductividad eléctrica depende la fuerza intertónica entre los electrodos recolectores (Ánodos y Cátodos) y la concentración de sales disueltas en el suelo; esta conductividad se puede aumentar manteniendo constante los niveles de humedad en el terreno (Cai et al. 2017; Duan et al. 2019; Jin et al. 2018; Köckritz, Jansen, and Beyer 2018). La figura muestra los valores de voltaje obtenidos por cada combinación de la

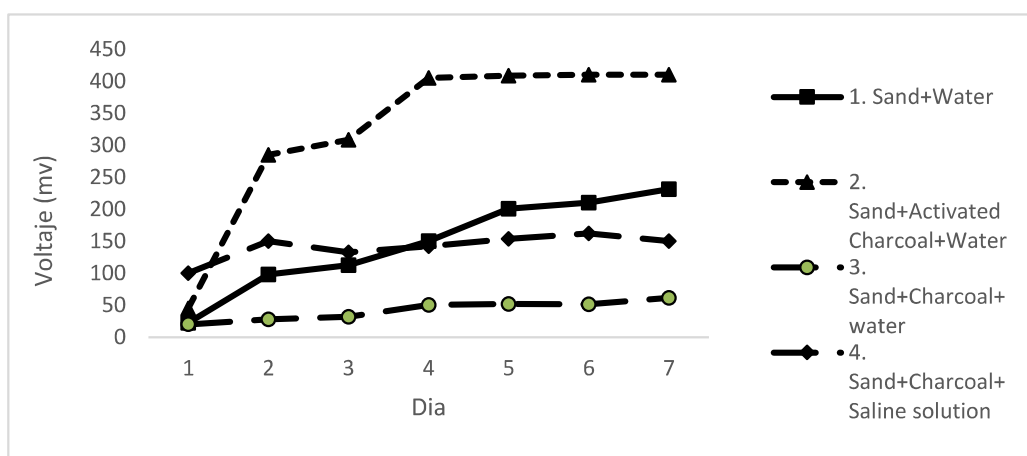


Figura 1 Resultados prueba 1.

De la figura anterior se puede observar que la combinación 2 (Arena Negra + carbón activado+ agua) obtuvo los valores de voltaje más elevados durante la prueba seguido de la combinación 1 (Arena Negra + agua). Por el contrario, la combinación 3 (Arena + Carbón vegetal) obtuvo los valores más bajos. Asimismo, se puede anotar que el cambio del agua potable por solución salina en la combinación 4, produjo un aumento en el voltaje.

- Prueba 2

Al determinar el sustrato con mejores condiciones de absorción de nutrientes y conductividad eléctrica se aplicó el método PMFC con el fin de aumentar el voltaje. Se sembró en cada combinación plantas tipo *Chlorophytum comosum* y se midió el valor de voltaje generado por cada combinación. La figura muestra los resultados de esta prueba.

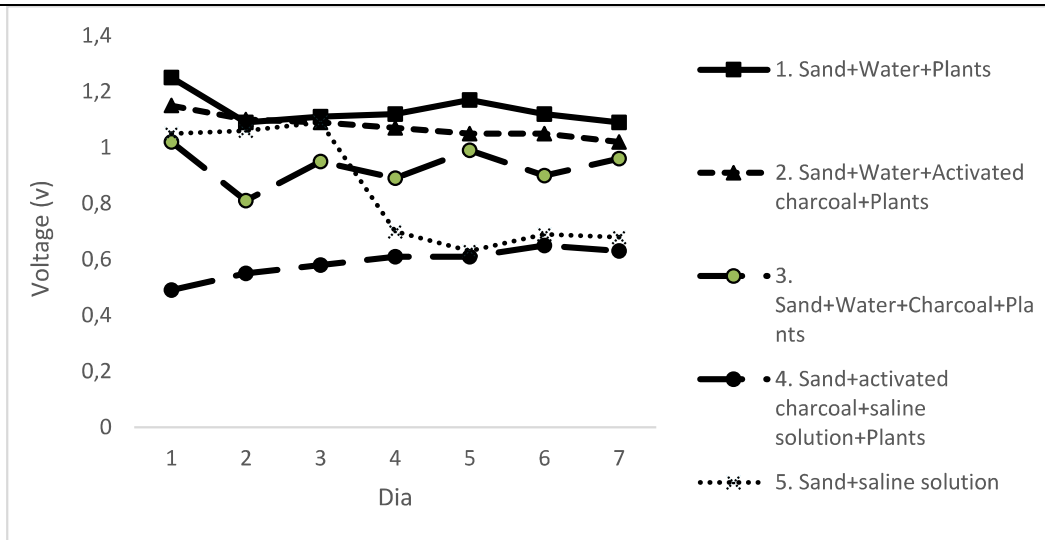


Figura 2 Resultados prueba 2.

La figura 8 nos muestra que la combinación con plantas que obtuvo mayor valor de voltaje es la combinación 1 (Arena Negra+ agua potable+ plantas), seguido de la combinación 2 (Arena Negra + Carbón Activo+ agua potable + plantas), mostrando un intercambio en el orden de generación de energía con respecto a la prueba 1. La combinación que obtuvo menor valor de voltaje fue la combinación 4 (Arena Negra + Carbón Activo+ solución salina + plantas).

De acuerdo al estado de la planta, en las combinaciones 1, 2, 3 y 4 la planta no presentó deterioro, sin embargo, en la combinación 5 (Arena Negra + solución salina + plantas), aunque obtuvo un valor de voltaje mayor que la combinación 4, la planta se deterioró completamente. Teniendo en cuenta estos resultados, se escogió la combinación 1 para realizar las pruebas de aumento de voltaje y corriente. La solución salina se descarta para próximas pruebas ya que genera deterioro total en las plantas.

Como se mencionó anteriormente la planta al encontrarse con el sustrato genera una ganancia adicional por parte única y exclusivamente por el volumen de raíz, a su vez manteniendo la conductividad inicial del sustrato se llega a un valor óptimo donde la planta podrá nutrirse por sí sola generando electricidad de forma constante.

Por otro lado, para la toma de estos valores se hizo necesario que los electrodos (Ánodo – Cátodo) se encontraran distantes para que no existieran pérdidas de voltaje y poder obtener una medida sin variaciones, porque al encontrarse juntos presente distorsión en la medida

- Prueba 3

En la prueba 3 se desarrollaron dos circuitos con el fin de aumentar el voltaje de la combinación 1 (arena negra+ agua potable + plantas), la cual obtuvo mayor voltaje en la prueba 2. El primer circuito está formado por 5 macetas, cada una con la combinación 1 de la prueba 2, teniendo en cuenta la teoría de circuitos eléctricos, donde el voltaje total es la suma de todos los voltajes presentes en él y las corriente del circuito se mantiene constante(Mathew N.O. Sadiku; Chales K. Alexander 2017). El segundo circuito es una maceta de mayor tamaño donde se combinaron diferentes tipos plantas de sol y sombra usando el sustrato de arena negra y agua potable, con el fin de determinar la influencia del número de raíces y la exposición a luz. La figura 8 muestra el resultado de estas mediciones.

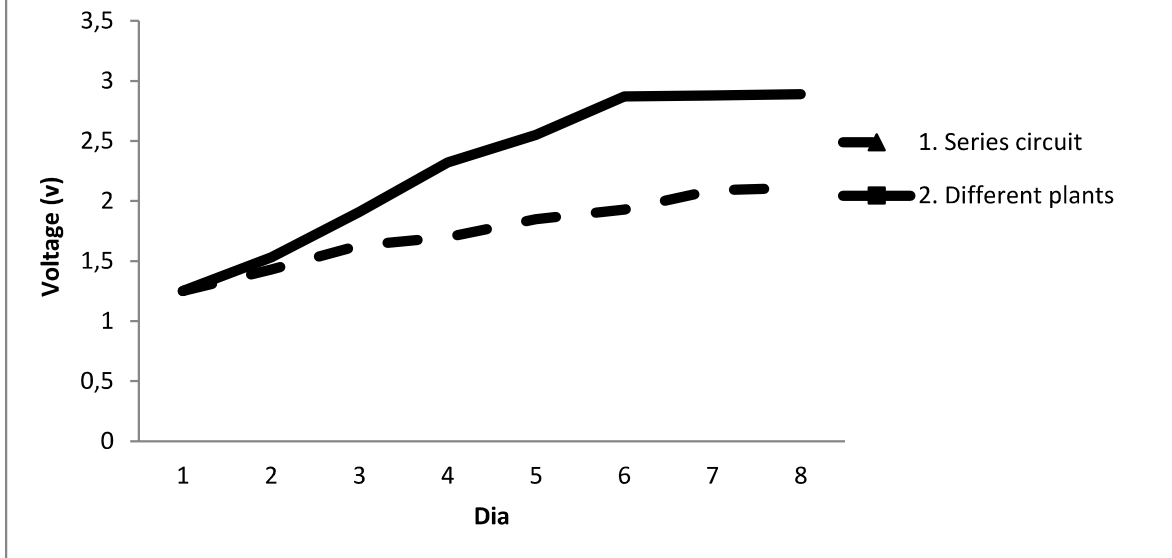


Figura 3 Resultados prueba 3.

De acuerdo a los resultados de la prueba 3, el circuito que obtuvo mayor incremento de voltaje es el formado por diferentes tipos de plantas y mayor número de raíces. Lo anterior demuestra, que la generación de energía no depende netamente del tipo de planta que se utilice, sino que la planta cuente con los nutrientes necesarios para realizar por si misma el proceso fotosintético y del volumen de raíces que estas presenten. Esto resulta que a mayor número de raíces habrá mayor generación de energía eléctrica.

- Prueba cuatro

La prueba 4 busca obtener la combinación que permita obtener un valor más alto de corriente sin disminuir el voltaje. Se utilizó la combinación de arena negra y un mayor número de plantas tipo *Chlorophytum comosum* de la prueba tres y se crearon tres nuevos circuitos basados en esta combinación. En el primer circuito se le añadió composta, en el segundo circuito se reemplazó el agua a temperatura ambiente con agua tibia y para el tercer circuito se utilizó agua de mar. La figura compara los valores de voltaje obtenidos y la figura los valores de corriente.

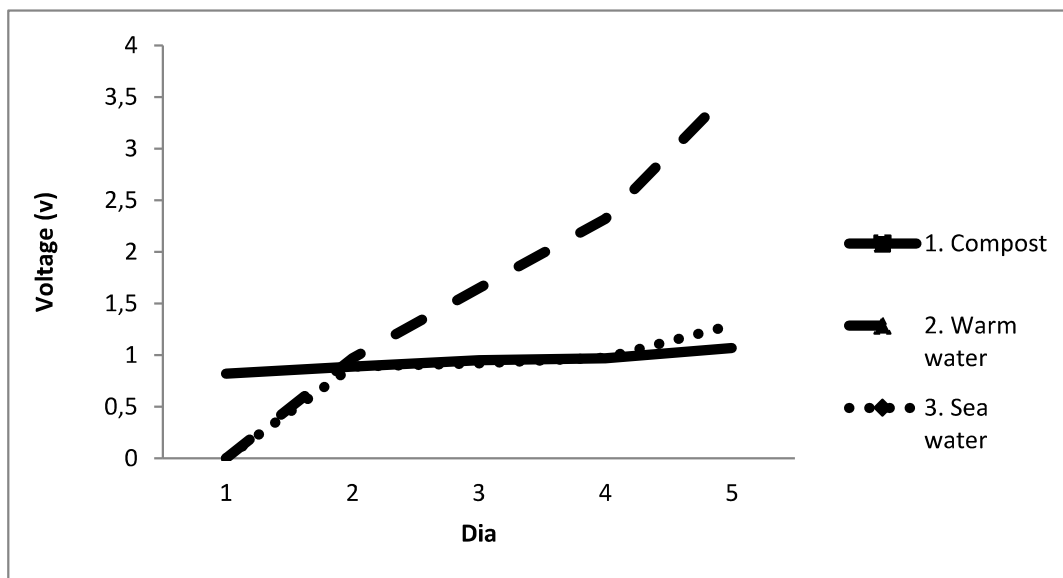


Figura 4 Valores de voltaje obtenidos en la prueba 4

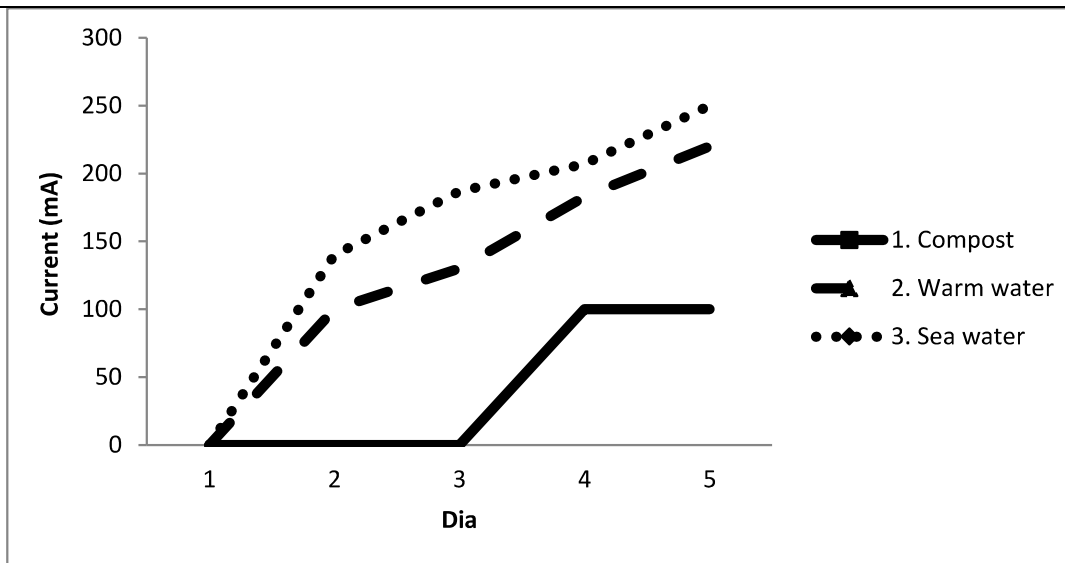


Figura 5 Valores de corriente obtenidos en la prueba 4.

Con respecto a la figura 10, se puede observar que el circuito que obtuvo mayor nivel de voltaje es el circuito donde se reemplazó el agua a temperatura ambiente por agua tibia. Aunque el circuito con composta obtuvo un valor constante de voltaje, los valores son inferiores. El circuito con agua de mar obtuvo los valores más bajos de voltaje durante los días 1,2 y 3, pero, durante los días 4 y 5 obtuvo mejores resultados que el circuito con composta.

Para los valores presentados en la figura, el circuito que generó mayor nivel de corriente fue el de agua de mar, sin embargo, la planta presentó deterioro en sus hojas. El circuito con agua tibia fue el segundo en obtener mejores resultados y sin deterioro en la planta.

Como se ha mencionado en el documento, la base fundamental para una generación de energía eléctrica constante es mantener en buen estado la fuente (Planta) conservando los niveles de luz, dióxido de carbono, humedad del aire, agua y demás nutrientes que contenga el sustrato. Para el caso de agua su temperatura influye directamente en el crecimiento de esta y al crecer existe un aumento en el volumen de las raíces y por ende mayor generación, aunque regar constantemente las plantas llegaría afectar la planta a largo plazo. En ese sentido la mayoría de los procesos biológicos se aceleran con temperaturas altas, es decir que se puede lograr un rápido crecimiento o producción de frutos. Algunos efectos se manifiestan a corto plazo mientras que otros lo harán a largo plazo. El equilibrio de asimilación de la planta, por ejemplo, se ve influenciado rápidamente por la temperatura, sin embargo, la inducción floral requerirá más tiempo. Regar las plantas con agua caliente es beneficioso, no obstante, debemos controlar la temperatura. Lo ideal es utilizar temperaturas entre 43 y 55 grados Celsius ayudando de esta forma a acelerar su crecimiento. Está demostrado que las plantas que se riegan con agua caliente pueden llegar a alcanzar mayor altura que aquellas que han sido regadas con agua a menor temperatura. Es importante controlar la temperatura ya que utilizar agua demasiado caliente puede provocar que nuestra planta se marchite o incluso muera.

8. CONCLUSIONES: Descripción precisa de los aspectos más relevantes obtenidos hasta el momento en la investigación.

Máximo 2500 caracteres (con espacios)

La generación de bioelectricidad a través del método Plants Microbial Fuel Cells (PMFC) es una alternativa con cero emisiones contaminantes al medio ambiente de carácter sostenible. A través de una interacción natural de las plantas con el suelo, se puede obtener energía eléctrica, sin embargo, los valores de potencia de salida aún son bajos en comparación con otro tipo de generación de energía verde. Por lo tanto, esta tecnología sigue siendo de gran interés investigativo en la búsqueda de aumentar y mantener constante los parámetros eléctricos fundamentales de un sistema eléctrico (Volteje, Corriente, Potencia), para así volverla confiable para el uso a gran escala.

Esta investigación condujo a diferentes pruebas para determinar qué materiales naturales tienen influencia en el aumento de la potencia de salida. Asimismo, se comprobó la influencia del número de raíces por metro cuadrado en el incremento de estos valores. Como resultado se obtuvo que el proceso de generación de electricidad mediante PMFC se relaciona directamente a la cantidad de raíces que una planta posee, debido que es el lugar donde hay mayor concentración de la actividad microbiana. La planta mediante el proceso de excreción de nutrientes provee a las bacterias de material orgánico para descomponerlo, proporcionando como resultado la liberación de electrones. Por lo tanto, entre mayor cantidad de raíces posea la planta, más nutriente les proporcionara a las bacterias aumentando la generación de electricidad.

De los materiales naturales empleados para tratar el sustrato en esta investigación se encuentran el carbón activado, carbón vegetal, composta, agua de mar y agua tibia. De acuerdo a los resultados el factor principal factor de mayor influencia para la generación de bioelectricidad es el grado de humedad al que la planta se encuentra expuesta. Se recomienda mantener una humedad constante no solo para evitar el deterioro de la planta, sino que el agua permite una adecuada generación de alimento y produce mayor actividad microbiana.



9. BIBLIOGRAFIA: Presentación de las fuentes bibliográficas que sirvieron de apoyo para la construcción y desarrollo de la investigación (5 referencias). **Máximo 1000 caracteres (con espacios)**

- Acosta-Coll, M., Ballester-Merelo, F., Martínez-Peiró, M., & la Hoz-Franco, D. (2018). Real-time early warning system design for pluvial flash floods—A review. *Sensors*, 18(7), 2255.
- Antonio Vazquez Villoria (2015), "Bioo Lite, el cargador ecológico para tu móvil - Revista Gadget," *Revista Gadget*.
- Andrade Montoya, P., Morejón Bastidas, J., & Inga Ortega, E. (2016). Cobertura máxima de redes de sensores inalámbricos para un sistema de gestión de energía en hogares inteligentes. *INGE CUC*, 12(2), 68-78. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.12.2.2016.07>
- Amanda Froelich (2015), "This Incredible System Generates Electricity From Living Plants – True Activist,".
- Atzori, G., Mancuso, S., & Masi, E. (2019). Seawater potential use in soilless culture: A review. *Scientia Horticulturae*, 249, 199-207.
- BBC MUNDO (2015), "El invento chileno para recargar el celular conectándolo a una planta - BBC News Mundo,".
- Cotching, W. E. (2018). Organic matter in the agricultural soils of Tasmania, Australia—A review. *Geoderma*, 312, 170-182.
- Dawoud, B., Amer, E. H., & Gross, D. M. (2007). Experimental investigation of an adsorptive thermal energy storage. *International journal of energy research*, 31(2), 135-147.
- Di Mauro, G., Ferreyra, R., Suárez, J., & Jurado, A. (2015). Sobretensiones por Ferrosresonancia en un Sistema de Distribución Eléctrica Rural: Reporte de Caso y Simulación. *INGE CUC*, 11(1), 34-47. Recuperado a partir de <https://revistascientificas.cuc.edu.co/ingecuc/articulo/view/378>
- Escudero Delgado, P., & Carrión Galarza, D. (2018). Expansión de un sistema de transmisión mediante LOPF-AC. *INGE CUC*, 14(2), 116-125. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.14.2.2018.11>
- Frouz, J. (2018). Effects of soil macro-and mesofauna on litter decomposition and soil organic matter stabilization. *Geoderma*, 332, 161-172.
- Gasparatos, A., Doll, C. N., Esteban, M., Ahmed, A., & Olang, T. A. (2017). Renewable energy and biodiversity: Implications for transitioning to a Green Economy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 161-184.
- Guan, C. Y., Tseng, Y. H., Tsang, D. C., Hu, A., & Yu, C. P. (2019). Wetland plant microbial fuel cells for remediation of hexavalent chromium contaminated soils and electricity production. *Journal of hazardous materials*, 365, 137-145.
- Gurram, S. P. G., & Kothapalli, N. S. (2017). A novel electricity generation with green technology by Plant-e from living plants and bacteria: A natural solar power from living power plant. In 2017 6th International Conference on Computer Applications In Electrical Engineering-Recent Advances (CERA) (pp. 146-151). IEEE.
- Felipe, P. R. V., Sarduy, J. R. G., Santos, V. S., & Teyra, M. A. D. A. (2011). Análisis de los datos de medición de armónicos variables en el tiempo. *INGE CUC*, 7(1), 9-16.
- F. Hoyos, J. Candelo y J. Silva. "Performance evaluation of a DC-AC inverter controlled with ZAD-FPIC" *INGE CUC*, vol. 14, no. 1, pp. 9-18, 2017 DOI: <http://doi.org/10.17981/ingecuc.14.1.2018.01>
- Green Power (2018), "El uso de carbón vegetal como fertilizante," <http://carboneros.org/clients/articles/2014-04-01-12-46-27/esp/>
- Hubenova, Y., & Mitov, M. (2012). Conversion of solar energy into electricity by using duckweed in direct photosynthetic plant fuel cell. *Bioelectrochemistry*, 87, 185-191.
- García-Guarín, P., Cantor-López, J., Cortés-Guerrero, C., Guzmán-Pardo, M., & Rivera, S. (2019). Implementación del algoritmo VNS-DEEPSO para el despacho de energía en redes distribuidas inteligentes. *INGE CUC*, 15(1), 142-154. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.15.1.2019.13>
- Helder, M., Chen, W. S., Van Der Harst, E. J., Strik, D. P., Hamelers, H. B. V., Buisman, C. J., & Potting, J. (2013). Electricity production with living plants on a green roof: environmental performance of the plant-microbial fuel cell. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 7(1), 52-64.
- Jacobo Mendez Alzamora (2017), "Carbón en Agricultura - Engormix,". <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/carbon-agricultura-t41255.htm>
- Kamcev, J., Sujanani, R., Jang, E. S., Yan, N., Moe, N., Paul, D. R., & Freeman, B. D. (2018). Salt concentration dependence of ionic conductivity in ion exchange membranes. *Journal of Membrane Science*, 547, 123-133.
- Kenrick Vezina (2015), "Plant Lamps' Turn Dirt and Vegetation into a Power Source - MIT Technology Review,".
- Kenerick Vezina (2015), "Plant Lamps' Turn Dirt and Vegetation into a Power Source - MIT Technology Review,".
- Li, M., Zhou, M., Tian, X., Tan, C., McDaniel, C. T., Hassett, D. J., & Gu, T. (2018). Microbial fuel cell (MFC) power performance improvement through enhanced microbial electrogenicity. *Biotechnology advances*, 36(4), 1316-1327.
- Moqsud, M. A., Yoshitake, J., Bushra, Q. S., Hyodo, M., Omine, K., & Strik, D. (2015). Compost in plant microbial fuel cell for bioelectricity generation. *Waste Management*, 36, 63-69.
- Megan Treacy (2013), "Researchers discover new way to harvest electricity from plants : TreeHugger,".
- Moliner, R. (2016). Del carbón activo al grafeno: Evolución de los materiales de carbono. *Boletín del Grupo Español del Carbón*, (41), 2-5.
- Nanda Scharama (2015), "How to generate electricity from living plants | World Economic Forum,".
- Omo-Okoro, P. N., Daso, A. P., & Okonkwo, J. O. (2018). A review of the application of agricultural wastes as precursor materials for the adsorption of per-and polyfluoroalkyl substances: a focus on current approaches and methodologies. *Environmental Technology & Innovation*, 9, 100-114.
- Oncel, S. S. (2017). Green energy engineering: Opening a green way for the future. *Journal of cleaner production*, 142, 3095-3100.
- Palansooriya, K. N., Ok, Y. S., Awad, Y. M., Lee, S. S., Sung, J. K., Koutsospyros, A., & Moon, D. H. (2019). Impacts of biochar application on upland agriculture: A review. *Journal of environmental management*, 234, 52-64.
- Pandey, P., Shinde, V. N., Deopurkar, R. L., Kale, S. P., Patil, S. A., & Pant, D. (2016). Recent advances in the use of different substrates in microbial fuel cells toward wastewater treatment and simultaneous energy recovery. *Applied Energy*, 168, 706-723.
- Piyare, R., Murphy, A. L., Tosato, P., & Brunelli, D. (2017, October). Plug into a plant: Using a plant microbial fuel cell and a wake-up radio for an energy neutral sensing system. In 2017 IEEE 42nd Conference on Local Computer Networks Workshops (LCN Workshops) (pp. 18-25). IEEE.
- Patiño Builes, A. (2015). Tendencias tecnológicas que influyen en el aumento de la productividad empresarial. *INGE CUC*, 11(2), 84-96. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.11.2.2015.09>
- Rast, A., Heinz, S., & Nickelsen, J. (2015). Biogenesis of thylakoid membranes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*, 1847(9), 821-830.



- Regmi, R., Nitorisavut, R., & Ketchaimongkol, J. (2018). A decade of plant-assisted microbial fuel cells: looking back and moving forward. *Biofuels*, 9(5), 605-612.
- Rossi, M., Iannaci, A., Tosato, P., & Brunelli, D. (2017). Let the microbes power your sensing display. In 2017 IEEE SENSORS (pp. 1-3). IEEE.
- Rosenbaum, M., He, Z., & Angenent, L. T. (2010). Light energy to bioelectricity: photosynthetic microbial fuel cells. *Current Opinion in Biotechnology*, 21(3), 259-264.
- Rostami, S., & Azhdarpoor, A. (2019). The application of plant growth regulators to improve phytoremediation of contaminated soils: A review. *Chemosphere*, 220, 818-827.
- Richard Martin, (2015). "El carbón activo ya se fabrica con una estructura diseñada a medida | MIT Technology Review,". <https://www.technologyreview.es/s/4951/el-carbon-activo-ya-se-fabrica-con-una-estructura-disenada-medida>
- Sadiku, M. N., & Alexander, C. K. (2007). *Fundamentals of electric circuits*. McGraw-Hill Higher Education.
- Slate, A. J., Whitehead, K. A., Brownson, D. A., & Banks, C. E. (2019). Microbial fuel cells: An overview of current technology. *Renewable and sustainable energy reviews*, 101, 60-81.
- Santoro, C., Arbizzani, C., Erable, B., & Ieropoulos, I. (2017). Microbial fuel cells: from fundamentals to applications. A review. *Journal of power sources*, 356, 225-244.
- Silva-Ortega, J., Zapata-Rivera, J., Candelo-Becerra, J., Rosales-Hernández, N., Umaña-Ibáñez, S., Mejía-Taboada, M., Palacio-Bonill, A., & Torregroza Rosas, M. (2016). Transformadores de distribución que operan con aceite de origen vegetal como dieléctrico y refrigerante. *INGE CUC*, 12(2), 79-85. <https://doi.org/10.17981/ingecuc.12.2.2016.08>
- Timmers, R. A., Strik, D. P., Hamelers, H. V., & Buisman, C. J. (2013). Electricity generation by a novel design tubular plant microbial fuel cell. *Biomass and Bioenergy*, 51, 60-67.
- Yang, S., Wang, Z., Han, Z., & Pan, X. (2019). Performance modelling of seawater electrolysis in an undivided cell: Effects of current density and seawater salinity. *Chemical Engineering Research and Design*, 143, 79-89.
- Yuan, C., Feng, S., Huo, Z., & Ji, Q. (2019). Effects of deficit irrigation with saline water on soil water-salt distribution and water use efficiency of maize for seed production in arid Northwest China. *Agricultural water management*, 212, 424-432.