



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Variaciones en los factores fotosintéticos de *Nephrolepis exaltata*
Bostoniensis para la generación de bioelectricidad en una celda de
combustible planta microbiana (PMFC), Lima-2020**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORA:

Huaman Mogollon, Lilian Del Carmen (ORCID: 0000-0002-6047-0974)

ASESOR:

Dr. Sernaque Auccahuasi, Fernando Antonio (ORCID:0000-0003-1485-5854)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA - PERÚ

2020

Dedicatoria

A mis padres por haberme acompañado y apoyado durante los 5 años de carrera, por haberme formado como la persona que soy ahora, a Dios por darme la fuerza de luchar cada día por mis sueños y anhelos.

Agradecimiento

Gracias a Dios por permitirme llegar hasta aquí, a mis padres por tenerlos conmigo en esta etapa tan importante. El camino no ha sido fácil hasta ahora, pero estoy agradecida por sus aportes, su amor, su inmensa bondad y su apoyo.

Índice de Contenidos

Carátula	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	vi
Índice de figuras.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Bioelectricidad.....	4
2.2 Celda de combustible microbiana (MFC).....	4
2.3 Ánodo y cátodo.....	4
2.4 Celda de combustible planta microbiana (PMFC)	5
2.5 Fotosíntesis.....	6
2.6 Factores fotosintéticos.....	7
2.7 Ritmo circadiano.....	8
2.8 <i>Nephrolepis exaltata Bostoniensis</i>	9
2.9 Antecedentes.....	10
III. METODOLOGÍA.....	13
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	13
3.2 Variables y operacionalización.....	13
3.3 Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.....	14
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	15
3.5 Procedimientos.....	18
3.6 Métodos de análisis de datos.....	21
3.7 Aspectos éticos.....	22
IV. RESULTADOS.....	30
V. DISCUSIÓN.....	36
VI. CONCLUSIONES.....	40

VII. RECOMENDACIONES.....	42
REFERENCIAS.....	43
ANEXOS.....	54

Índice de tablas

Tabla 1. Antecedentes.....	10
Tabla 2. Instrumentos de recolección de datos.....	16
Tabla 3. Validación de los equipos de laboratorio.....	17
Tabla 4. Caracterización del agua, tierra y compost.....	23
Tabla 5. Análisis de nutrientes tierra y compost.....	23
Tabla 6. Análisis de humedad 3 tipos de riego en tierra y compost.....	27
Tabla 7. Prueba de normalidad de Shapiro –Wilk por cada grupo de macetas - voltaje.....	29
Tabla 8. Prueba de normalidad de Shapiro –Wilk por cada grupo de macetas – densidad de potencia.....	30
Tabla 9. Prueba de T-Student – voltaje.....	32
Tabla 10. Prueba de T-Student – densidad de potencia.....	32
Tabla 11. Prueba ANOVA de un factor – voltaje.....	33
Tabla 12. Prueba ANOVA de un factor – densidad de potencia.....	33
Tabla 13. Prueba ANOVA de un factor – voltaje.....	34
Tabla 14. Prueba ANOVA de un factor – densidad de potencia.....	34
Tabla 15. Prueba de T-Student – voltaje.....	35
Tabla 16. Prueba de T-Student – densidad de potencia.....	35

Índice de figuras

Figura 1. Primer modelo de celda de combustible planta microbiana.....	5
Figura 2. Ilustración del mecanismo de conversión del sustrato.....	6
Figura 3. Factores del ritmo circadiano.....	9
Figura 4. Diagrama de la fase 1 del proyecto.....	20
Figura 5. Diagrama de la fase 2 y 3 de la elaboración del proyecto.....	21
Figura 6. Voltaje y densidad de potencia vs. Horas para PMFC de tierra y PMFC tierra + compost.....	24
Figura 7. Voltaje y densidad de potencia vs. Temperatura para PMFC de tierra y PMFC tierra + compost.....	25
Figura 8. Voltaje y densidad de potencia vs. Temperatura para PMFC de tierra y PMFC tierra + compost.....	26
Figura 9. Voltaje y densidad de potencia vs. PMFC de tierra y PMFC tierra + compost.....	28

RESUMEN

La celda de combustible planta microbiana (PMFC) fue diseñada para transformar la energía en electricidad, esto ocurre de la interacción entre la fotosíntesis de las plantas que produce materia orgánica y las bacterias electroquímicamente activas del suelo, que al juntarse generan un proceso de oxidación. Es por ello que el objetivo general de la investigación es evaluar cómo influyen las variaciones en los factores fotosintéticos de *Nephrolepis exaltata* *Bostoniensis* para la generación de bioelectricidad en una celda de combustible planta microbiana (PMFC). Estas fueron sometidas a factores naturales como la temperatura ambiente y ritmo circadiano medido en horas, así como también a diferentes cantidades de agua durante el riego que fueron: riego una vez por semana, riego una vez al día y riego dos veces al día, nueve de las PMFC estaban construidas con tierra sola y las nueve restantes en tierra más compost de esta manera se observó y midió el voltaje generado por cada planta y por consiguiente su densidad de potencia. Las PMFC de tierra sola tenían valores elevados de voltaje en riego dos veces al día con 32 mV, un promedio de 20.3 mV total de voltaje generado en tierra sola a diferencia de las PMFC de tierra más compost con 66.1 mV y 246.2 mV en riego dos veces al día, para las horas de luz y oscuridad los picos de voltaje fueron a las 6 AM y 6 PM en la mayoría de los casos ya que la PMFC de tierra sola fue de 28.4 mV y 27.5 mV, respectivamente, mientras que para la PMFC con compost 151.1 mV y 107.8 mV a las 6 AM y 6 PM respectivamente. Finalmente, la temperatura óptima con picos de voltaje fue de 17 ° C a 24 ° C, en las PMFC de tierra sola con 28.4 mV y 148.2 mV en las PMFC de tierra más compost. Se concluye que los factores fotosintéticos influyen de manera directa en la generación de electricidad pues existen marcados rangos de diferencia entre los resultados de acuerdo a cada factor, con valores óptimos a mayor cantidad de agua, menor temperatura, aplicación de compost y horas nocturnas.

Palabras clave: celda de combustible planta microbiana, fotosíntesis, bioelectricidad, voltaje

ABSTRACT

The plant microbial fuel cell (PMFC) was designed to transform energy into electricity, this occurs from the interaction between the photosynthesis of plants that produces organic matter and the electrochemically active bacteria in the soil, which when brought together generate an oxidation process. That is why the general objective of the research is to evaluate how variations in the photosynthetic factors of *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* influence the generation of bioelectricity in a microbial plant fuel cell (PMFC). These were subjected to natural factors such as room temperature and circadian rhythm measured in hours, as well as different amounts of water during irrigation, which were: irrigation once a week, irrigation once a day and irrigation twice a day, nine of the PMFCs were built with earth alone and the remaining nine on earth plus compost. In this way, the voltage generated by each plant and therefore its power density was observed and measured. Soil-alone PMFCs had high voltage values in irrigation twice a day with 32 mV, an average of 20.3 mV total voltage generated in soil alone, as opposed to soil-plus compost PMFCs with 66.1 mV and 246.2 mV in irrigation two. times a day, for the hours of light and darkness, the voltage peaks were at 6 AM and 6 PM in most cases since the PMFC for ground alone was 28.4 mV and 27.5 mV, respectively, while for the PMFC with compost 151.1 mV and 107.8 mV at 6 AM and 6 PM respectively. Finally, the optimum temperature with voltage peaks was 17°C to 24°C, in the soil PMFCs alone with 28.4 mV and 148.2 mV in the soil PMFCs plus compost. It is concluded that photosynthetic factors have a direct influence on the generation of electricity since there are marked ranges of difference between the results according to each factor, with optimal values at a higher amount of water, lower temperature, application of compost and night hours.

Keywords plant microbial fuel cell, photosynthesis, bioelectricity, voltage

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso de fuentes de energía convencionales como el gas, carbón y el petróleo no solo generan un aumento en la contaminación atmosférica, el calentamiento global y las enfermedades respiratorias, sino que disminuyen las reservas de combustible y la seguridad energética en todo el mundo (Mishra, Awasthi y Rajak, 2017, p.1022), ya que son fuentes de energía que nos proporciona la naturaleza en cantidades limitadas las cuales, de ser consumidas en su totalidad, no pueden sustituirse y son cada vez más difíciles de obtener debido a su sobreexplotación.

En Perú, el crecimiento económico implica un mayor consumo de energía y también emisiones de gases de efecto invernadero. La demanda anual de electricidad ha estado creciendo a un promedio de 7% en los últimos años, alcanzando 40.7 Tera vatios por hora (TW/h) en 2013 (MINEM, 2014, p. 32); y se estima que para el 2030 esta demanda aumentará a 119 TW/h, es decir, cuatro veces el valor actual (López, Veigas y Iglesias, 2015, p. 34). En ese sentido, el Ministerio de Energía y Minas (MEM) informó que las energías renovables no convencionales (solar, eólica, biomasa y minihidráulicas) cubren el 5 % de la matriz energética, el 57 % le corresponde a la energía hidroeléctrica y el resto a combustibles fósiles (El Peruano, 2019, párr. 9). Es por ello que, el consumo de recursos no renovables genera un impacto en el medio ambiente, como las emisiones de CO_2 , particularmente desde 1991 con 0.86 toneladas métricas, mientras que para el año 2011 las emisiones aumentaron a 1.44 toneladas métricas y en 2014 a 2.05 toneladas métricas, esto representa una tasa de crecimiento promedio anual de 2.10 % (Zambrano-monserrate *et al.*, 2018, p. 4171). En ese sentido, el agotamiento de los combustibles fósiles, sumado a la contaminación ambiental y el aumento del consumo de energía, son razones suficientes para encontrar nuevas tecnologías basadas en los recursos naturales para la producción de energía sostenible y renovable (Azri *et al.*, 2018, p. 254). Por lo tanto, la importancia de ello radica en incrementar la seguridad energética considerando que con ello no solo se reducen las emisiones al medio ambiente, sino que, a nivel social ayuda a la generación de energía eléctrica en las zonas apartadas de los centros urbanos, que presentan carencias en la prestación de servicios públicos básicos, debido a diversos factores económicos,

geográficos y sociales. Incluso, en un estudio realizado por el MINEM (2014, p. 34); mencionan que, el nivel de cobertura eléctrica en 2013 alcanzó el 90 % a nivel nacional, mientras que el grado de cobertura eléctrica rural fue mucho más bajo que el promedio nacional con 70 %. Luego, en 2018, la cobertura eléctrica rural fue del 88 %, mientras que la tasa de electrificación general en el país fue del 97 % ese mismo año (Lucas, Del Río y Cabeza, 2020, p. 158). En ese sentido, existe una cantidad de hogares rurales, escuelas y centros médicos que no cuentan con energía eléctrica, en las zonas más apartadas de la ciudad. Por tanto, beneficiar a estas comunidades a través de energía renovable sería un gran paso para lograr un desarrollo social.

Debido a ello es que, para crear energía renovable se han aplicado varios recursos bioenergéticos como el bioetanol, biodiesel, biogás (Azri *et al.*, 2018, p. 254) y la producción de energía emitida por la biomasa, en este caso de recursos vegetales como las plantas que utilizan el proceso de fotosíntesis para convertir energía luminosa en energía química (Khudzari *et al.*, 2018, p. 1) y posteriormente en electricidad. El medio en el que se realiza este procedimiento es un dispositivo bioelectroquímico o celda de combustible microbiana (MFC) que ha sido estudiado intensamente en las últimas décadas por su producción simultánea de electricidad y eliminación de desechos orgánicos (Zheng *et al.*, 2017, p. 551), este dispositivo en conjunto con la fotosíntesis de las plantas y las bacterias del suelo produce bioelectricidad llamándose celda de combustible planta microbiana (PMFC). Es por ello que, esta investigación tiene como problema general ¿Cómo influyen las variaciones en los factores fotosintéticos de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, para la generación de bioelectricidad en una celda de combustible planta microbiana (PMFC)?; así como también, los problemas específicos son: ¿Cuáles son los efectos de las variaciones en el ritmo circadiano de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, para la generación de bioelectricidad?; ¿Cuáles son los efectos de las fluctuaciones en la temperatura durante la fotosíntesis de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* para la generación de bioelectricidad?; ¿Cuáles son los efectos de la cantidad de agua en el suelo para *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* en la generación de bioelectricidad? y ¿Cuáles son los efectos del compost en el suelo de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* para la generación de bioelectricidad? Dado que, esta especie de

helecho no ha sido estudiada para beneficios concernientes a la producción de energía eléctrica, considerando que a través de varios estudios se ha determinado que el también llamado “Helecho de Boston”, tiene la capacidad de eliminar contaminantes; un ejemplo es, el estudio realizado por Pettit *et al.* (2017, p. 303) al probar que, en especies de plantas ornamentales, se encontraron diferencias considerables en la cantidad de absorción de contaminantes por material particulado, demostrando que *Nephrolepis exaltata 'Bostoniensis'* posee la mayor eficiencia de filtración de 88.78 % y 92.46 % para PM 2.5 y PM 10 respectivamente, sobre las especies de *Dianella*, *Eremophila*, *Callistemon* y *Lomandra*. Así como también, Antonia *et al.* (2019, p. 209) en su estudio para la contaminación de ambientes interiores como casas, edificios e instituciones, demuestra la capacidad de *Nephrolepis exaltata* para convertirse en agente de biomonitorio de la contaminación, sugiere la existencia de interacciones entre el contenido de PM 2.5 y PM 10 en el aire y la capacidad de bioacumulación en el tejido foliar de la planta *Nephrolepis exaltata*, para este tipo de material particulado. También, Prasetyo *et al.* (2019, p. 4) en su estudio de elaboración de mascarillas hechas a base de hojas de “Helecho de Boston”, comprobó que esta máscara es mejor para aumentar la inmunoglobulina, que impide la inflamación de la mucosa nasal como la rinitis. En ese sentido, es que propongo hacer un estudio con esta especie de helecho; ya que ayudaría no solo a generar energía renovable y limpia, sino que acumularía en sus hojas material particulado PM 2.5 y PM 10 para la limpieza de ambientes interiores. En ese sentido, el objetivo general es, evaluar cómo influyen las variaciones en los factores fotosintéticos de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* para la generación de bioelectricidad en una celda de combustible planta microbiana (PMFC) y los objetivos específicos son: determinar los efectos de las variaciones en el ritmo circadiano de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* para la generación de bioelectricidad; determinar los efectos de las fluctuaciones en la temperatura durante la fotosíntesis de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*; determinar los efectos de cantidad de agua en el suelo para *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* y determinar los efectos del compost en el suelo de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* para la generación de bioelectricidad en una celda de combustible planta microbiana (PMFC).

II. MARCO TEÓRICO

Para poder explicar acerca de las teorías en torno al tema de investigación es necesario entender que es bioelectricidad, y es que esta, tiene un concepto más amplio en bioenergía que es la energía que se obtiene de la biomasa, materia orgánica de origen vegetal o animal o la materia derivada de los seres vivos (Panwar, Kaushik y Kotharide, 2011, pp. 1517-1520). Una de los tipos de bioenergía, es la bioelectricidad la cual utiliza la energía contenida en la mayoría de los microorganismos pues estos tienen tendencia a transferir electrones producidos por su metabolismo, estos microorganismos son abundantes en agua dulce, aguas residuales, marinas, sedimentos del suelo, también en lodos activados y a través de la degradación anaeróbica de la materia orgánica que generan las plantas (Gilani *et al.*, 2016, p. 17). Donde, el instrumento que permite que esta conversión a electricidad se realice, son los llamados dispositivos bioelectroquímicos o celdas de combustible microbianas (MFC) que utilizan la capacidad de estos microorganismos para producir energía (Tapia *et al.*, 2017, p. 203).

En pocas palabras, las MFC utilizan microorganismos como biocatalizadores para oxidar la materia orgánica y transferir electrones a través de la oxidación del sustrato para la producción de bioelectricidad, los electrones liberados a través de esta oxidación se transfieren primero a un ánodo (aceptor de electrones) y los protones generados durante el mismo proceso migran a un cátodo a través de una membrana de intercambio (Li *et al.*, 2018, p. 1316). Luego, los electrones alcanzan el cátodo a través de un circuito externo con una carga de resistencia aplicada; el ánodo es el electrodo en el que los donantes de electrones experimentan reacciones de oxidación y el cátodo es el electrodo donde los aceptores de electrones experimentan reacciones de reducción (Zhang, Hu y Lee, 2016, p. 123). Además, el rendimiento de la MFC depende principalmente del sustrato, la transferencia de electrones desde bacterias hasta electrodos, temperatura y pH (Peraza-Baeza *et al.*, 2016, pp. 763 y 764). A partir del MFC convencional, se han desarrollado algunos sistemas bioelectroquímicos alternativos, tales como: celda de combustible microbiana de una cámara (Montpart *et al.*, 2015, p. 602), celda de desalinización microbiana para el tratamiento del agua de mar (Al-Mamun *et al.*, 2018, p. 459) y celda de

combustible planta microbiana (PMFC) para la producción de energía sostenible. El concepto de PMFC fue propuesto por primera vez por Strik *et al.* (2008, p. 871), quienes usaron una MFC de doble cámara que acoplaba las raíces de una planta en la cámara anódica para usar las reservas de carbohidratos en el rizoma como sustrato para microorganismos. Construyeron el primer PMFC empleando la planta *Glyceria maxima*, con filtro de grafito como electrodos y una membrana de intercambio catiónico (CEM). Como se muestra en la figura el dióxido de carbono es fijado y liberado como compuesto orgánico en el suelo (por ejemplo, carbohidratos) por las plantas y es utilizado por microorganismos que devuelven el dióxido de carbono a la atmósfera. Los microorganismos usan el ánodo como aceptor de electrones, los cuales fluyen desde el ánodo a través de un circuito eléctrico con una carga o resistencia al cátodo.

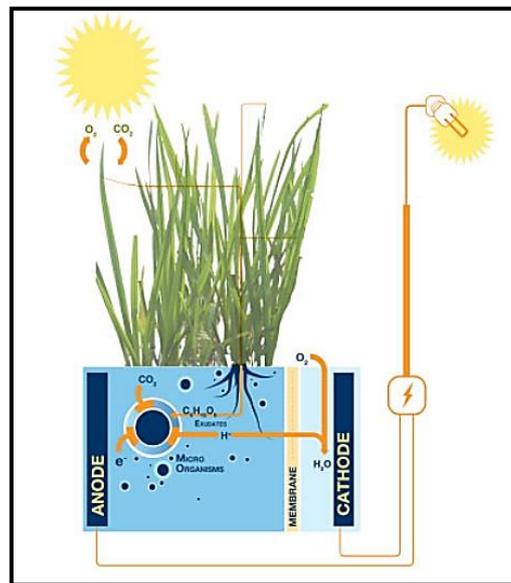


Figura 1. Primer modelo de celda de combustible planta microbiana Fuente: Strik *et al.* 2008.

De acuerdo con Nitisoravut y Regmi (2017, pp. 82,85), la PMFC se puede dividir en dos estructuras principales: Biocontrol y bio-sistema. El biocontrol está asociado a la entrada externa para lograr un voltaje interno e implica la irradiación del sol a la planta y las rutas fotosintéticas, el segundo se refiere a la transformación de los carbohidratos de las raíces en voltaje por metabolismos microbianos. Por otro lado, un estudio reciente por Kabutey *et al.* (2019, pp. 403, 406) mencionan que la PMFC son células biológicas que consisten en plantas vivas, una matriz de soporte (suelo), un ánodo conductor insertado en el sustrato y un cátodo colocado en aire o agua para convertir la energía química en

bioelectricidad, la energía química asociada con la materia orgánica (OM) en el sustrato se convierte en electrones (e^-), protones (H^+) y CO_2 durante la oxidación, por las bacterias electroquímicamente activas (EAB) en condiciones anaeróbicas. Los protones viajan a través del medio al cátodo, mientras que los electrones se adhieren al ánodo. Estas reacciones de producción de electrones que se transfieren al ánodo generan de bioelectricidad.

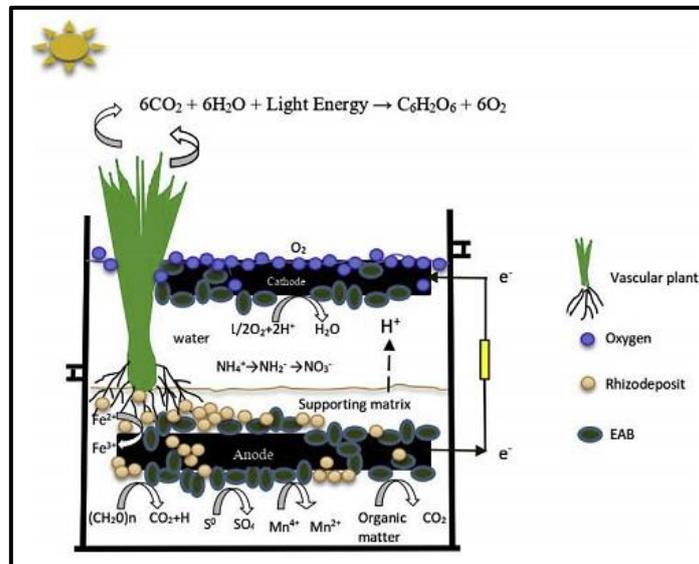


Figura 2. Ilustración del mecanismo de conversión del sustrato Fuente: Kabutey et al. 2019.

Por otro lado, Tamboli y Eswari (2019, p. 407) sostienen que la PMFC tiene dos diseños básicos de una y dos cámaras, la diferencia entre los dos es que, la segunda consta de dos compartimentos una cámara anódica y una cámara catódica separadas por una membrana de intercambio de protones (PEM), mientras que las celdas de una sola cámara pueden funcionar sin una (PEM), que incluye un ánodo y un cátodo mediante la exposición del mismo directamente al aire, lo que permite que el oxígeno molecular presente en el aire reaccione con los electrones y protones generados en la celda.

También, la PMFC opera en dos principios: la fotosíntesis, donde el sistema de raíces de la planta libera compuestos orgánicos (rizodeposición) y bacterias electroquímicamente activas que consumen el sustrato ubicado alrededor de las raíces de las plantas (Azri *et al.*, 2018, p. 254). En ese sentido, la fotosíntesis es el proceso de las plantas para capturar la energía solar que permite la generación de compuestos orgánicos en la rizosfera, luego este sistema de raíces de las plantas produce y libera diferentes tipos de compuestos orgánicos en el suelo,

que son los exudados de raíces, secreciones, gases y compuestos orgánicos, al total de estos procesos de liberación se denomina rizodeposición (Nguyen y Nitisoravut, 2019, p. 241). En ese sentido, para detallar como se realiza el proceso de fotosíntesis Khudzari *et al.* (2018, p. 1) mencionan que durante el proceso la planta usa la energía de la luz para convertir el dióxido de carbono y el agua en energía química utilizable para el crecimiento de la planta. Así como también, Azri *et al.* (2018, p. 259) sostienen que este proceso permite la producción de compuestos orgánicos mediante la fijación de CO_2 , y la materia orgánica se libera en la rizosfera, además la tasa de fotosíntesis aumenta con la temperatura, lo que implica el crecimiento de la planta y aumento de la biomasa en la rizosfera. También Sarma y Mohanty (2018, p. 404) afirman que las plantas utilizan la luz solar y el CO_2 para producir alimentos a través del conocido proceso de fotosíntesis. Una parte de este alimento producido no es utilizada por las plantas y se excreta a través de los exudados de la raíz en el suelo, cerca de las raíces de las plantas, las bacterias electroquímicamente activas degradan estos compuestos de bajo peso molecular liberados por las plantas y, a su vez, producen dióxido de carbono, protones y electrones.

Por otro lado, Azcón-Bieto *et al.*, (2008, p. 275) sostienen que el proceso de fotosíntesis, debe funcionar de forma integrada y eficiente, entre el medio y la especie vegetal, existiendo una enorme variabilidad natural de factores que pueden afectar la fotosíntesis, tales como la luz, la temperatura, la humedad del aire, la disponibilidad hídrica y de nutrientes minerales en el suelo, etc. Estos factores influyen en el comportamiento de la planta durante la fotosíntesis como lo afirman Fu *et al.* (2016, pp. 30 y 31) entre muchos procesos fisiológicos, la fotosíntesis es una de las más sensibles al estrés por frío o condiciones de temperatura fuera de lo normal, esta es la razón principal para la reducción o el cese del crecimiento y la disminución de la productividad de las plantas a bajas temperaturas, ya que la fotosíntesis incorpora numerosos componentes, que incluyen vías de reducción de CO_2 , fotosistemas fotosintéticos y el sistema de transporte de electrones. También, Miao *et al.* (2020, pp. 2, 8) mencionan que cuando la planta se encuentra expuesta a un déficit de agua, estas sufren un deterioro en la actividad fotosintética ya que los estomas (pequeños poros ubicados en el envés de la hoja), se cierran para evitar la pérdida de agua,

limitando la entrada de CO_2 , y reduciendo en contenido de pigmentos fotosintéticos como la clorofila, este tiene un papel importante en la captura de energía solar, que se convierte en energía química, es por ello que; el estrés por sequía restringe la síntesis de clorofila, acelera la descomposición de la planta y detiene la obtención de nutrientes por parte de las raíces. Así como también, De Ávila *et al.* (2019, p. 224) sostienen que los nutrientes como el nitrógeno (N) y el carbono (C) son componentes clave de las principales biomoléculas, como nucleótidos, aminoácidos y proteínas en la planta; incluso, en las hojas más del 60% del N total se asigna a las proteínas del aparato fotosintético y hasta el 75% del N se encuentra en los cloroplastos. También Romero, Puentes y Menjivar (2017, p. 115) mencionan que los nutrientes minerales en el suelo de las plantas le ayudan para su crecimiento y producción ya que estos, son absorbidos por las raíces, se dividen en dos: macronutrientes como el nitrógeno y el carbono; y micronutrientes como el hierro, zinc y manganeso.

Finalmente, un elemento esencial para llevar a cabo el proceso de la fotosíntesis es la luz solar; de acuerdo con Kim, Lam y Kim (2013, p. 360) la luz ayuda en la estimulación de la absorción de carbono inorgánico y la asimilación de carbono orgánico, y estos procesos están directamente relacionados con el metabolismo y el crecimiento de la planta. Ahora bien, los cambios periódicos en las condiciones ambientales, generan ciclos diurnos de luz y temperatura reflejados en fases de luz y oscuridad, Seo y Mas (2015, p. 230) definen a la adaptación de estos cambios ambientales predecibles en las plantas como ritmo circadiano, el cual es un mecanismo de temporización endógeno con una periodicidad de aproximadamente 24 hrs., que genera oscilaciones rítmicas en muchos procesos biológicos, de tal manera que se desencadenan en momentos particulares durante el día, el metabolismo de las plantas se sincroniza con los ritmos ambientales, también Greenham y McClung (2015, pp. 600-607) sostienen que el ritmo circadiano regula muchos procesos fisiológicos relevantes, incluidos el tiempo de floración, la fotosíntesis, el intercambio de gases, la síntesis y señalización de fitohormonas, el metabolismo del hierro, azufre, nitrógeno y carbohidratos, el estado redox y las respuestas al estrés. De acuerdo con Srivastava *et al.* (2019, pp. 257 y 258) los organismos vivos anticipan las variaciones ambientales por su cronometrador interno conocido como reloj

circadiano, este regula el metabolismo, la fisiología y el comportamiento de los organismos que varían mucho entre el día y la noche. En ese sentido, las plantas usan relojes internos para anticipar los cambios estacionales y ajustar su fisiología y desarrollo en consecuencia, y es que las plantas poseen fotorreceptores que captan la información de la luz, para que el oscilador central compuesto de proteínas positivas, encargadas de regular e inducir la expresión de otras proteínas (componentes negativos) las cuales, reprimen a los elementos positivos, originándose un ciclo de retroalimentación.

Estas proteínas actúan o inhiben la respuesta de la planta bajo las rutas de entrada.

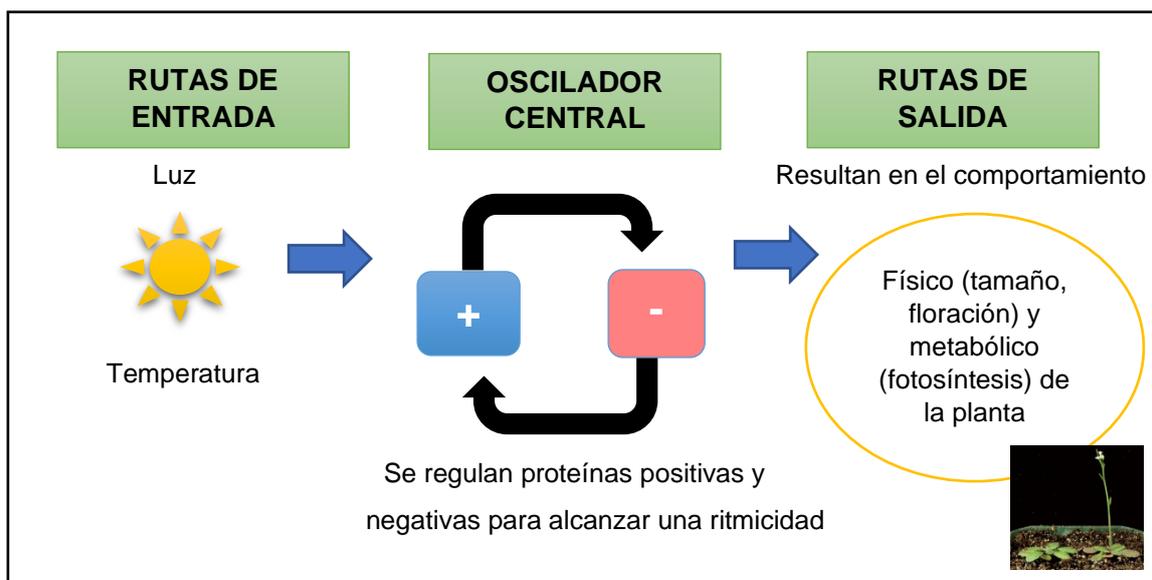


Figura 3. Factores del ritmo circadiano Fuente: elaboración propia

Por otro lado, *Nephrolepis exaltata* (L.) Schott es originaria del sur de EE. UU., América Central y del Sur. En 1895, se descubrió en Boston un mutante que exhibía hojas arqueadas, debido a su valor ornamental mejorado y su mayor tolerancia a las condiciones ambientales interiores, esta nueva especie fue nombrada como *Nephrolepis exaltata "Bostoniensis"* y rápidamente ganó popularidad como helecho de Boston, sus variedades toman muchas formas y son apreciadas por sus hojas rizadas, onduladas y arqueadas, algunos helechos más grandes se cultivan al aire libre en paisajes de áreas sombreadas donde el invierno lo permite y las variedades más pequeñas y ornamentales se cultivan como plantas en macetas o cestas colgantes para paisajismo interior (Schall,

Huo, y Chen, 2018, p. 1). Según Seral *et al.* (2016, p. 346) los helechos son plantas vasculares que no producen frutos ni semillas, tienen aproximadamente 10 mil especies reconocidas y se reproducen mediante esporas, tras la reproducción sexual de los gametofitos (gametos masculinos y femeninos) que dan lugar al crecimiento de un nuevo helecho.

En base a lo explicado anteriormente se muestra una tabla de estudios realizados.

Tabla 1. Antecedentes

N.º	Especies de plantas	Tipo de celda de combustible planta microbiana	Sustrato	Temperatura de exposición	Período de operación	Aceptor de electrones	Máxima densidad de Potencia	Autor	Año
1	- <i>Sporobolus arabicus</i> - <i>Cynodon dactylon</i>	PMFC de una cámara	Suelo	Temperaturas entre 22 y 28°C	2 meses	- Varilla de grafito - Placa de níquel	- <i>Sporobolus arabicus</i> E. de Grafito: 120 mW / m ² E. de Níquel: 37 mW / m ² - <i>Cynodon dactylon</i> E. de Grafito: 58.65 mW / m ² E. de Níquel: 29.2 mW / m ²	Gilani <i>et al.</i>	2016
2	<i>Hydrocotyle verticillata</i> , <i>Rhynchospora colorata</i> (plantas de agua dulce) <i>Artemisia fukudo</i> , <i>Phragmites australis</i> (plantas de agua salada)	PMFC de una cámara	Suelo orgánico y suelo marino para plantas de agua dulce y agua de mar, respectivamente	----	120 días	Fibra de carbono	<i>Hydrocotyle verticillata</i> : 83 mV <i>Rhynchospora colorata</i> : 200 mV - 20 mW / m ² <i>Artemisia fukudo</i> : 357 mV <i>Phragmites australis</i> : 250 mV - 40 mW / m ²	Moqsud <i>et al</i>	2017
3	- <i>Brassica juncea</i> - <i>Trigonella foenum-graecum</i> - <i>Canna stuttgart</i>	PMFC de una cámara	Suelo + compost	----	35 días	Fibra de carbono	- <i>Canna Stuttgart</i> : 222.54 mW / m ² - <i>Trigonella foenum-graecum</i> : 80.26 mW / m ² - <i>Brassica juncea</i> (69.32 mW / m ²	Sophia y Sreeja	2017

4	7 especies de <i>Sedum</i> : <i>S. album</i> <i>S. hybridum</i> <i>S. kamtschaticum</i> <i>S. reflexum</i> <i>S. rupestre</i> <i>S. sexangulare</i> <i>S. spurium</i>	PMFC de una cámara	Suelo + compost	La temperatura ambiente promedio durante este período fue de $20 \pm 2^\circ \text{C}$	360 días	Varillas de grafito	<i>Sedum hybridum</i> : $92 \mu\text{W} / \text{m}^2$ <i>S. rupestre</i> : $15.5 \mu\text{W} / \text{m}^2$ <i>S. sexangulare</i> : $8,4 \mu\text{W} / \text{m}^2$ <i>S. album</i> : $2.4 \mu\text{W} / \text{m}^2$ <i>S. kamtschaticum</i> , <i>S. spurium</i> y <i>S. reflexum</i> , tenían valores inferiores a $1 \mu\text{W} / \text{m}^2$	Tapia <i>et al.</i>	2017
5	Planta vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>),	PMFC de dos cámaras	Suelo	Temperaturas entre 25.7 y 29.7°C	4,5 meses	Fibra de carbono	$6 \text{ mA} / \text{m}^2$	Regmi <i>et al.</i>	2018
6	<i>Puccinellia distans</i>	PMFC de una cámara	- Mezcla de tierra para macetas con MO seca al 89 % - Suelo franco arenoso con aproximadamente 5% de MO seca	Temperatura mínima durante el día $21 \pm 2^\circ \text{C}$ y $14 \pm 2^\circ \text{C}$ por la noche	114 días	Fibra de carbono	- Suelo con MO seca al 89 %: $-83.7 \text{ mW} / \text{m}^2$ Suelo franco arenoso con 5% de MO: $8,59 \text{ mW} / \text{m}^2$	Khudzari <i>et al.</i>	2018
7	Dos tipos de plantas - <i>Epipremnum aureum</i> - <i>Dracaena braunii</i>	PMFC de dos cámaras	Estiércol de vaca + suelo de jardín	Temperatura entre $18-23^\circ \text{C}$ en condiciones interiores	60 días	Fibra de carbono	<i>E. aureum</i> : $15.38 \text{ mW} / \text{m}^2$ <i>D. braunii</i> : $12.42 \text{ mW} / \text{m}^2$	Sarma y Mohanty	2018
8	- <i>Chlorophytum comosum</i> - <i>Chasmanthe floribunda</i> - <i>Papyrus diffuses</i>	PMFC de una cámara	Suelo	----	100 días	Placas rectangulares de grafito	- <i>Chasmante</i> : $0.21 \text{ mW} / \text{m}^2$ - <i>Chlorophytum</i> : $18 \text{ mW} / \text{m}^2$ - <i>Papyrus</i> : $1.083 \text{ mW} / \text{m}^2$	Azri <i>et al.</i>	2018
9	Jacinto de agua (<i>Eichhornia crassipes</i>)	PMFC de una cámara	-Sistema A: agua corriente clorada -Sistema B: solución de NiSO_4	----	21 días	Varillas de grafito	Sistema A: $0.29 \text{ mW} / \text{m}^2$ Sistema B: $0.86 \text{ mW} / \text{m}^2$	Pamin <i>et al.</i>	2018
10	Planta de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	PMFC de una cámara	-Sistema A: suelo -Sistema B: suelo + biochar	Temperaturas de $26 \pm 2^\circ \text{C}$ durante el día y $23 \pm 2^\circ \text{C}$ por la noche	125 días	Gránulos de biochar	-Sistema A: $41.41 \text{ mW} / \text{m}^2$ -Sistema B: $11.11 \text{ mW} / \text{m}^2$	Khudzari <i>et al.</i>	2019

11	- <i>Azolla pinnata</i> (helecho de agua) - <i>Lemna minor</i> (lenteja de agua)	PMFC de una cámara	-Sistema A: agua corriente clorada -Sistema B: solución de Cu ₂	----	30 días	Fibra de carbono	-Sistema A: <i>Azolla pinnata</i> : 3.43 $\mu\text{W} / \text{m}^2$ <i>Lemna minor</i> : 247.11 $\mu\text{W} / \text{m}^2$ -Sistema B: <i>Azolla pinnata</i> : 17.82 $\mu\text{W} / \text{m}^2$ <i>Lemna minor</i> : 1076.16 $\mu\text{W} / \text{m}^2$	Pamin tuan, Virata y Yu	2019
12	Planta de arroz (<i>Oryza sativa</i>)	PMFC de dos cámaras	Gránulos de grafito y suelo	----	13 semanas	Estanque de algas verdeazuladas (<i>Cyanobacterium phormidium</i>)	29,78 mW / m^3	Srivastava <i>et al.</i>	2019
13	<i>Guinea purple</i>	PMFC de una cámara	Suelo	Temperatura de invernadero de 27 a 47 ° C	60 días	Fibra de carbono	- Rango de temperatura entre 41 ° C a 47 ° C: 4.4, 5.9 y 6.0 mW / m^2 - Rango de temperatura de 34 ° C a 41 ° C: 1.0, 1.7 y 1.9 mW / m^2 - Rango de temperatura de 27 ° C - 34 ° C: 0.3, 0.4 y 0.6 mW / m^2	Nguyen y Nitisoravut	2019
14	<i>Agapanthus africanus Hoffmanns</i>	PMFC de una cámara	Suelo mezclado con compost	----	60 días	Fibra de carbono	15.55 mW / cm^2	Gómor a <i>et al.</i>	2020

Fuente: elaboración propia

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La siguiente investigación es de tipo aplicada, ya que posee un fin práctico. Este tipo de investigación genera evidencias ampliamente aplicables al realizar evaluaciones en entornos del mundo real utilizando diseños de estudio rigurosos (McWilliams *et al.*, 2019, p. 2)

Además, la investigación aplicada proporciona datos y material de investigación, permite el descubrimiento de problemas no resueltos y abre desafíos de investigación, así como también, el desarrollo de nuevas técnicas de instrumentación y medición (Gersbach, Sorger y Amon, 2018, p. 438).

3.1.2 Diseño de investigación

El diseño empleado en la presente investigación es experimental puro, en vista que se desarrollaron procedimientos de análisis antes, durante y al finalizar el proceso de investigación tanto en laboratorio como en campo; así como la observación de la eficiencia en la generación de bioelectricidad bajo las condiciones a las que se expuso a la planta, dentro de una PMFC.

Arias (2012, p. 64), menciona que el diseño de investigación experimental puro, consiste en controlar todos los factores que pudieran alterar el proceso de investigación, en donde se le somete a un objeto o individuo a determinadas condiciones o estímulos (variable independiente), para observar los efectos que se producen (variable dependiente). Además, Ortega (2017, p. 155) afirma que este diseño de investigación obtiene los datos de la actividad intencionada del investigador, busca modificar la realidad con la finalidad de crear aquello que se indaga.

3.2 Variables y operacionalización

Según Schwab (2013, p. 12), las variables son características de objetos o eventos que pueden tomar dos o más valores. Además, estas son centrales para

la investigación, y en la mayoría de las investigaciones se refieren a las relaciones entre variables.

Por otro lado, cuando se habla de las variables dependientes son resultados o consecuencias verificables que las investigaciones buscan entender y las variables independientes son aquellas que se cree que influyen o al menos predicen a las variables dependientes.

En la presente investigación se tiene dos variables (ver anexo N.º 1):

- Variable independiente: Factores fotosintéticos de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*
- Variable dependiente: Bioelectricidad

3.3 Población, muestra y muestreo

3.3.1 Población

Se tomó como población a la especie vegetal *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* o “Helecho de Boston”, para realizar el estudio en base a las condiciones fotosintéticas de: luz, temperatura, disponibilidad hídrica y nutrientes minerales en el suelo, asimismo, es necesario precisar que, nuestra población se ubica en Lima-Perú.

“Población se refiere a un conjunto o grupo de individuos, a la que deseamos estudiar y que nuestros resultados impacten, al realizar un estudio acerca de algún fenómeno” (Bornstein, Jager y Putnick, 2013, p. 358).

3.1.2 Muestra

Se utilizaron 18 plantas *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* o “Helecho de Boston”, ya que se realizaron los experimentos por triplicado y se sometió a la especie en estudio, a tierra sola y tierra con compost, 3 tipos de riego en el suelo provocando que estos sean secos, húmedos e inundados, los factores de luz y temperatura fueron medidos en su condición natural (ver anexo N.º 2). Las plantas fueron obtenidas del Vivero Chaclacayo, ubicado al sur de Lima, distrito Chaclacayo.

“La muestra es un subgrupo de la población, la cual debe ser representativa y se da porque normalmente no ordenamos los recursos (tiempo, dinero o personal)

para evaluar a toda la población de interés” (Bornstein, Jager y Putnick, 2013, p. 358).

3.1.3 Muestreo

El tipo de muestreo utilizado en la presente investigación es muestreo probabilístico aleatorio simple, debido a que se utilizaron muestras homogéneas, con las mismas características para que puedan ser contrastadas con otros estudios.

Según Otzen y Manterola (2017, p. 228) describen este tipo de muestreo como aquel en el que todos los individuos que integran la población poseen la misma oportunidad de ser incluidos en la muestra, esto significa que la probabilidad de un sujeto a ser escogido en un estudio es independiente de la probabilidad que tiene el resto de los sujetos que constituyen la población.

3.1.4 Unidad de análisis

La unidad de análisis en la presente investigación es la planta *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* o “Helecho de Boston”. Según Chan y Clarke (2019, p. 2) unidad de análisis son unidades consistentes identificadas de datos empíricos que proporcionan los materiales básicos sobre los cuales se pueden realizar análisis específicos, de esta manera es la entidad principal que se analiza durante la investigación, y que representa la variable medida para cada unidad muestral.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnica

La técnica empleada fue de observación experimental, según Ñaupas *et al.* (2014, p. 207): “Consiste en observar como su nombre lo dice, atentamente el efecto que produce la manipulación de la variable independiente sobre la variable dependiente. Incluso, examina el comportamiento de los individuos, durante el experimento”.

Se realizaron análisis de los efectos que producen las variaciones en los factores fotosintéticos de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* para la generación de bioelectricidad a nivel de luz y temperatura (factores naturales), disponibilidad

hídrica por el tipo de riego y nutrientes minerales en el suelo durante el proceso de fotosíntesis.

3.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Se elaboró una ficha de registro de datos de diseño único (ver anexo N.º 3), en la cual se tomó nota de los datos observados, en respuesta a las condiciones a las que se expuso la planta, acorde a ello el instrumento que guía el comportamiento del proceso fue el multímetro digital (ver anexo N.º 4).

Tabla 2. *Instrumentos de recolección de datos*

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS			
INSTRUMENTO	MARCA	DEFINICIÓN	ETAPA
Multímetro digital	Truper Mut-33	Según Torrente (2013): el multímetro digital es un instrumento que sirve para medir 3 magnitudes relacionadas a la Ley de Ohm: como el voltaje que existe entre dos puntos de un circuito, la intensidad de corriente o la resistencia que ofrece cierto componente.	Se utilizará para medir el voltaje que produce la planta y medir la temperatura ambiente.

Fuente: elaboración propia

3.4.3 Validez

Para la validez de los instrumentos, en la siguiente tabla se detallan los equipos que fueron utilizados para el desarrollo de la presente investigación, se explicará para que sirve cada uno de los equipos, la marca y la etapa en las que fueron utilizados para realizar los procedimientos respectivos, que posteriormente llevaron al análisis de las propiedades físicas del suelo, compost y agua.

Tabla 3. Validación de los equipos de laboratorio

EQUIPOS DE LABORATORIO			
INSTRUMENTO	MARCA	DEFINICIÓN	ETAPA
pH metro	ATC Digital	Según Aguilar (2013): “El pH metro es un instrumento que ayuda a determinar la medida de acidez o alcalinidad de una solución”.	Se utilizó para determinar el pH del suelo, compost y agua utilizados en la planta <i>Nephrolepis exaltata Bostoniensis</i> .
Conductímetro	EC HM Digital -E1	Según Lozano (2013): “Es un aparato que ayuda a medir la habilidad de transmitir una corriente eléctrica en el contenido de sales de una muestra, y sus unidades de medida son los Siemens por centímetro (S/cm.)”	Se utilizó para determinar la conductividad y temperatura del suelo, compost y agua utilizados en la planta <i>Nephrolepis exaltata Bostoniensis</i> .

Fuente: elaboración propia

3.4.4 Confiabilidad

Para la confiabilidad de los equipos utilizados en el desarrollo de la investigación todos fueron calibrados antes de su uso, el multímetro digital fue calibrado en Laboratorios UNIMETRO S.A.C (ver anexo N.º 5), mientras que; para los análisis de humedad y nutrientes minerales en tierra sola y con compost estos fueron realizados en MINLAB S.R.L laboratorio acreditado por INACAL (ver anexo N.º 6).

3.5 Procedimientos

3.5.1 *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* o “Helecho de Boston”

Las plantas *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* (ver anexo N.º 7) fueron recolectadas del Vivero Chaclacayo, luego fueron transportadas, colocadas y conservadas en condiciones ambientales dentro de un mini invernadero con dimensiones 1.50 m de largo, 90 cm de ancho y 80 cm de alto (ver anexo N.º 8), debido a que este proporciona un máximo control ambiental y un mejor saneamiento. Esta planta fue seleccionada debido a su valor ornamental mejorado y su mayor tolerancia a las condiciones ambientales interiores, presentan una alta capacidad de retención de agua y tiene una amplia tolerancia a los niveles de luz cambiantes (Schall, Huo, y Chen, 2018, p. 2).

3.5.2 Caracterización del suelo, compost y agua

El agua de grifo utilizada para regar las plantas se caracterizó para determinar el pH, la temperatura y la conductividad eléctrica, lo mismo sucedió con el suelo y el compost adquiridos en el Vivero Chaclacayo utilizados para este estudio. Además, estos últimos se analizaron para determinar la cantidad de materia orgánica existente; como su porcentaje de nitrógeno, carbono, azufre, relación C/N. También, el porcentaje de humedad en el suelo debido al tipo de riego fueron analizados en el laboratorio MINLAB S.R.L.

3.5.3 Construcción de la PMFC

Todos los sistemas PMFC fueron operados en un mini invernadero acondicionado en la azotea de una casa, además, todos los experimentos se realizaron por triplicado, teniendo un total de 18 PMFC con *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, la construcción de la misma se realizó en macetas de plástico con las siguientes dimensiones: 19.4 cm de altura, 24.2 cm de diámetro superior y 17 cm de diámetro inferior. El helecho de Boston tuvo una dimensión aproximada de 24 cm de alto. Se utilizó tela de fibra de carbono como ánodo y cátodo (electrodos) de forma rectangular con un espesor de 3 mm adquiridos en LMB INDUSTRIAL EIRL, ya que este material ha sido reportado como candidato

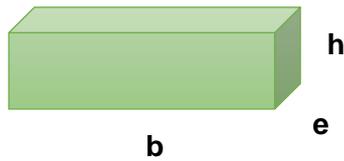
biocompatible y eficiente para MFC convencional (Dhar *et al.*, 2015, p. 225), por lo tanto; la implementación de fibra de carbono como electrodo es una alternativa novedosa para fines bioelectroquímicos. El ánodo se colocó a 9 cm del fondo de la maceta (ver anexo N.º 9) y el cátodo fue colocado en una interfase entre el suelo y el aire (Gómora *et al.* 2020, p. 229). Luego, el cátodo se unió a un cable eléctrico y el ánodo a un alambre de cobre (portador de electrones); manteniendo el ánodo dentro de la maceta y el cátodo en la superficie (Nguyen y Nitorisravut 2019, p. 241). Finalmente, se plantó *Nephrolepis exaltata 'Bostoniensis'*, en tierra sola y tierra + compost, la cantidad de este último en un 50 %, de la cantidad total de tierra (Gómora *et al.* 2020, p. 229) (ver anexo N.º 10).

3.5.4 Configuración de la PMFC

El voltaje y la temperatura ambiente generados se cuantificaron usando un multímetro, los cuales fueron monitoreados cada 6 horas para observar el rendimiento en voltaje y la variación de la temperatura. La cantidad de agua en el suelo, se manipuló en 3 frecuencias de riego diferentes, teniendo una por semana, una vez por día y dos veces por día convirtiéndose en tres sistemas de PMFC que fueron suelo seco (D-PMFC), suelo húmedo (W-PMFC) y suelo inundado (WL-PMFC) (Nguyen y Nitorisravut 2019, p. 241). Además, las PMFC se colocaron con o sin compost, para analizar las variaciones en la generación de electricidad, mientras que los factores de luz como el ritmo circadiano y la temperatura fueron medidos en su estado natural, viendo reflejado el rendimiento de voltaje, en horas de luz y oscuridad. Durante el período inicial de los experimentos, se monitoreó el voltaje de circuito abierto (OCV) para todos los sistemas, luego se instaló una resistencia externa de 100 Ω en todos los sistemas después de dos semanas de funcionamiento, permitiendo la aclimatación de las actividades bacterianas (Nguyen y Nitorisravut 2019, p. 242). Desde entonces, el voltaje se registró en línea utilizando el multímetro digital. Mientras que, la densidad de potencia (P) en mV / cm^2 se calculó correlacionando el voltaje generado (mV), la resistencia externa (R) y el área de superficie del electrodo (A) en cm^2 de acuerdo con la ecuación (Gómora *et al.* 2020, p. 229):

$$P = V^2 / A \cdot R$$

Área de la superficie del electrodo (Ánodo):



Dónde: b = base

e = espesor

h = altura

$$As = A \text{ bases} * A \text{ caras}$$

$$As = \text{Área de las bases} * \text{Área de las caras}$$

$$As = 2be + 2he + 2bh$$

Esta toma de valores se realizó todos los días durante 2 meses, obteniendo un promedio al final de cada semana.

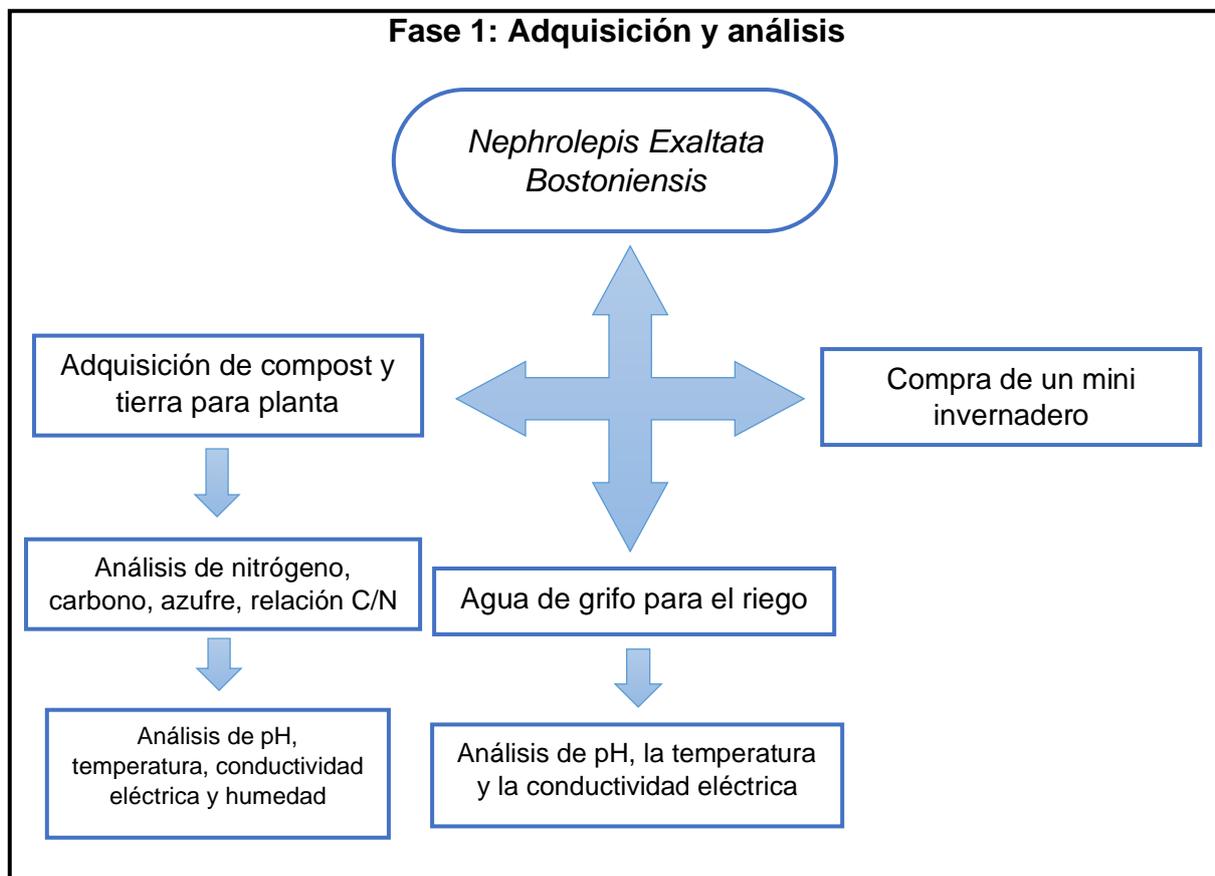


Figura 4. Diagrama de la fase 1 del proyecto Fuente: Elaboración propia

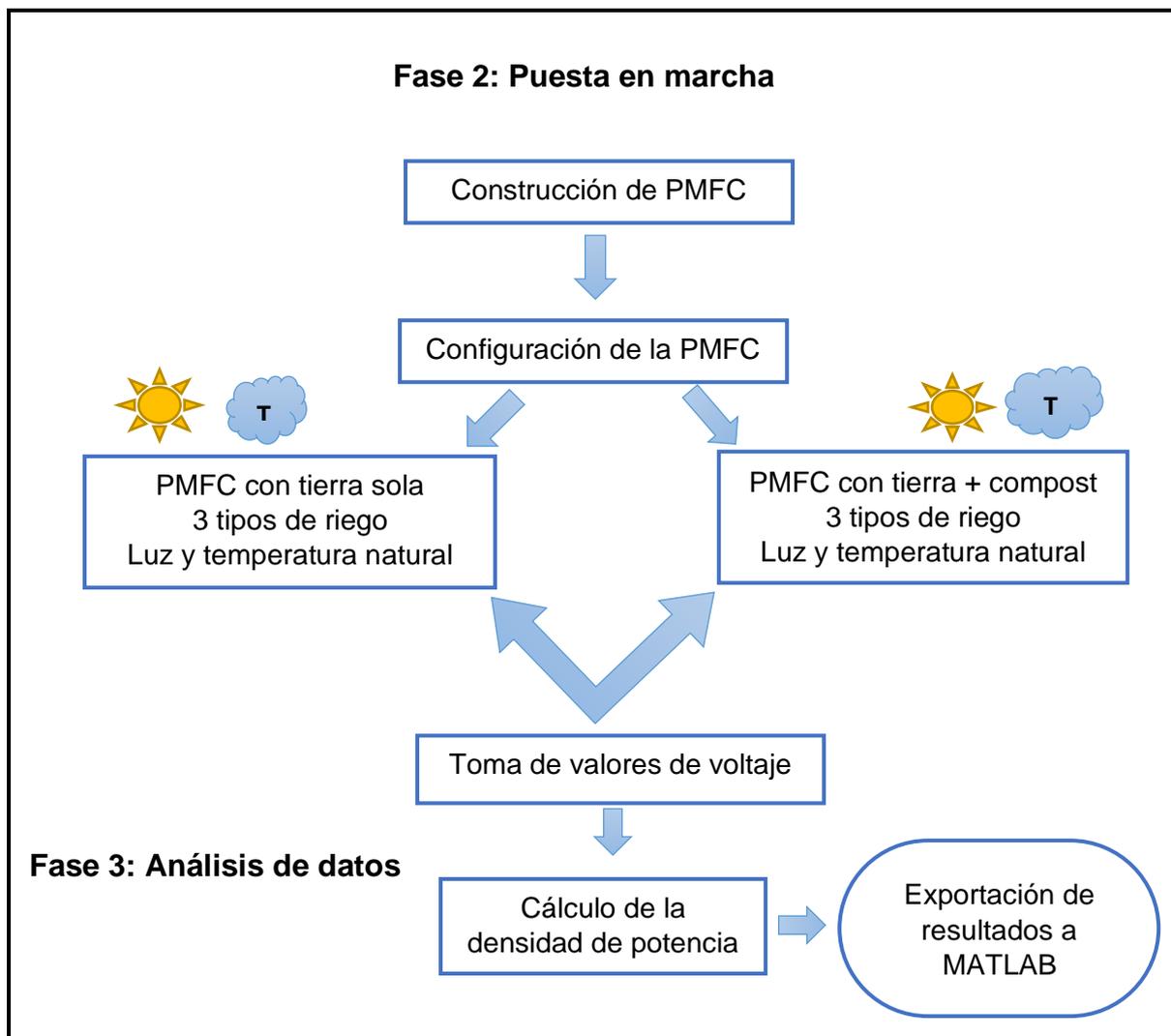


Figura 5. Diagrama de la fase 2 y 3 de la elaboración del proyecto Fuente: Elaboración propia

3.6 Métodos de análisis de datos

Para el cumplimiento de los objetivos de la investigación se consideró procesar los datos con el programa estadístico – matemático MATLAB. En una primera etapa, para establecer los resultados desde el punto de vista descriptivo se utilizaron tablas y gráficos, para la recopilación y descripción de los resultados obtenidos durante la investigación.

El análisis inferencial, según King y Eckersley (2019, p. 85) se ocupa del proceso de inferir, deducir o llegar a conclusiones sobre una población basada en una muestra de esa población, debido a que el tamaño de la muestra es significativamente menor que el tamaño de la población, dicha información inferida está sujeta a una medida de incertidumbre.

Para este estudio en el análisis inferencial, se utilizó la prueba ANOVA, ya que se buscó comparar los promedios de más de 3 grupos independientes; en vista que hubo 3 tipos de riego para la determinación de la humedad, además en base a las mediciones de temperatura natural se determinaron 3 rangos: alto, medio y bajo; y también la prueba T de Student, para comparar 2 promedios de muestras independientes ya que se compararon 2 escenarios de PMFC con y sin compost, y el ritmo circadiano en el día y la noche definidas en voltaje y densidad de potencia, ambos análisis estadísticos fueron realizados en RStudio.

3.7 Aspectos éticos

El siguiente proyecto de investigación fue realizado respetando el código de ética de la universidad, cumpliendo los estándares científicos, de responsabilidad y honestidad, siguiendo el Manual ISO 690, las guías y normas que proporciona la universidad para contar con un estudio de calidad. Por lo tanto, esta investigación obtendrá resultados reales, ya que, al finalizar la investigación su metodología, entre ellos los análisis, procesos y resultados de la generación de bioelectricidad por parte de la especie en estudio *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* serán publicados y revelados al público mediante el repositorio de la Universidad César Vallejo. De conformidad, se aplican criterios de autenticidad, autonomía y legalidad durante el proceso y finalización del proyecto de investigación.

IV. RESULTADOS

4.1 Caracterización del suelo, el compost y el agua.

Según el análisis realizado, la temperatura del agua utilizada durante el proyecto fue de 20 °C, lo cual representa una condición normal del agua de grifo (Almakhadmeh y Soliman, 2021, p. 2). En contraste, la temperatura de la tierra y compost utilizado fue una temperatura promedio de 19.3 °C y 18.6 °C, respectivamente. Se determinó que, el pH del agua, de la tierra y compost fueron alcalinos o básicos, lo cual es un buen indicador ya que los microorganismos que descomponen la materia orgánica no son productivos en condiciones ácidas, y para la conductividad eléctrica el compost demostró tener mayor capacidad para conducir corriente eléctrica con 2696 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tabla 4. Caracterización del agua, tierra y compost

Parámetros	Agua	Tierra	Compost
Temperatura (°C)	20	19.3	18.6
pH	7.66	7.44	7.93
Conductividad Eléctrica (μS/cm)	655.33	1590	2696

Fuente: elaboración propia

Tabla 5. Análisis de nutrientes tierra y compost

Nutriente	Tierra (%)	Compost (%)
Nitrógeno (N)	0.83	0.92
Materia Orgánica	20.33	21.31
Azufre (S)	0.35	2.52
Carbono (C)	11.79	12.36
Relación C/N	14.1	13.4

Fuente: elaboración propia

Según el análisis de nutrientes, en la Tabla 5 la cantidad de carbono disminuyó de 12.36 % para el compost a 11.79 % para el suelo, lo que sugiere que el compost posee una mayor cantidad de carbohidratos y materia orgánica, mientras que el suelo está compuesto principalmente por materia inorgánica y minerales (Gómora *et al.* 2020, p. 230). En contraste, el porcentaje de nitrógeno fue mayor para el compost alcanzando un valor de 0.92 %. La relación C: N determinada para el suelo y el compost fue de 14.1 y 13.4 respectivamente.

4.2 Efectos del ritmo circadiano de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* para la generación de bioelectricidad

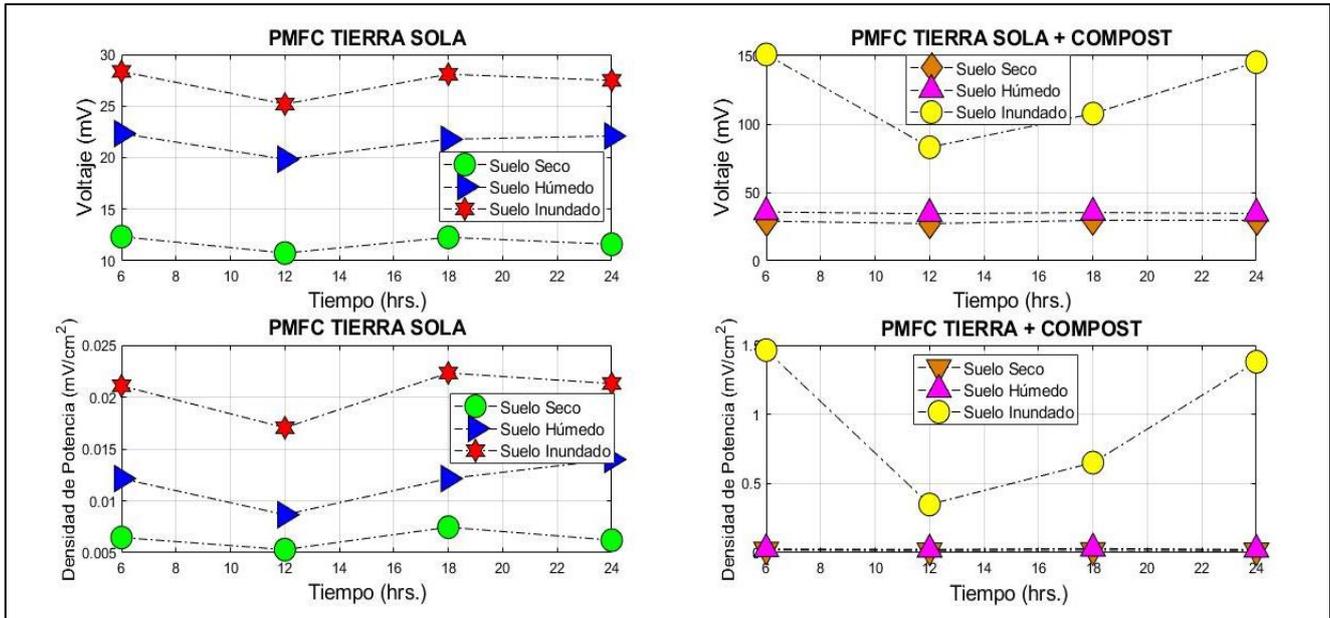


Figura 6. Voltaje y densidad de potencia vs. Horas para PMFC de tierra y PMFC tierra + compost
Fuente: elaboración propia

Se realizaron mediciones cada 6 hrs. con rangos de 6 AM, 12 PM, 6 PM y 12 AM durante los 2 meses de investigación registrando medidas de voltaje y por consiguiente de densidad de potencia hallada mediante la fórmula $P = \frac{mV^2}{RxA}$, se observaron que había niveles elevados de voltaje a las 6 AM con los primeros rasgos de luz, luego a las 12 del mediodía había reducciones en la cantidad de voltaje, a las 6 PM nuevamente se incrementaba y a la medianoche se reducían levemente. Es por ello que, haciendo un promedio general de las 8 semanas para cada grupo de macetas se determinó que las PMFC con tierra sola y tierra + compost en suelo seco midieron a las 6 AM, 12.3 mV y 29.1 mV respectivamente. Para suelo húmedo los voltajes a las 6 AM fueron de 22.3 mV y 35.7 mV en la PMFC con tierra sola y tierra + compost, respectivamente. Finalmente, en suelo inundado los voltajes a las 6 AM para la PMFC de tierra sola fueron de 28.4 mV y la PMFC tierra + compost 151.1 mV. Luego a las 12 PM los voltajes se reducían a valores donde las PMFC de tierra sola fueron de 10.8 mV, 19.8 mV y 25.2 mV para suelo seco, suelo húmedo y suelo inundado, respectivamente. Además, las PMFC de tierra + compost tuvieron resultados similares de reducción en el voltaje a las 12 PM con valores de 27.2 mV, 34.5 mV y 83.2 mV en suelo seco, suelo húmedo y suelo inundado, respectivamente.

Finalmente, es necesario resaltar que todos los grupos de macetas a las 6 PM presentaron un aumento en la cantidad de voltaje y reducción del mismo a las 12 AM.

4.3 Efectos de las fluctuaciones en la temperatura de *Nephrolepis exaltata* *Bostoniensis* para la generación de bioelectricidad

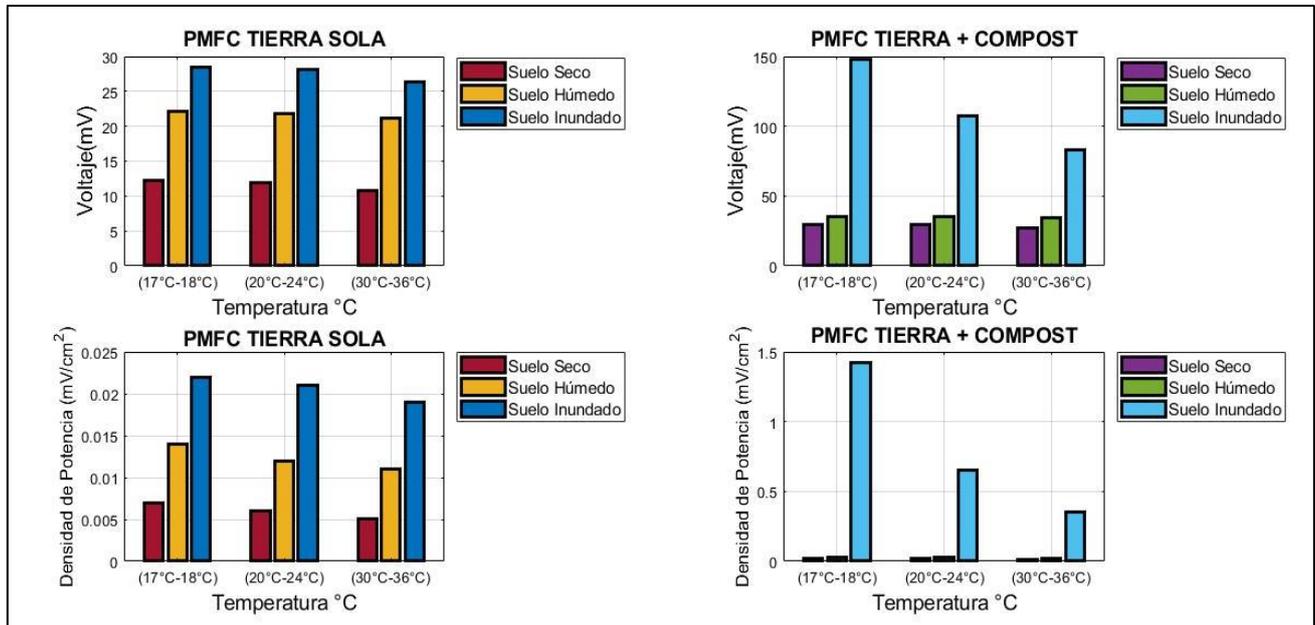


Figura 7. Voltaje y densidad de potencia vs. Temperatura para PMFC de tierra y PMFC tierra + compost Fuente: elaboración propia

Durante los dos meses de estudio se observaron distintos rangos de temperatura por lo que fueron divididos en: Temperatura baja de 17 ° C a 18 ° C, temperatura media de 20 ° C a 24 ° C y temperatura alta de 30 ° C a 36 ° C. Todas las PMFC con tierra sola y las de tierra + compost registraron un voltaje máximo a una temperatura de 17 ° C a 18 ° C, es así como: la PMFC de tierra sola y tierra + compost en suelo seco generó un voltaje máximo de 12.3 mV y 29.7 mV respectivamente. Luego para suelo húmedo el voltaje máximo para la PMFC de tierra sola fue de 22.1 mV y tierra + compost fue de 35.4 mV. Finalmente, en suelo inundado el voltaje máximo para la PMFC de tierra sola fue de 28.4 mV y en tierra + compost fue de 148.2 mV. Cabe resaltar que en el rango de temperatura media los valores disminuyeron, pero no con tanta celeridad como en el caso de la temperatura alta que se detalla a continuación:

Los voltajes mínimos se registraron a una temperatura de 30 ° C a 36 ° C, con 10.8 mV en suelo seco para la PMFC de tierra sola y 27.2 mV en tierra + compost, luego en suelo húmedo el voltaje mínimo fue de 21.1 mV para la PMFC de tierra sola y 34.5 mV en la PMFC de tierra + compost. Y finalmente, en suelo inundado el voltaje mínimo registrado en la PMFC de tierra sola fue de 26.3 mV, y en tierra + compost de 83.2 mV.

Es importante saber que la densidad de potencia obtenida es hallada de los mismos valores del voltaje extraídos de manera semanal por ello es que tienen similitud en las gráficas.

4.4 Efectos de la cantidad de agua en el suelo para *Nephrolepis exaltata* *Bostoniensis* en la generación de bioelectricidad

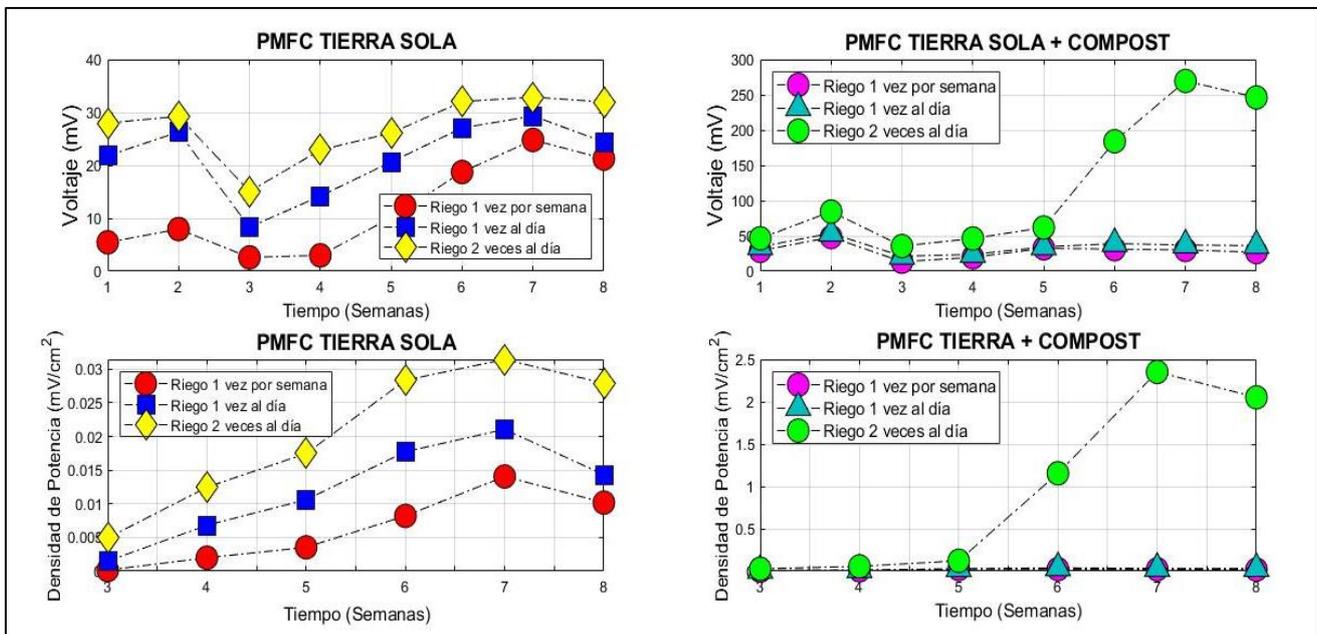


Figura 8. Voltaje y densidad de potencia vs. Cantidad de agua para PMFC de tierra y PMFC tierra + compost Fuente: elaboración propia

En este caso al aplicar tres tipos de riego: 1 vez por semana, 1 vez al día y 2 veces al día; al inicio del estudio se enviaron a analizar las muestras de suelo tanto para las PMFC de tierra sola como para las PMFC de tierra + compost y tal como se observa en la tabla se obtuvieron esos resultados:

Tabla 6. Análisis de humedad 3 tipos de riego en tierra y compost

Tipo de PMFC	Tierra sola			Tierra + compost		
	Riego 1 vez por semana	Riego 1 vez al día	Riego 2 veces al día	Riego 1 vez por semana	Riego 1 vez al día	Riego 2 veces al día
Cantidad de agua						
Humedad (%)	11	32.29	45.60	17.03	32.67	48.05

Fuente: elaboración propia

Después de dos meses se obtuvieron valores generales de voltaje donde se observó que existía una mayor cantidad de voltaje en los grupos de maceta con riego 2 veces al día, ya que para las PMFC de tierra sola los rangos desde la semana 1 hasta la semana 8 fueron de: 28 mV, 29.3 mV en estas dos primeras semanas las PMFC pasaron un proceso de aclimatación de las bacterias del suelo, ya que a partir de la 3era semana se colocaron los resistores de 100 Ω , es aquí en donde ocurre la reducción en la cantidad de voltaje debido a que los resistores funcionan como reductores de corriente para convertir la energía eléctrica en energía calorífica, en la tercera semana y en adelante los valores de voltaje fueron: 15.1 mV, 22.9 mV, 26.1 mV, 32 mV, 32.9 mV y 32 mV. En cuanto a la cantidad de voltaje generado en las PMFC de tierra + compost este tuvo rangos de: 46.6 mV, 84.5, 35.6 mV, 46.4 mV, 61.9 mV, 184.1 mV, 269.6 mV y 246.2 mV. En este punto es necesario precisar que se observó una reducción en la cantidad de voltaje a partir de la 8 va semana, esto puede deberse a la oxidación de los cables eléctricos o también, que la tela de fibra de carbono que cumple la función de cátodo y ánodo deba cambiarse por una nueva debido a la cantidad de días a los que ha estado expuesta la PMFC y las condiciones naturales ambientales.

4.5 Efectos del compost en el suelo de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* para la generación de bioelectricidad

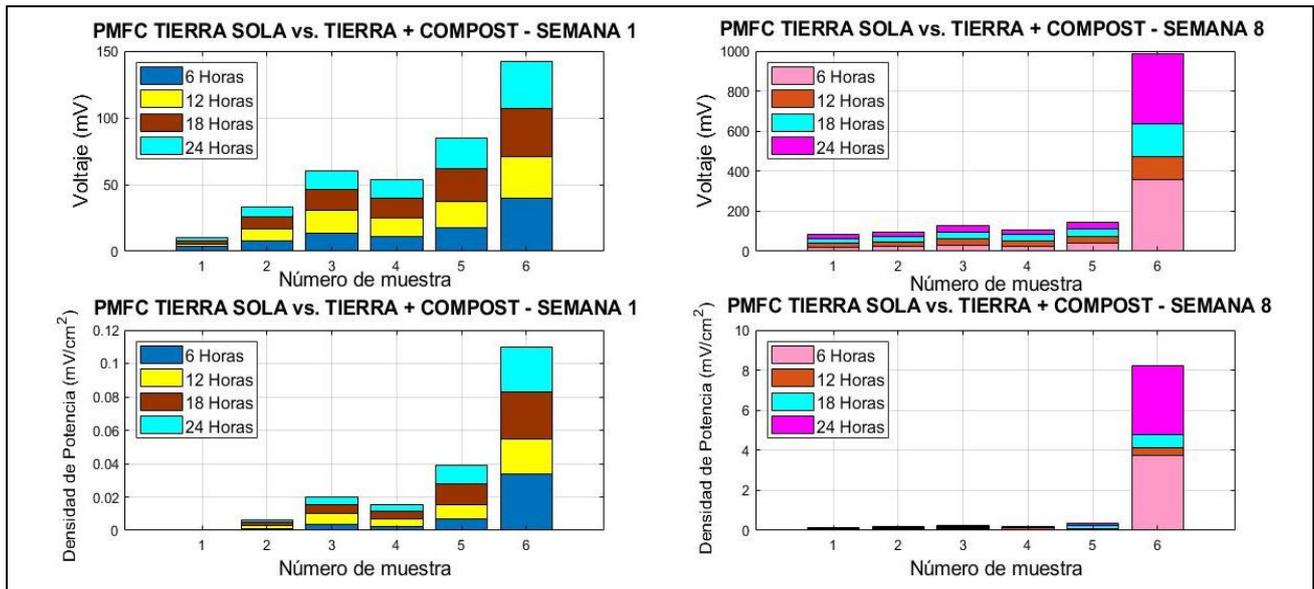


Figura 9. Voltaje y densidad de potencia vs. PMFC de tierra y PMFC tierra + compost Fuente: elaboración propia

En este punto se realizó una comparación entre las PMFC de tierra sola y las PMFC de tierra + compost haciendo un esquema de la 1era y 8va semana de estudio, por lo que se observa ambas tienen la misma tendencia en donde los 3 primeros grupos corresponden a la PMFC de tierra sola y los 3 últimos a la PMFC de tierra + compost. En la primera semana se observaron valores sumados durante 24 hrs. de: 21.8 mV, 87.3 mV y 112 mV, respectivamente para los 3 primeros grupos de macetas con tierra sola, mientras que los tres últimos grupos de tierra + compost los valores fueron de 115.5 mV, 138.7 mV y 186.5 mV. Evidenciando una marcada diferencia entre ambas cantidades que indican que las PMFC de tierra + compost generan mayor cantidad de voltaje. Si bien es cierto en la última semana los valores aumentan debido a condiciones como el crecimiento de la planta, la aclimatación de las bacterias en el suelo, factores de luz, entre otros es necesario precisar que las muestras que tuvieron un aumento significativo son las PMFC de tierra + compost con riego 2 veces al día que ocupa la muestra N^o 6, con un valor total sumado de 984.8 mV durante las 24 hrs. como promedio final durante la semana 8.

Prueba de Normalidad

La prueba de normalidad que se aplicó fue Shapiro-Wilk ya que se utiliza para tamaños de muestra menores o iguales a 50. Esta prueba fue la primera prueba que pudo detectar desviaciones de la normalidad debido a asimetría o curtosis, o ambas (González-Estrada y Cosmes, 2019, p. 3258).

Prueba de normalidad para el voltaje final obtenido promediando las 8 semanas

Tabla 7. Prueba de normalidad de Shapiro –Wilk por cada grupo de macetas - voltaje

	Con / Sin compost	N.º de grupo	SHAPIRO - WILK		
			Estadístico	gl	Sig.
VOLTAJE (mV)	SIN	Grupo 1	0.89127	3	0.2405
		Grupo 2	0.92484	3	0.4703
		Grupo 3	0.872	3	0.1576
	CON	Grupo 4	0.93037	3	0.5194
		Grupo 5	0.91045	3	0.3572
		Grupo 6	0.83366	3	0.0648
	Temperatura Ambiente (°C)	N.º de grupo	SHAPIRO - WILK		
	T 1: 17 - 18	Grupo 1	0.89286	3	0.3631
		Grupo 2	0.94937	3	0.5665
	T 2: 20 - 23	Grupo 3	0.85465	3	0.253
		Grupo 4	0.83855	3	0.2103
	T 3: 30 - 36	Grupo 5	0.90672	3	0.4072
		Grupo 6	0.98068	3	0.7337
	Cantidad de agua	N.º de grupo	SHAPIRO - WILK		
	1 vez a la sem. 1000 mL	Grupo 1	0.89127	3	0.2405
		Grupo 2	0.92484	3	0.4703
	1 vez al día 1750 mL	Grupo 3	0.872	3	0.1576
		Grupo 4	0.93037	3	0.5194
	2 veces al día 2100 mL	Grupo 5	0.91045	3	0.3572
		Grupo 6	0.83366	3	0.0648
	Horas	N.º de grupo	SHAPIRO - WILK		
	Horas Diurnas	Grupo 1	0.86037	3	0.2616
		6 h / 12 h	Grupo 2	0.78544	3
			Grupo 3	0.83899	3
Horas Nocturnas	Grupo 4	0.7855	3	0.07866	
18 h / 24 h	Grupo 5	0.91552	3	0.5121	
	Grupo 6	0.90297	3	0.446	

Fuente. Programa estadístico R Studio

a) Prueba de hipótesis

H0: Los datos del voltaje final obtenido proceden de una distribución normal.

H1: Los datos del voltaje final obtenido no proceden de una distribución normal.

b) Regla de decisión

Sig < 0,05. Rechazamos la H0:

c) Resultado /Conclusión

P valor mayor de 0,05 entonces no rechazamos la H0. Los datos del voltaje final obtenido proceden de una distribución normal.

Prueba de normalidad para la densidad de potencia final obtenida promediando las 8 semanas

Tabla 8. Prueba de normalidad de Shapiro –Wilk por cada grupo de macetas – densidad de potencia

	Con / Sin compost	N.º de grupo	SHAPIRO - WILK		
			Estadístico	gl	Sig.
DENSIDAD DE POTENCIA (mV/cm ²)	SIN	Grupo 1	0.96579	3	0.8631
		Grupo 2	0.98071	3	0.955
		Grupo 3	0.89959	3	0.3715
	CON	Grupo 4	0.91924	3	0.4999
		Grupo 5	0.88758	3	0.3057
		Grupo 6	0.82895	3	0.1053
	Temperatura Ambiente (°C)	N.º de grupo	SHAPIRO - WILK		
			Estadístico	gl	Sig.
	T 1: 17 - 18	Grupo 1	1	3	1
		Grupo 2	0.96429	3	0.6369
	T 2: 20 - 23	Grupo 3	0.96429	3	0.6369
		Grupo 4	0.98684	3	0.7804
T 3: 30 - 36	Grupo 5	0.99324	3	0.8428	
	Grupo 6	0.94013	3	0.5279	
Cantidad de agua	Nº de grupo	SHAPIRO - WILK			
		Estadístico	gl	Sig.	

	1 vez a la sem. 1000 mL	Grupo 1	0.96579	3	0.8631
		Grupo 2	0.98071	3	0.955
	1 vez al día 1750 mL	Grupo 3	0.89959	3	0.3715
		Grupo 4	0.91924	3	0.4999
	2 veces al día 2100 mL	Grupo 5	0.88758	3	0.3057
		Grupo 6	0.82895	3	0.1053
	Horas	Nº de grupo	SHAPIRO - WILK		
			Estadístico	gl	Sig.
	Horas Diurnas	Grupo 1	0.94466	3	0.683
	6 h / 12 h	Grupo 2	0.86337	3	0.2725
		Grupo 3	0.80056	3	0.1032
	Horas Nocturnas	Grupo 4	0.86038	3	0.2616
	18 h / 24 h	Grupo 5	0.86298	3	0.271
		Grupo 6	0.87605	3	0.3221

Fuente. Programa estadístico R Studio

a) Prueba de hipótesis

H0: Los datos de densidad de potencia obtenidos proceden de una distribución normal.

H1: Los datos de densidad de potencia obtenidos no proceden de una distribución normal.

b) Regla de decisión

Sig < 0,05. Rechazamos la H0:

c) Resultado /Conclusión

P valor mayor de 0,05 entonces no rechazamos la H0. Los datos de densidad de potencia obtenidos proceden de una distribución normal.

a) Prueba de Hipótesis

H0: Las variaciones en el ritmo circadiano de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, incrementan la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.

H1: Las variaciones en el ritmo circadiano de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, no incrementan la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.

b) Regla de decisión

Sig < 0,05. Rechazamos la H0

c) Resultado /Discusión:

P valor mayor de 0,05 entonces no rechazamos la H0. Las variaciones en el ritmo circadiano de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, incrementan la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.

Tabla 9. Prueba de T-Student - voltaje

Ritmo circadiano vs. Voltaje						
Pares	Media	95 % de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig.
X Y	39,96667 42,16833	Inferior -36,29677	Superior 31,89344	-0.13393	2	0.8947

Fuente. Programa estadístico R Studio

Tabla 10. Prueba de T-Student – densidad de potencia

Ritmo circadiano vs. Densidad de Potencia						
Pares	Media	95 % de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig.
X Y	0,16400 0,18325	Inferior -0,374525	Superior 0,336025	-0,11237	2	0,9115

Fuente. Programa estadístico R Studio

a) Prueba de Hipótesis

H0: Las fluctuaciones en la temperatura durante la fotosíntesis de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, incrementan la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.

H1: Las fluctuaciones en la temperatura durante la fotosíntesis de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, no incrementan la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.

b) Regla de decisión

Sig < 0,05. Rechazamos la H0, las diferencias entre alguna de las medias son estadísticamente significativas

c) Resultado /Discusión:

P valor mayor de 0,05 entonces no rechazamos la H0. Las diferencias entre las medias no son estadísticamente significativas

Las fluctuaciones en la temperatura durante la fotosíntesis de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, incrementan la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.

Tabla 11. Prueba de ANOVA de un factor - voltaje

Temperatura vs. Voltaje					
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	447	2	223,6	0,152	0,86
Residual	22,054	15	1470,3		
Total	22,501	17			

Fuente. Programa estadístico R Studio

Tabla 12. Prueba de ANOVA de un factor – densidad de potencia

Temperatura vs. Densidad de potencia					
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,1056	2	0,05281	0,383	0,689
Residual	2,0704	15	0,13803		
Total	2,176	17			

Fuente. Programa estadístico R Studio

a) Prueba de Hipótesis

H0: La cantidad de agua en el suelo para *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, incrementa la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.

H1: La cantidad de agua en el suelo para *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, no incrementa la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.

b) Regla de decisión

Sig < 0,05. Rechazamos la H0, las diferencias entre alguna de las medias son estadísticamente significativas

c) Resultado /Discusión:

P valor mayor de 0,05 entonces no rechazamos la H0. Las diferencias entre las medias no son estadísticamente significativas.

La cantidad de agua en el suelo para *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, incrementa la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.

Tabla 13. Prueba de ANOVA de un factor - voltaje

Cantidad de Agua vs. Voltaje					
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	17,495	7	2,499	0,868	0,54
Residual	115,171	40	2,879		
Total	132,666	47			

Fuente. Programa estadístico R Studio

Tabla 14. Prueba de ANOVA de un factor – densidad de potencia

Cantidad de Agua vs. Densidad de Potencia					
Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	0,983	5	0,1966	0,652	0,662
Residual	9,043	30	0,3014		
Total	10,026	35			

Fuente. Programa estadístico R Studio

a) Prueba de Hipótesis

H0: El compost en el suelo de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, incrementa la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.

H1: El compost en el suelo de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, no incrementa la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.

b) Regla de decisión

Sig < 0,05. Rechazamos la H0

c) Resultado /Discusión:

P valor mayor de 0,05 entonces no rechazamos la H0. El compost en el suelo de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, incrementa la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.

Tabla 15. Prueba de T-Student -voltaje

Compost vs. Voltaje						
Pares	Media	95 % de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig.
X Y	20,18333 61,95417	Inferior -71,13808	Superior 12,40358	-2,9363	2	0,07237

Fuente. Programa estadístico R Studio

Tabla 16. Prueba de T-Student – densidad de potencia

Compost vs. Densidad de Potencia						
Pares	Media	95 % de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig.
X Y	0,01366667 0,33433333	Inferior -0,68441295	Superior 0.04307962	-1.8599	2	0,08029

Fuente. Programa estadístico R Studio

V. DISCUSIÓN

En los resultados se evidenció que a partir de los primeros rayos de luz esto quiere decir 6 AM hubo picos elevados de voltaje esto debido al factor luz (sol), las plantas fotosintéticas en una PMFC producen materiales orgánicos y los liberan en el suelo a través de sus raíces (Sophia y Sreeja, 2017, p. 63), que en contacto con las bacterias electroquímicamente activas del suelo forman la producción de electrones y protones, que propician la energía eléctrica. Luego la ocurrencia de la caída en el voltaje a las 12 PM puede deberse al exceso de la radiación del sol ya que, en entornos naturales, la humedad relativa normalmente disminuye durante el día a medida que la superficie se calienta por absorción de radiación solar, calentando el aire cercano a la superficie (Kleidon, 2021, p. 4). Esto provoca que el aire sea más seco e impulse la transpiración de la planta, perdiendo agua y al perderla en exceso provoca que las estomas se cierren, se interrumpa la fotosíntesis limitando el ingreso de CO_2 , reducción del contenido de pigmentos fotosintéticos clorofila, provocando también el color amarillento en las hojas (Xingyang et al., 2020, p. 2). Más tarde, según los resultados a las 6 PM la cantidad de voltaje tiende a subir esto puede deberse a que cuando la intensidad del sol disminuye, la humedad del aire se recupera haciendo que la planta se estabilice retornando a su proceso de fotosíntesis y recuperación.

Lo que ocurre en horas nocturnas a las 12 de la medianoche es que si bien es cierto en la mayoría de las PMFC la cantidad de voltaje disminuía, pero no en cantidades elevadas y esto puede deberse a que la planta *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, tiene una alta capacidad de retención de agua (Schall, Huo, y Chen, 2018, p. 2). Y por tanto es agradable a ambientes húmedos, por ello es que también en otros casos se observa un incremento en la cantidad de voltaje en horas oscuras.

En cuanto a los resultados obtenidos en la generación de bioelectricidad ligados con la temperatura se observó que la planta *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, tenía cantidades de voltaje elevado en temperaturas medias ($20^{\circ}C - 24^{\circ}C$) y bajas ($17^{\circ}C - 18^{\circ}C$). Esto puede deberse a que, las condiciones óptimas para el desarrollo y crecimiento de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, es en temperaturas de $18.3^{\circ}C$ a $23.8^{\circ}C$, aunque puede tolerar temperaturas

ligeramente más bajas y más altas sin embargo depende de la forma en que se cultive si es en ambientes interiores, en invernaderos o en espacios abiertos (Schall, Huo, y Chen, 2018, p. 3). Mientras que, en temperaturas altas que van de 30 ° C a 36 ° C las PMFC presentaron una reducción significativa en el voltaje esto puede ser debido a un proceso de fotoinhibición moderada, la cual es ocasionada por la alta intensidad de radiación y las altas temperaturas, dando como resultado una disminución de la capacidad fotosintética en muchas plantas (Qiao *et al.* 2020, p.10). Considerando que el Helecho de Boston es una planta ornamental, la exposición a altas temperaturas podría alterar su desarrollo y crecimiento.

Por otro lado, los resultados de voltaje relacionados con la cantidad de agua evidenciaron que existieron voltajes elevados con el tipo de riego 2 veces al día esto puede deberse a que el agua en el suelo, ayuda a promover un flujo suave de protones desde el ánodo al cátodo y garantiza la conductividad de las superficies de los electrodos. Esto también refleja los tipos de plantas adecuadas para las PMFC, que es preferible para plantas con alta humedad (Nguyen y Nitorisravut 2019, p. 243). En cuanto al riego 1 vez por semana, se obtuvieron voltajes reducidos y esto puede deberse a que el bajo contenido de agua en el suelo afecta la movilidad para el transporte de cationes (protones), por tanto, se reduce la estrecha relación entre la generación de energía y el contenido de humedad del suelo, con una mayor potencia obtenida a una mayor humedad del suelo (Tapia *et al.*, 2017, p. 206). Incluso se observó que el día en que se regaban las plantas de 1 vez por semana solo ese día había voltajes elevados a diferencia de otros días, lo que quiere decir que al interrumpir la suplementación de agua esta muestra una caída significativa en la generación de voltaje, acto seguido al ser regada se restablece.

Es importante tener en cuenta que a partir de la 8 va semana de investigación, los valores en la cantidad de voltaje empezaron a disminuir esto probablemente se debió a una serie de limitaciones impuestas por las comunidades bacterianas específicas que catalizan las reacciones anódicas y catódicas o el ensuciamiento del electrodo que impide la transferencia de electrones al electrodo que en este caso es el ánodo (Azri *et al.*, 2018, p. 258). Es necesario que cuando ocurran este tipo de casos se limpien los alambres eléctricos mediante pulido manual o

se cambien los electrodos para que la corriente se estabilice. Según Regmi *et al.* (2018, p. 7) otro factor importante es la vitalidad de las plantas ya que propicia la actividad catalítica en la cámara anódica, lo que mejora la actividad microbiana con la región de rizosfera bien desarrollada.

En este estudio, la planta *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* demostró un desarrollo y adaptabilidad prometedores. A lo largo del experimento estas siguieron creciendo incluso en condiciones climáticas ambientales más altas de que están acostumbradas sin efectos adversos. Por lo tanto, los Helechos de Boston pueden ser una planta apropiada para la operación de PMFC.

En cuanto a los resultados obtenidos en las PMFC de tierra sola y tierra + compost revelan una marcada diferencia entre ambos obteniéndose voltajes elevados en las PMFC de tierra + compost este comportamiento puede deberse a la presencia de minerales en el compost, que pueden mejorar la absorción de nutrientes por la planta y aumentar las reservas de alimentos en el rizoma, por lo que estas reservas fueron metabolizadas por bacterias, generando un mayor voltaje (Gómora *et al.* 2020, p. 233). Incluso, el efecto positivo del compost en la generación de voltaje ha sido reportado previamente por Moqsud *et al.* (2015, p. 63), trabajando con plantas de arroz y por Sophia y Sreeja (2017, p. 59), quienes estudiaron el uso de compost en un PMFC con *Canna Stuttgart* y *Trigonella foenumgraecum*, revelando que el compost orgánico mejoró la tasa de crecimiento de las plantas y la producción de bioenergía. En ese sentido, el compost orgánico no solo tendrá más nutrientes que permitirán un crecimiento más rápido a la planta, sino que también albergará zonas críticas con alta densidad de microflora del suelo, lo que significa una mayor acción en el PMFC. Estudios anteriores de Moqsud *et al.* (2015, p. 63) habían indicado que la adición de compost mejora los puntos calientes microbianos en el suelo, mejorando así el rendimiento del PMFC, esto quiere decir el compost acelera e intensifica los procesos e interacciones biogeoquímicas que ocurren en pequeños volúmenes del suelo.

Por otro lado, la investigación aporta un valor sustancial debido a que no existen investigaciones realizadas con la planta *Nephrolepis exaltata Bostoniensis*, la metodología empleada utilizó 18 plantas ya que se realizaron repeticiones; de esta manera la investigación aporta mayor confiabilidad en los resultados. Las

PMFC estaban constituidas de la planta ornamental, tierra, compost, cables eléctricos y tela de fibra de carbono que según investigaciones anteriores determinaron que las raíces de las plantas podían crecer libremente sin ningún efecto negativo debido a la presencia de fibra de carbono. Por tanto, utilizarla como electrodo, permite que no existan problemas como el impedimento del crecimiento de la raíz. En cuanto a su metodología y funcionalidad, se buscó determinar el comportamiento de *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* y su interacción con el suelo en la generación de bioelectricidad, por ello se agregaron factores de estudio a la PMFC ya que el proceso de fotosíntesis, propiciador de esta energía renovable es amplio y puede verse afectado por factores naturales como la cantidad de agua, nutrientes minerales del suelo, temperatura y el factor luz todos ellos le otorgan una gama amplia de explorar a los resultados de la investigación, por eso fueron considerados. De esta manera se pudo observar cual era la celda de combustible planta microbiana con mayor generación de voltaje en los tres distintos tipos de riego; así como también determinar las diferencias entre los resultados del voltaje generado en la PMFC con tierra sola y PMFC de tierra + compost, e incluso cuantificar la reacción de las plantas a través de su voltaje en relación a los factores de luz y temperatura a los cuales estaba expuesta de manera natural.

En otras palabras, la comparación de los resultados de esta y otras investigaciones indican que las plantas ornamentales estudiadas pueden generar energía, pero los valores son bajos en comparación con otras investigaciones, probablemente porque la especie *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* tiende a ser de características y dimensiones pequeñas, propias de una planta ornamental. Sin embargo, la especie utilizada en este estudio puede usarse para iluminar apartamentos empleando bacterias electroquímicamente activas seleccionadas que quiere decir aislar microorganismos electroactivos responsables de la actividad eléctrica e inyectarlos en las celdas de combustible para mejorar su potencia de salida (Azri *et al.* 2018, p. 259). E incluso se podrían incorporar pequeños paneles solares en la maceta que le permitan captar mayor energía del sol y almacenarla.

La importancia científica y social del proyecto radica en que la especie *Nephrolepis exaltata Bostoniensis* no ha sido estudiada para fines concernientes

a la generación de bioelectricidad y aporta un proceso innovador en la obtención de energía renovable para hogares vulnerables que no cuentan con este servicio básico; cabe resaltar que los estudios concernientes a esta especie indican que funciona como agente de bioacumulación en sus hojas de material particulado PM 10 y PM 2.5, por lo que no solo beneficiaría a la población con su aporte energético, sino que ayudaría a limpiar ambientes de espacios interiores.

VI. CONCLUSIONES

1. Se concluye que los factores fotosintéticos empleados en la investigación como el ritmo circadiano, la temperatura, disponibilidad hídrica y nutrientes minerales en el suelo tienen influencia directa en el proceso de fotosíntesis y por tanto en la generación de bioelectricidad, el comportamiento de la planta frente a ciertas condiciones depende mucho de la especie que se utilice por eso es necesario tener en cuenta sus características para poder someterlas a factores que no dañen su funcionalidad, en este caso se obtuvieron resultados óptimos en cuanto al incremento en la generación de voltaje bajo los tres tipos de riego que se emplearon, también al colocar compost en las PMFC incrementó la cantidad de voltaje, para los factores naturales como la temperatura y ritmo circadiano que básicamente se encargaba de medir la generación de bioelectricidad en horas diurnas y nocturnas, se verificó una diferencia de voltajes entre las horas de luz y oscuridad, mientras que para la temperatura la planta tenía una mejor reacción a cantidades que iban desde los 17 ° C a 24 ° C para generar electricidad en forma de voltaje con valores óptimos.
2. Se identificó que particularmente en esta investigación el voltaje generado en horas nocturnas era ligeramente mayor que en horas diurnas, lo cual se propicia por el grado de temperatura elevado a las 12 del mediodía (30 ° C – 36 ° C) que provocaba que el voltaje generado tenga una caída significativa. Sin embargo, esto no es ajeno a la realidad de otras investigaciones ya que se ha comprobado que en plantas ornamentales como *Canna stuttgart* la caída en el voltaje de las plantas se da por cambios bruscos en el cambio de temperatura, mostrando una producción

más estable con pocas fluctuaciones diurnas, mediante el sombreado de las plantas.

3. Se determinaron tres rangos de temperatura durante los dos meses de investigación que fueron divididos en temperatura baja ($17^{\circ}\text{C} - 18^{\circ}\text{C}$), temperatura media ($20^{\circ}\text{C} - 24^{\circ}\text{C}$) y temperatura alta ($30^{\circ}\text{C} - 36^{\circ}\text{C}$), demostrando que la planta *Nephrolepis exalata Bostoniensis* tenía una mayor adaptabilidad a las temperaturas medias y bajas, debido a las características propias de esta especie que le permiten adaptarse a temperaturas entre los 18°C a 24°C , la generación de voltaje en esos rangos fue elevada y óptima mientras que en temperaturas altas la planta pasaba por un proceso llamado fotoinhibición propiciado por altas temperaturas que provocan una disminución sostenida en la eficiencia fotosintética y productividad.
4. Se evidenció que la cantidad de agua en el riego de las plantas es un factor importante en la generación de bioelectricidad ya que permite el flujo libre de electrones y protones en el desplazamiento hacia el ánodo y cátodo, respectivamente. Además, el agua permite que exista una mayor conductividad eléctrica debido al contenido de sales pues este tiene la capacidad de dejar pasar la corriente eléctrica a través de él. En este caso de estudio se determinó que las plantas con riego 2 veces al día, tenían una mayor producción de voltaje en comparación con las plantas de riego 1 vez por semana ya que sin agua existe obstrucción en el desplazamiento de las cargas, además la fotosíntesis sin el recurso hídrico hace que disminuya la producción de materia orgánica ya que los poros de las hojas que captan la energía del sol se cierran para evitar la pérdida de agua, y por tanto impide que el proceso de fotosíntesis se complete.
5. En cuanto a los efectos del compost en el suelo se pudo observar que las PMFC de tierra + compost tenían un rendimiento mejorado en la cantidad de voltaje a diferencia de las PMFC de tierra sola, esto probablemente porque las celdas de combustible planta microbiana deben su eficiencia a la cantidad de materia orgánica que se produzca, mientras exista mayor cantidad de materia orgánica habrá mayor generación de electrones propiciadores de la corriente eléctrica, la fotosíntesis que produce materia

para las plantas sumado a los macros y micro nutrientes del compost incrementan esta cantidad de materia orgánica haciendo que haya diferencias sustanciales entre las PMFC que tienen compost y las que no lo tienen.

VI. RECOMENDACIONES

1. Para este estudio se determinó la influencia de cuatro factores fotosintéticos sobre la generación de bioelectricidad durante el proceso de fotosíntesis, sin embargo, se propone a manera de recomendación añadir elementos de estudio como medir la humedad relativa del ambiente, añadir otros fertilizantes naturales como humus de lombriz, estiércol, entre otros que permitan observar las diferencias entre las cantidades de voltaje generado.
2. Cabe resaltar que, durante el proceso de toma de voltaje por acción del agua, los cables eléctricos se desconectaban en algunos casos de la tela de fibra de carbono, una opción viable sería colocar electrodos de grafito o láminas de grafito que de igual manera están hechos de carbono, estos funcionarían como cátodo por el contacto directo entre el agua y el ambiente.
3. Se recomienda abrir nuevas investigaciones en torno a la planta *Nephrolepis exalata Bostoniensis* pero esta vez en ambientes interiores o de sombra, que permitan determinar si la generación de bioelectricidad en horas diurnas es estable o se incrementa a diferencia de horas nocturnas.
4. También aplicar estudios en donde se creen circuitos eléctricos de plantas *Nephrolepis exalata Bostoniensis* que nos permitan observar que productos o elementos pueden funcionar con la energía proporcionada por la planta.
5. En cuanto a los instrumentos utilizados para aumentar la cantidad de voltaje en plantas ornamentales en este caso *Nephrolepis exalata Bostoniensis* se recomienda plantear la posibilidad de construir PMFC con macetas de barro e incorporar pequeños paneles solares que permitan la captación de sol, como un elemento de emergencia en el caso de que el

voltaje generado de manera natural por la fotosíntesis de las plantas no sea suficiente para encender o cargar algún elemento.

6. Se recomienda que proyectos como este que buscan proporcionar energías renovables y sostenibles en vías de mejorar la calidad del ambiente sean investigados a fondo por investigadores con el financiamiento del gobierno, de esta manera se ayudaría mucho a las poblaciones apartadas de las urbes, que no cuentan con este servicio básico.

REFERENCIAS

1. AGUILAR, Enrique. Determinación del estado sanitario de las plantas, suelo e instalaciones y elección de los métodos de control [en línea], 1.^{ra} ed. Málaga: IC Editorial, 2013 [fecha de consulta: 22 de abril de 2020]. Disponible en: <https://cutt.ly/3ytRrY0>
ISBN: 978-84-16067-05-3
2. AL-MAMUN, Albdullah [et al.]. A Review of Microbial Desalination Cell Technology: Configurations. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 183, 10 May 2018. [Fecha de consulta: 07 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.054>
ISSN: 0959-6526.
3. ALMAKHADMEH, M. y SOLIMAN A. M. Effects of mixing water temperatures on properties of one-part alkali-activated slag paste. *Construction and Building Materials* [en línea]., vol. 266, 10 January 2021. [Fecha de consulta: 06 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121030>
ISSN: 0950-0618
4. ANTONIA, Odagiu [et al.]. Testing *Nephrolepis exaltata* (L.) Schott. Ability to Be Used as Indoor Air Quality Biomonitoring Agent. *ProEnvironment* [en línea]., vol. 12, no. 39, 30 September 2019. [Fecha de consulta: 16 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://journals.usamvcluj.ro/index.php/promediu/article/view/13448/0>

5. ARIAS, Fidias. El Proyecto de Investigación: Introducción a la Metodología científica [en línea], 6.^{ta} ed. Caracas: Editorial Episteme C.A, 2012 [fecha de consulta: 18 de abril de 2020]. Disponible en: <https://cutt.ly/bt5ty21>
ISBN: 980-07-8529-9
6. AZCÓN-BIETO, Joaquín [et al.] [en línea]. 2.^{da} ed. Madrid: Universidad de Barcelona, 2008 [fecha de consulta: 17 de marzo de 2020]. Capítulo 13: Fotosíntesis, factores ambientales y cambio climático. Disponible en: <http://biblio3.url.edu.gt/Publi/Libros/2013/FisioVegetal/13.pdf>
ISBN: 978-84-481-9293-8
7. AZRI, Yamina Mounia [et al.]. Bioelectricity generation from three ornamental plants: Chlorophytum comosum, Chasmanthe floribunda and Papyrus diffusus. *International Journal of Green Energy* [en línea], vol. 15, no. 4, 12 de febrero de 2018. [Fecha de consulta: 29 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15435075.2018.1432487>.
ISSN: 1543-5075.
8. BORNSTEIN, Marc H.; JAGER, Justin y PUTNICK, Diane L. Sampling in developmental science: Situations, shortcomings, solutions, and standards. *Developmental Review* [en línea], vol. 33, no. 4, December 2013. [Fecha de consulta: 19 de abril de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dr.2013.08.003>.
ISSN: 0273-2297
9. Cambiar nuestra matriz energética [en línea]. El peruano. 24 de octubre de 2019. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://elperuano.pe/noticia-cambiar-nuestra-matriz-energetica-85754.aspx>
10. CHICANO, Ester. Gestionar el crecimiento y las condiciones ambientales [en línea], 1.^{ra} ed. Málaga: IC Editorial, 2014 [fecha de consulta: 21 de abril de 2020]. Disponible en: <https://cutt.ly/7ye53uJ>
ISBN: 978-84-16629-07-7
11. CHAN, Man Ching Esther y CLARKE, David. Learning, Culture and Social Interaction Multi-theoretic research involving classroom video analysis: A focus on the unit of analysis. *Learning, Culture and Social Interaction* [en

- línea]., vol. 8, september 2019. [Fecha de consulta: 20 de abril de 2020].
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2019.100344>.
ISSN: 2210-6561
12. DE ÁVILA, Lucas [et al.]. Nitrogen differentially modulates photosynthesis, carbon allocation and yield related traits in two contrasting Capsicum chinense cultivars. *Plant Science* [en línea], vol. 283, June 2019. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2019.02.014>
ISSN: 0168-9452
13. DHAR, Bipro Ranjan [et al.]. Hydrogen production from sugar beet juice using an integrated biohydrogen process of dark fermentation and microbial electrolysis cell. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 198, December 2015. [Fecha de consulta: 24 de abril de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.048>
ISSN: 0960-8524
14. EIA U.S Energy Information Administration. Renewable & alternative fuels. Julio de 2015. Disponible en: <https://www.eia.gov/international/analysis/country/PER>
15. FU, Juanjuan [et al.]. Diffusion limitations and metabolic factors associated with inhibition and recovery of photosynthesis following cold stress in Elymus nutans Griseb. *Journal of Photochemistry & Photobiology, B: Biology* [en línea], vol. 163, October 2016. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2016.08.008>
ISSN: 1011-1344
16. GERSBACH, Hans; SORGER, Gerhard y AMON, Christian. Journal of Economic Dynamics & Control Hierarchical growth: Basic and applied research R. *Journal of Economic Dynamics and Control* [en línea], vol. 90, May 2018. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jedc.2018.03.007>
ISSN: 0165-1889
17. GILANI, Syeda Rubina [at al.]. Photocurrent Generation through Plant Microbial Fuel Cell by Varying Electrode Materials. *Journal of the Chemical Society of Pakistan* [en línea], vol. 38, no. 01, 29 February 2016. [Fecha de consulta: 07 de abril de 2020]. Disponible en:

[https://jcsp.org.pk/PublishedVersion/6e9d5141-7227-41d9-8f66-b8b786e2d805Manuscript%20no%203,%20Final%20Gally%20proof%20of%2010580%20\(Syeda%20Rubina%20Gilani\).pdf](https://jcsp.org.pk/PublishedVersion/6e9d5141-7227-41d9-8f66-b8b786e2d805Manuscript%20no%203,%20Final%20Gally%20proof%20of%2010580%20(Syeda%20Rubina%20Gilani).pdf)

ISSN: 02535106

18. GÓMORA, J.C. Voltage Production In A Plant-Microbial Fuel Cell Using *Agapanthus africanus*. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* [en línea], vol. 19, no. 1, 15 June 2019. [Fecha de consulta: 17 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.24275/rmiq/IA542>

ISSN: 2395-8472

19. GONZÁLEZ-ESTRADA, Elizabeth y COSMES, Waldenia. Shapiro–Wilk test for skew normal distributions based on data transformations. *Journal of Statistical Computation and Simulation* [en línea]., vol. 89, no. 17, 27 Aug 2019. [Fecha de consulta: 03 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00949655.2019.1658763>

ISSN: 0094-9655

20. GREENHAM, Kathleen y MCCLUNG, Robertson. Integrating circadian dynamics with physiological processes in plants. *Nature Reviews Genetics* [en línea]., vol. 16, 15 September 2015. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nrg3976>

ISSN: 1471-0064

21. KABUTEY, Felix Tetteh [et al.]. An overview of plant microbial fuel cells (PMFCs): Configurations and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]., vol. 110, August 2019. [Fecha de consulta: 08 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.016>

ISSN: 1364-0321

22. KHUDZARI, Jauharah Md [et al.]. Effects of biochar anodes in rice plant microbial fuel cells on the production of bioelectricity, biomass, and methane. *Biochemical Engineering Journal* [en línea], vol. 141, no. 1, 15 January 2019. [Fecha de consulta: 29 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bej.2018.10.012>.

ISSN: 1369-703X.

23. KHUDZARI, J. Md, [et al.]. Biomass and Bioenergy Effects of salinity, growing media, and photoperiod on bioelectricity production in plant

- microbial fuel cells with weeping alkaligrass. *Biomass and Bioenergy* [en línea]., vol. 109, no. 21. February 2018. [Fecha de consulta: 29 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.12.013>.
ISSN: 0961-9534.
24. KING, Andrew P. y ECKERSLEY, Robert J. Inferential Statistics I: Basic Concepts [en línea]. United States: Elsevier, 2019. [fecha de consulta: 11 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102939-8.00013-X>
ISBN: 978-0-08-102939-8
25. KIM, Ju-Hyoung; LAM, Sao Mai N. y KIM, Kwang Young. Photoacclimation strategies of the temperate coralline alga *Corallina officinalis*: a perspective on photosynthesis, calcification, photosynthetic pigment contents and growth. *Algae* [en línea], vol. 28, no. 4, 11 November 2013. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4490/algae.2013.28.4.355>
ISSN: 12262617
26. KLEIDON, Alex. What limits photosynthesis? Identifying the thermodynamic constraints of the terrestrial biosphere within the Earth system. *BBA – Bioenergetics* [en línea], vol. 1862, no. 1. 1 January 2021. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2020.148303>
ISSN: 0005-2728
27. LI, Ming [et al.]. Microbial fuel cell (MFC) power performance improvement through enhanced microbial electrogenicity. *Biotechnology Advances* [en línea], vol. 36, no. 4, 03 May 2018. [Fecha de consulta: 14 de abril de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.04.010>
ISSN: 0734-9750
28. LÓPEZ, M. VEIGAS, M. y IGLESIAS, G. On the wave energy resource of Peru. *Energy Conversion and Management* [en línea], vol. 90, 15 January 2015. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.11.012>
ISSN: 0196-8904
29. LOZANO, William. Calidad fisicoquímica del agua.: Métodos simplificados para su muestreo y análisis [en línea], 1.^{ra} Ed. Bogotá: Universidad Piloto

- de Colombia, 2013 [fecha de consulta: 22 de abril de 2020]. Disponible en: <https://cutt.ly/DytUW5U>
ISBN: 978-958-8957-28-9
30. LUCAS, Hugo; DEL RIO, Pablo y CABEZA, Luisa. Energy for Sustainable Development Stand-alone renewable energy auctions: The case of Peru. *Energy for Sustainable Development* [en línea]., vol. 55, 24 February 2020. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.esd.2020.01.009>.
ISSN: 0973-0826
31. MCWILLIAMS, Andrew [et al.]. Combining Lean and Applied Research methods to improve rigor and efficiency in acute care outcomes research: A case study. *Contemporary Clinical Trials Communications*. [en línea]., vol. 14, June 2019. [Fecha de consulta: 25 de junio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.conctc.2019.100322>
ISSN: 2451-8654
32. MIAO, Yuanyuan [et al.]. Moderate drought followed by re-watering initiates beneficial changes in the photosynthesis, biomass production and Rubiaceae-type cyclopeptides (RAs) accumulation of *Rubia yunnanensis*. *Industrial Crops & Products* [en línea]., vol. 148, June 2020. [Fecha de consulta: 08 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112284>
ISSN: 0926-6690
33. MINEM. Dirección general de Electricidad MINEM. Mayo de 2014. Disponible en: <http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/Anuario%20Ejecutivo%20de%20Electricidad%202013-%20Ver-final.pdf>
34. MISHRA, Bharat; AWASTHI, Sanjay Kumar y RAJAK, Raj Kumar. A Review on Electrical Behavior of Different Substrates, Electrodes and Membranes in Microbial Fuel Cell. *International Journal of Energy and Power Engineering* [en línea], vol. 129, no. 9. Agosto de 2017. [Fecha de consulta: 05 de mayo de 2020]. Disponible en: doi.org/10.5281/zenodo.1132290
35. MONTPART, Nuria [et al.]. Hydrogen production in a single chamber microbial electrolysis cells with different complex substrates. *Water*

- Research* [en línea], vol. 68, 1 January 2015. [Fecha de consulta: 24 de abril de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2014.10.026>
ISSN: 0043-1354
36. MOQSUD, M. Azizul [et al.]. Environmental Effects Green electricity by water plants in organic soil and marine sediment through microbial fuel cell. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* [en línea], vol. 39, no. 2, 10 Feb 2017. [Fecha de consulta: 04 de abril de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/15567036.2016.1159263>
ISSN: 1556-7036
37. MOQSUD, M. A. [et al.]. Compost in plant microbial fuel cell for bioelectricity generation. *Waste Management* [en línea], vol. 36, February 2015. [Fecha de consulta: 21 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.004>
ISSN: 0956-053X
38. NGUYEN, Vinh y NITISORAVUT, Rachnarin. Bioelectricity Generation in Plant Microbial Fuel Cell Using Forage Grass under Variations of Circadian Rhythm, Ambient Temperature-, and Soil Water Contents. *2019 IEEE Asia Power and Energy Engineering Conference (APEEC)*, 23 May 2019. Disponible en: <https://10.1109/APEEC.2019.8720344>
39. NITISORAVUT, Rachnarin y REGMI, Roshan. Plant microbial fuel cells: A promising biosystems engineering. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], vol. 76, September 2017. [Fecha de consulta: 08 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.064>
ISSN: 1364-0321
40. ÑAUPAS, Humberto, MEJÍA, Elías, NOVOA, Eliana, VILLAGÓMEZ Alberto. Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis [en línea], 4.^{ta} Ed. Bogotá: Ediciones de la U, 2014 [Fecha de consulta: 21 de abril de 2020]. Disponible en: <https://cutt.ly/nywX62a>
ISBN: 978-958-762-188-4

41. ORTEGA, Gabriel. Cómo se genera una investigación científica que luego sea motivo de publicación. *Journal of the Selva Andina Research Society* [en línea], vol. 8, no. 2, agosto 2017. [Fecha de consulta: 25 de junio de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2072-92942017000200008&script=sci_arttext&tlng=pt
ISSN 2072-9294
42. OTZEN, Tamara y MANTEROLA, Carlos. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology* [en línea], vol. 35, no. 1, March 2017. [Fecha de consulta: 14 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
ISSN: 0717-9502
43. PAMINTUAN, K.R.S [et al.]. Simultaneous phytoremediation of Ni²⁺ and bioelectricity generation in a plant-microbial fuel cell assembly using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* [en línea], vol. 191, no. 1, 1 October 2018. [Fecha de consulta: 04 de abril de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/191/1/012093>
44. PAMINTUAN, K., VIRATA, M. y YU M. Simultaneous phytoremediation of Cu²⁺ and bioelectricity generation in a plant-microbial fuel cell assembly growing *Azolla pinnata* and *Lemna minor*. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* [en línea], vol. 344, no. 1, 1 October 2019. [Fecha de consulta: 04 de abril de 2020]. Disponible en: <https://doi:10.1088/1755-1315/344/1/012021>
45. PANWAR, N. L.; KAUSHIK S. C. y KOTHARIDE Surendra. Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]., vol. 15, no. 13, 12 January 2011. [Fecha de consulta: 07 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.037>
46. PERAZA-BAEZA I. [et al.]. A mathematical model of the oscillations of pH for the anodic biofilm formation in a microbial fuel cell. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* [en línea], vol.15, no. 3, 26 June 2016. [Fecha de consulta: 24 de abril de 2020]. Disponible en: <http://rmiq.org/ojs311/index.php/rmiq/article/view/1032>

47. PETTIT, T. [et al.]. ¿Do the plants in functional green walls contribute to their ability to filter particulate matter?. *Building and Environment* [en línea], vol. 125, 6 September 2017. [Fecha de consulta: 05 de abril de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.09.004>
ISSN: 0360-1323
48. PRASETYO, Awal [et al.]. Nephrolepis exaltata Herbal Mask Increases Nasal IgA Levels and Pulmonary Function in Textile Factory Workers. *Advances in Preventive Medicine* [en línea]., vol. 2019, 9 December 2019. [Fecha de consulta: 16 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2019/5687135>
49. Qiao, Mei-Yu [et al.]. ¿Do rapid photosynthetic responses protect maize leaves against photoinhibition under fluctuating light? *Photosynthesis Research* [en línea], vol. 220, 11 August 2020 [Fecha de consulta: 07 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11120-020-00780-5>
50. REGMI, Roshan [et al.]. Earthen Pot–Plant Microbial Fuel Cell Powered by Vetiver for Bioelectricity Production and Wastewater Treatment. *Soil Air Water* [en línea], vol. 46, no. 3 March 2018. [Fecha de consulta: 29 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/clen.201700193>.
51. ROMERO, María Del Pilar; PUENTES, Yina Jazbleidi y MENJIVAR, Juan Carlos. Extraction of mineral nutrients in pepper (*Capsicum sp.*) leaves and fruits and its influence on yield. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas* [en línea], vol. 11, no. 1, enero-junio 2017. [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5809>
ISSN: 2011-2173
52. SARMA, Pranab Jyoti y MOHANTY, Kaustubha. Epipremnum aureum and Dracaena braunii as indoor plants for enhanced bio- electricity generation in a plant microbial fuel cell with electrochemically modified carbon fiber brush anode. *Journal of Bioscience and Bioengineering* [en línea], vol. 126, no. 3, 13 April 2018. [Fecha de consulta: 29 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2018.03.009>.

ISSN: 1389-1723

53. SCHALL, Bill; HUO, Heqiang y CHEN, Jianjun. Pautas culturales para la producción comercial de helechos de Boston (*Nephrolepis exaltata* 'Bostoniensis'). *EDIS* [en línea]., vol. 2018, no 1, 12 January 2018. [Fecha de consulta: 24 de abril de 2020]. Disponible en: <https://journals.flvc.org/edis/article/view/105205>
54. SCHWAB, Donald. *Research Methods for Organizational Studies* [en línea], 2.^{da} ed., New York: Lawrence Erlbaum Associates. Inc, 2013 [fecha de consulta: 19 de abril de 2020]. Disponible en: <https://cutt.ly/1t6z8AP>
ISBN: 0-8058-4727-8
55. SERAL, Andrea [et al.]. Desarrollo y reproducción de los gametófitos de dos especies chilenas de helechos, *Blechnum arcuatum* (Blechnaceae) y *Pteris semiadnata* (Pteridaceae). *Gayana Bot.* [en línea], vol. 73, no. 2. Diciembre 2016. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432016000200346>
ISSN: [0717-6643](https://doi.org/10.4067/S0717-6643)
56. SEO, Pil Joon y MAS, Paloma. STRESSing the role of the plant circadian clock. *Trends in Plant Science* [en línea], vol. 20, no. 4, April 2015. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.01.001>
ISSN: 1360-1385
57. SOPHIA, A. C. y SREEJA, S. Green energy generation from plant microbial fuel cells (PMFC) using compost and a novel clay separator. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* [en línea], vol. 21, June 2017. [Fecha de consulta: 2 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2017.05.001>.
ISSN: 2213-1388.
58. SRIVASTAVA, Deepti [et al.]. Role of circadian rhythm in plant system: An update from development to stress response. *Environmental and Experimental Botany* [en línea], vol. 162, June 2019. [Fecha de consulta: 13 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2019.02.025>
ISSN: 0098-8472

59. SRIVASTAVA, Pratiksha [et al.]. Up to 399 mV bioelectricity generated by a rice paddy - planted microbial fuel cell assisted with a blue - green algal cathode. *Environmental Chemistry Letters* [en línea], vol. 17, no. 2, 15 June 2019. [Fecha de consulta: 04 de abril de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10311-018-00824-2>.
ISSN: 1610-3661
60. STRIK, David [et al.]. Green electricity production with living plants and bacteria in a fuel cell. *International Journal Of Energy Research* [en línea], vol. 32, no. 9, 2 January 2008. [Fecha de consulta: 07 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/er.1397>
61. TAMBOLI, Ekant y ESWARI, J. Satya. Microbial Fuel Cell Configurations: An Overview [en línea]. Raipur, India: Microbial Electrochemical Technology, 2019 [fecha de consulta: 08 de mayo de 2020]. Capítulo 3.2: Microbial Fuel Cell Configurations. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64052-9.00016-9>
ISSN: 9780444640178
62. TAPIA, Natalia F. [et al.]. Evaluation of Sedum as driver for plant microbial fuel cells in a semi-arid green roof ecosystem. *Ecological Engineering* [en línea], vol. 108, no. 1, 03 September 2017. [Fecha de consulta: 29 de marzo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.08.017>.
ISSN: 0925-8574
63. TORRENTE, Óscar. Arduino curso práctico de formación [en línea], 1.^{ra} ed., Madrid: RC Libros, 2013 [fecha de consulta: 21 de abril de 2020]. Disponible en: <https://cutt.ly/xyeAl1L>
ISBN: 978-84-940725-0-5
64. XINGYANG, Song [et al.]. Stomatal limitations to photosynthesis and their critical Water conditions in different growth stages of maize under water stress. *Agricultural Water Management* [en línea]., vol. 241. 1 November 2020. [Fecha de consulta: 07 de octubre de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106330>
ISSN: 0378-3774

65. ZAMBRANO-MONSERRATE, Manuel [et al.]. Testing environmental Kuznets curve hypothesis in Peru: The role of renewable electricity, petroleum and dry natural gas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea]., vol. 82, no. 1, 08 December 2017. [Fecha de consulta: 05 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.11.005>
66. ZHANG, Quanguo; HU, Jianjun y LEE, Duu-Jong. Microbial fuel cells as pollutant treatment units: Research updates. *Bioresource Technology* [en línea]., vol. 2017, october de 2016, [Fecha de consulta: 07 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.02.006>
ISSN: 0960-8524
67. ZHENG, Wei [et al.]. Comparison of electrochemical performances and microbial community structures of two photosynthetic microbial fuel cells. *Journal of Bioscience and Bioengineering* [en línea]., vol. 124, no. 5, 16 June 2017. [Fecha de consulta: 05 de abril de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2017.05.013>
ISSN: 1389-1723

ANEXOS

Anexo N.º 1 Matriz de Operacionalización de las Variables

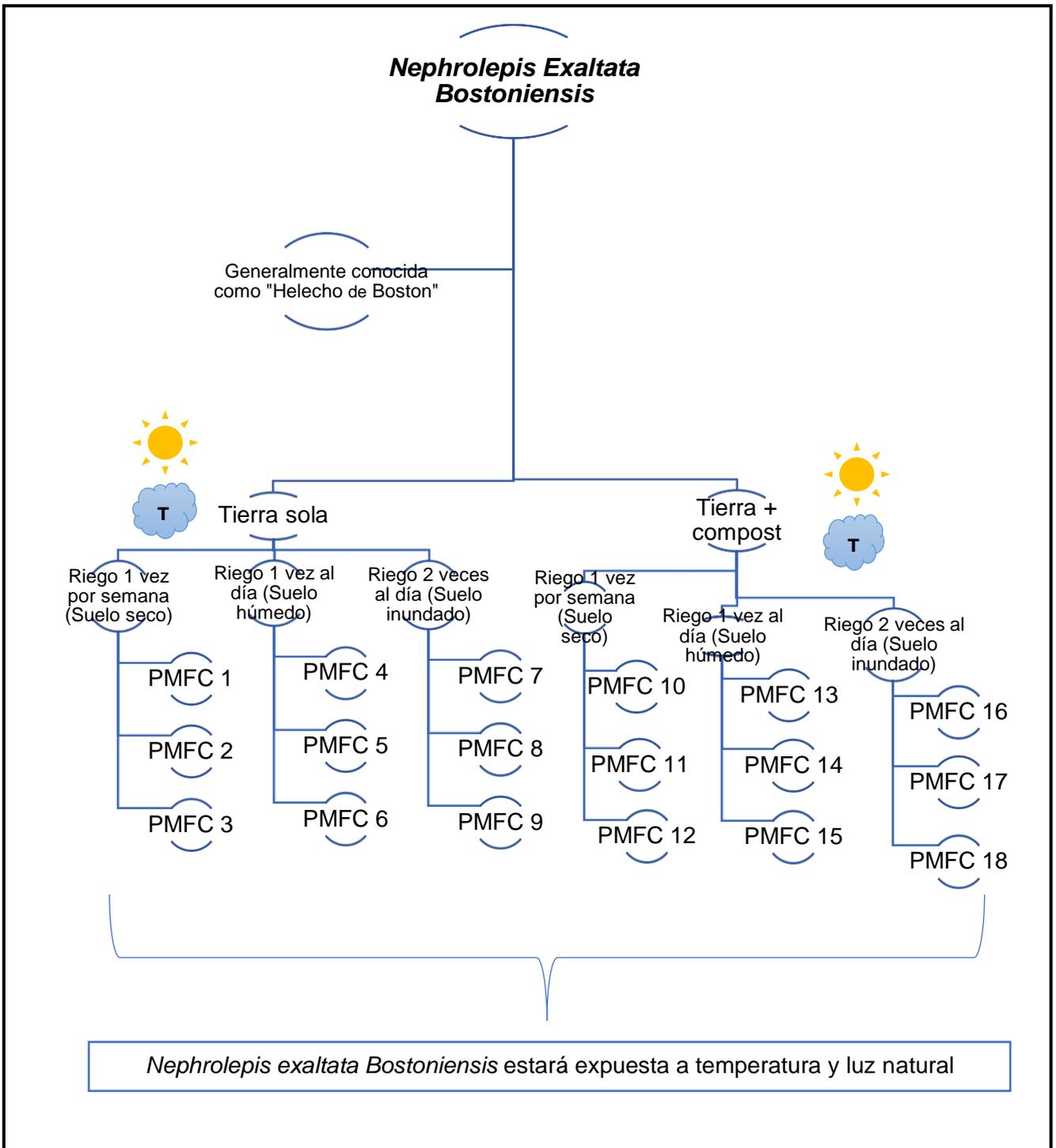
VARIACIONES EN LOS FACTORES FOTOSINTÉTICOS DE <i>NEPHROLEPIS EXALTATA BOSTONIENSIS</i> PARA LA GENERACIÓN DE BIOELECTRICIDAD EN UNA CELDA DE COMBUSTIBLE PLANTA MICROBIANA (PMFC), LIMA-2020								
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	MARCO CONCEPTUAL	OPERACIONALIZACIÓN DE LA VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
GENERAL ¿Cómo influyen las variaciones en los factores fotosintéticos de <i>Nephrolepis exaltata Bostoniensis</i> , para la generación de bioelectricidad en una celda de combustible planta microbiana (PMFC), Lima-2020?	GENERAL Evaluar cómo influyen las variaciones en los factores fotosintéticos de <i>Nephrolepis exaltata Bostoniensis</i> para la generación de bioelectricidad en una celda de combustible planta microbiana (PMFC), Lima-2020.	Las variaciones en los factores fotosintéticos de <i>Nephrolepis exaltata Bostoniensis</i> , incrementan la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.	INDEPENDIENTE FACTORES FOTOSINTÉTICOS DE NEPHROLEPIS EXALTATA BOSTONIENSIS	Azcón-Bieto et al., (2008, p. 275) sostiene que el proceso de fotosíntesis, debe funcionar de forma integrada y eficiente, entre el medio y la especie vegetal, existiendo una enorme variabilidad natural de factores que pueden afectar la fotosíntesis, tales como la luz, la temperatura, la humedad del aire, la disponibilidad hídrica y de nutrientes minerales en el suelo, etc. Por otro lado, <i>Nephrolepis exaltata (L) Schott</i> es una planta originaria del sur de EE. UU., América Central y del Sur. En 1895, se descubrió en Boston un mutante que exhibía frondas arqueadas, debido a su valor ornamental mejorado y su mayor tolerancia a las condiciones ambientales interiores, el mutante fue nombrado como <i>N. exaltata "Bostoniensis"</i> (Schall, Huo, y Chen, 2018, p. 1)	Para determinar como influyen las variaciones en los factores fotosintéticos de la planta <i>Nephrolepis exaltata Bostoniensis</i> para la generación de bioelectricidad, se observarán los cambios de hora referentes a la luz y oscuridad durante el día, se tomara un registro de la temperatura para determinar rangos entre altas, medias y bajas temperaturas; así como tambien, se trabajará 3 tipos de riego cuanto a su disponibilidad hídrica y finalmente la influencia del compost en el suelo destinado para el crecimiento y posterior generación de bioelectricidad en la planta.	LUZ	Ritmo circadiano	Hrs.
						CLIMA	Temperatura	T°
						DISPONIBILIDAD HÍDRICA	Humedad	%
						NUTRIENTES MINERALES EN EL SUELO	Nitrógeno, carbono, azufre, Relación C/N	%

<p>ESPECÍFICOS</p> <p>¿Cuáles son los efectos de las variaciones en el ritmo circadiano de <i>Nephrolepis exaltata</i> <i>Bostoniensis</i>, para la generación de bioelectricidad en una celda de combustible planta microbiana, Lima-2020?</p>	<p>ESPECÍFICOS</p> <p>Determinar los efectos de las variaciones en el ritmo circadiano de <i>Nephrolepis exaltata</i> <i>Bostoniensis</i> para la generación de bioelectricidad en una celda de combustible planta microbiana (PMFC), Lima-2020.</p>	<p>Las variaciones en el ritmo circadiano de <i>Nephrolepis exaltata</i> <i>Bostoniensis</i>, incrementan la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.</p>	<p style="text-align: center;">DEPENDIENTE BIOELECTRICIDAD</p>	<p>Una de los tipos de bioenergía, es la bioelectricidad la cual utiliza la energía contenida en la mayoría de los microorganismos pues estos tienen tendencia a transferir electrones producidos por su metabolismo, estos microorganismos son abundantes en agua dulce, aguas residuales, marinas, sedimentos del suelo, también en lodos activados y el sustrato de las plantas (Gilani <i>et al.</i>, 2016, p. 17).</p>	<p>Mediante la creación de una celda de combustible planta microbiana, se producirá bioelectricidad a partir de la planta <i>Nephrolepis exaltata</i> <i>Bostoniensis</i>. Además, se realizará un monitoreo diario de la cantidad de voltaje y potencia en la electricidad producida, teniendo en cuenta las variables aplicadas a nivel de ritmo circadiano, temperatura, disponibilidad hídrica y compost en el suelo de dicha especie, para observar los cambios en la energía producida.</p>	<p>GENERACIÓN DE VOLTAJE</p>	<p>Voltaje</p>	<p>mV</p>
<p>¿Cuáles son los efectos de las fluctuaciones en la temperatura durante la fotosíntesis de <i>Nephrolepis exaltata</i> <i>Bostoniensis</i> para la generación de bioelectricidad en una celda de combustible planta microbiana, Lima-2020?</p>	<p>Determinar los efectos de las fluctuaciones en la temperatura durante la fotosíntesis de <i>Nephrolepis exaltata</i> <i>Bostoniensis</i> para la generación de bioelectricidad en una celda de combustible planta microbiana (PMFC), Lima-2020.</p>	<p>Las fluctuaciones en la temperatura durante la fotosíntesis de <i>Nephrolepis exaltata</i> <i>Bostoniensis</i>, incrementa la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.</p>				<p>GENERACIÓN DE POTENCIA</p>	<p>Densidad de Potencia</p>	<p>mV / cm^2</p>

<p>¿Cuáles son los efectos de la cantidad de agua en el suelo para <i>Nephrolepis exaltata</i> <i>Bostoniensis</i> en la generación de bioelectricidad de una celda de combustible planta microbiana, Lima-2020?</p>	<p>Determinar los efectos de la cantidad de agua en el suelo para <i>Nephrolepis exaltata</i> <i>Bostoniensis</i> en la generación de bioelectricidad de una celda de combustible planta microbiana (PMFC), Lima-2020.</p>	<p>La cantidad de agua en el suelo para <i>Nephrolepis exaltata</i> <i>Bostoniensis</i>, incrementa la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.</p>						
<p>¿Cuáles son los efectos del compost en el suelo de <i>Nephrolepis exaltata</i> <i>Bostoniensis</i> para la generación de bioelectricidad en una celda de combustible planta microbiana, Lima-2020?</p>	<p>Determinar los efectos del compost en el suelo de <i>Nephrolepis exaltata</i> <i>Bostoniensis</i> para la generación de bioelectricidad en una celda de combustible planta microbiana (PMFC), Lima-2020.</p>	<p>El compost en el suelo de <i>Nephrolepis exaltata</i> <i>Bostoniensis</i>, incrementa la generación de bioelectricidad, en una celda de combustible planta microbiana.</p>						

Fuente: Elaboración propia

Anexo N.º 2 Tamaño de la Muestra



Fuente: Elaboración propia

Anexo N.º 3 Ficha de registro de datos de diseño único

N.º De Maceta	Hora	Temperatura Ambiente (°C)	Disponibilidad Hídrica	Con / Sin Compost	Promedio Voltaje (mV)	Densidad de Potencia (mV/cm ²)
P1, P2 y P3	6:00 a. m.		Riego 1 vez por semana - Suelo seco	SIN COMPOST		
	12:00 p. m.					
	18:00 pm					
	12:00 a. m.					
P4, P5 y P6	6:00 a. m.		Riego 1 vez al día - Suelo húmedo			
	12:00 p. m.					
	18:00 pm					
	12:00 a. m.					
P7, P8 y P9	6:00 a. m.		Riego 2 veces al día - Suelo inundado			
	12:00 p. m.					
	18:00 pm					
	12:00 a. m.					
P10, P11 y P12	6:00 a. m.		Riego 1 vez por semana - Suelo seco	CON COMPOST		
	12:00 p. m.					
	18:00 pm					
	12:00 a. m.					
P13, P14 y P15	6:00 a. m.		Riego 1 vez al día - Suelo húmedo			
	12:00 p. m.					
	18:00 pm					
	12:00 a. m.					
P16, P17 y P18	6:00 a. m.		Riego 2 veces al día - Suelo inundado			
	12:00 p. m.					
	18:00 pm					
	12:00 a. m.					

Fuente: Elaboración propia

Anexo N.º 4 Multímetro digital Truper Mut-33





LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LC-022



Registro N° LC - 022

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° CE-064-2020

Página 1 de 3

N° Expediente : 1282-2020

Fecha de emisión : 2020-09-11

Solicitante : HUAMAN MOGOLLON LILIAN DEL CARMEN
Dirección : Jirón Las Crisocolas 217 Urb. San Carlos -San Juan de Lurigancho - Lima - Lima.

UNIMETRO S.A.C. ofrece a la industria y laboratorios de ensayo en general, los servicios de calibración de equipos e instrumentos de medición, contando para ello con un laboratorio equipado con equipos de alta tecnología y patrones trazables a patrones nacionales y patrones de referencia (DM-INACAL).

Unidad bajo prueba : MULTIMETRO

Los resultados del presente certificado sólo son válidos para el objeto calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Marca : TRUPER

Modelo : MUT-33

N° de serie : No Indica

Identificación : UME-066

UNIMETRO S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este equipo e instrumento después de su calibración, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de calibración que figuran en este documento.

Procedencia : China

Alcance de escala : 1000 V DC / 750 V AC / 10 A DC / 2 MΩ

El usuario debe recalibrar sus equipos en intervalos adecuados, teniendo como base las características del trabajo realizado así como el mantenimiento del instrumento y el tiempo de vida del mismo.

Fecha de calibración : 2020-09-11

Lugar de calibración : Laboratorio de Calibración de UNIMETRO S.A.C.

Método de Calibración

Comparación directa, según el procedimiento a continuación descrito.
PC-021 "Procedimiento para la Calibración de Multímetros Digitales" 2da. Edición. INACAL.

Trazabilidad

Los resultados de la calibración tienen trazabilidad a los patrones de referencia del Laboratorio Nacional y/o laboratorios acreditados, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI).

TRAZABILIDAD	Patrón utilizado	Certificado de calibración
INACAL-DM	IE - 03 Calibrador Multifunción 5522A	LE-937-2019

Observaciones

La incertidumbre de medición expandida reportada en el certificado es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura $k=2$ de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95%.

El código de identificación se encuentra adherido al instrumento de medición.

Se colocó un sticker con la indicación "CALIBRADO".



Ing. Moisés A. Inga Chucos
Gerente de Metrología
Reg. CIP N° 137294

INGENIERÍA EN METROLOGÍA

Av. Gran Chimú N° 451 Urb. Zárate, San Juan de Lurigancho - Lima
Telf.: 376-8271 Cel.: 998446498 Entel: 981 421 743 RPM: #998446498
Web: www.unimetrosac.com E-mail: ventas@unimetrosac.com / unimetrosac@hotmail.com

Anexo N.º 6 Análisis de humedad y nutrientes minerales en la tierra y compost

- Humedad:



INFORME DE ENSAYO
 N° AM-075.20

Cliente : LILIAN HUAMAN MOGOLLON
Dirección Legal del Cliente : Jr. Las crisolcolas Urb. San Carlos -S/L
Muestra(s) Declaradas : Calidad de suelo
Procedencia de la muestra : Muestras proporcionadas por el cliente) **Nombre del Proyecto:** Variaciones en los factores fotosintéticos de *Nephrolepis exaltata bostoniensis* para la generación de bioelectricidad. **Lugar del Proyecto:** San Juan de Lurigancho
Cantidad de muestra(s) para ensayo : 06 muestras
Forma de presentación : Bolsa hermética
Identificación de la muestra : Código de muestra 016-28012
Fecha de recepción de muestra(s) : 28/09/2020
Fecha de inicio de análisis : 28/09/2020
Fecha de emisión de informe : 05/10/2020

I. Método de Ensayo:

Determinación	Método de Ensayo
Contenido de Humedad	ASTM D2216-19 Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass, NTP 339.127

LABORATORIOS MINLAB
 Jr. España N° 931-942, Distrito La Perla, Callao
 Teléfono: (511) 4205280



II. Determinación de Parámetro

Código de Laboratorio	016-28012.1	016-28012.2	016-28012.3
	Código de Punto de Muestreo	Tierra-1S	Tierra-1D
Descripción del Punto de Muestreo	Tierra sól. riego una vez a la semana	Tierra sól. riego una vez al día	Tierra sól. riego dos veces al día
Fecha Inicial/Hora de Muestreo	21/09/2020, 12 Hrs.	21/09/2020, 12 Hrs.	21/09/2020, 12 Hrs.
Fecha Final/Hora de Muestreo	27/09/2020, 00 Hrs.	27/09/2020, 00 Hrs.	27/09/2020, 00 Hrs.
Tipo de Muestra	Suelo	Suelo	Suelo
Coordenadas del Punto de Muestreo	xxxxxxxx	xxxxxxxx	xxxxxxxx
Parámetro a Analizar			
Parámetro de ensayo	Unidades	Límite de cuantificación	Resultados
Humedad	%	xxxxxxxx	Resultados
			11.00
			32.29
			45.80

Código de Laboratorio	016-28012.4	016-28012.5	016-28012.6
	Código de Punto de Muestreo	Compost-1S	Compost-1D
Descripción del Punto de Muestreo	Tierra más compost, riego una vez a la semana	Tierra más compost, riego una vez al día	Tierra sól. riego dos veces al día
Fecha Inicial/Hora de Muestreo	21/09/2020, 12 Hrs.	21/09/2020, 12 Hrs.	21/09/2020, 12 Hrs.
Fecha Final/Hora de Muestreo	27/09/2020, 00 Hrs.	27/09/2020, 00 Hrs.	27/09/2020, 00 Hrs.
Tipo de Muestra	Suelo	Suelo	Suelo
Coordenadas del Punto de Muestreo	xxxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxxx	xxxxxxxxxxxx
Parámetro a Analizar			
Parámetro de ensayo	Unidades	Límite de cuantificación	Resultados
Humedad	%	xxxxxxxxxxxx	Resultados
			17.03
			32.67
			48.03

Ing. Jesús Iglesias Zolezzi
 Sub Gerencia de Medio Ambiente



Ing. Martín Rivadeneira Asanza
 Jefe de Laboratorio

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de MINLAB SRL, sito en el Jr. España N°931 -La Perla- Callao y si el servicio lo considera las contramuestras (s) del producto serán conservadas por un periodo de tiempo declarado y/o acordado con el cliente, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de MINLAB SRL. AM-FR-11/ Versión: 03

- Análisis de nutrientes en compost:



INFORME DE ENSAYO
N° AM-082.20

Cliente : LILIAN HUAMAN MOGOLLON
 Dirección Legal del Cliente : Jr. Las crisocolas Urb. San Carlos -S/L
 DNI : 72892959
 Muestra(s) Declaradas : Parámetros base para calidad de suelos fértiles
 Procedencia de la muestra : Muestras proporcionadas por el cliente **Nombre del Proyecto:** Variaciones en los factores fotosintéticos de *Nephrolepis exaltata bostoniensis* para la generación de bioelectricidad. **Lugar del Proyecto:** San Juan de Lurigancho
 Cantidad de muestra(s) para ensayo : 1kg de compost
 Forma de presentación : Bolsa hermética
 Identificación de la muestra : Código de muestra 019-29024
 Fecha de recepción de muestra(s) : 13/10/2020
 Fecha de inicio de análisis : 20/10/2020
 Fecha de emisión de informe : 21/10/2020

I. Método de Ensayo:

Determinación	Unidad de Medida	Método de Ensayo
Contenido de nitrógeno	%	Método ISO A173 Determinación de Nitrógeno por el método Kjeldahl
Materia Orgánica en suelo	%	Método WAKLEY Y BLACK para determinación de materia orgánica en suelo
Contenido de Azufre	%	Método BORTOLITTI para la determinación de azufre en suelo
Contenido de Carbono	%	Método KATEMAN & BUYDENS para la determinación de carbono en el suelo
Relación C/N	Unidades	Método COTTENIE & VERLOD para determinar la relación C/N

LABORATORIOS MINLAB
 Jr. España N° 931-942, Distrito La Perla, Callao
 Teléfono: (511) 4205280



II. Determinación de Parámetro

Parámetro	Resultados de los Ensayos
Contenido de nitrógeno (%)	0.92
Materia Orgánica en suelo (%)	21.31
Contenido de Azufre (%)	2.52
Contenido de Carbono (%)	12.36
Relación C/N	13.40

Ing. Jesús Iglesias Zolezzi
 Sub Gerencia de Medio Ambiente



Ing. Martín Rivadeneira Asanza
 Jefe de Laboratorio

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de MINLAB SRL, sito en el Jr. España N°931 -La Perla- Callao y si el servicio lo considera las contramuestras (a) del producto serán conservadas por un periodo de tiempo declarado y/o acordado con el cliente, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de MINLAB SRL. AM-FR-11/ Versión: 03

LABORATORIOS MINLAB
 Jr. España N° 931-942, Distrito La Perla, Callao
 Teléfono: (511) 4205280

- Análisis de nutrientes en tierra sola:



INFORME DE ENSAYO
N° AM-081.20

Cliente : **LILIAN HUAMAN MOGOLLON**
 Dirección Legal del Cliente : Jr. Las crisocolas Urb. San Carlos -S/L
 DNI : 72892959
 Muestra(s) Declaradas : Parámetros base para calidad de suelos fértiles
 Procedencia de la muestra : Muestras proporcionadas por el cliente **Nombre del Proyecto:** Variaciones en los factores fotosintéticos de *Nephrolepis exaltata bostoniensis* para la generación de bioelectricidad. **Lugar del Proyecto:** San Juan de Lurigancho
 Cantidad de muestra(s) para ensayo : 1kg de tierra
 Forma de presentación : Bolsa hermética
 Identificación de la muestra : Código de muestra 019-29023
 Fecha de recepción de muestra(s) : 13/10/2020
 Fecha de inicio de análisis : 20/10/2020
 Fecha de emisión de informe : 21/10/2020

I. Método de Ensayo:

Determinación	Unidad de Medida	Método de Ensayo
Contenido de nitrógeno	%	Método ISO A173 Determinación de Nitrógeno por el método Kjeldahl
Materia Orgánica en suelo	%	Método WAKLEY Y BLACK para determinación de materia orgánica en suelo
Contenido de Azufre	%	Método BORTOLITTI para la determinación de azufre en suelo
Contenido de Carbono	%	Método KATEMAN & BUYDENS para la determinación de carbono en el suelo
Relación C/N	Unidades	Método COTTENIE & VERLOD para determinar la relación C/N

LABORATORIOS MINLAB
 Jr. España N° 931-942, Distrito La Perla, Callao
 Teléfono: (511) 4205280



II. Determinación de Parámetro

Parámetro	Resultados de los Ensayos
Contenido de nitrógeno (%)	0.83
Materia Orgánica en suelo (%)	20.33
Contenido de Azufre (%)	0.35
Contenido de Carbono (%)	11.79
Relación C/N	14.10


 Ing. Jesús Iglesias Zolezzi
 Sub Gerencia de Medio Ambiente




 Ing. Martín Rivadengra Asanza
 Jefe de Laboratorio

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de MINLAB SRL, sito en el Jr. España N°931 -La Perla- Callao y si el servicio lo considera las contramuestras (s) del producto serán conservadas por un periodo de tiempo declarado y/o acordado con el cliente, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de MINLAB SRL. AM-FR-11/ Versión: 03

LABORATORIOS MINLAB
 Jr. España N° 931-942, Distrito La Perla, Callao
 Teléfono: (511) 4205280



CONSTANCIA

Conste por medio del presente documento quien suscribe JORGE LUIS LÓPEZ BULNES con DNI 08153969, Biólogo de profesión con N° de colegiatura y habilitación 8932 CBP magister en Botánica tropical mención taxonomía y sistemática evolutiva acreditado por la UNMSM Consultor ambiental en Tecnología y Gestión Ambiental S.A.C, consultor en Ingeniería Socioambiental siendo participante en la elaboración de proyectos con instrumentos de gestión ambiental - EIA, elaboración de línea base.

Dejo constancia y doy fe que en el ejercicio de mi profesión y amparado en la ley del Biólogo N° 28847 he realizado la identificación taxonómica de la especie según La taxonomía actual en Pteridofitos siendo:

Reino: Plantae

Clase: Pteridopsida

Orden: Polypodiales

Familia: Lomariopsidaceae

Género: *Nephrolepis*

Especie: *Nephrolepis exaltata* cv. Bostoniensis

La muestra fue proporcionada por el propio cliente.

En cuanto a su composición química del látex se identificó: esteroides, cumarinas, alcaloides (taspina), flavonoides, taninos, saponinas (baja concentración), antocianinas, compuestos fenólicos (ácido gálico); además contiene vitamina A, E y C, almidón, celulosa, grasas, lignanos (mucílagos, proteínas, catequinas (epicatequina, galocatequina, epigallocatequina).

En ejercicio de mi derecho profesional extendiendo la presente constancia a solicitud del bachiller Lilian del Carmen Huamán Mogollón identificada con DNI. 72892959 requerido para fines de investigación, lo cual manifiesta.

Se extiende la presente constancia a los

15 días del mes de Setiembre de 2020



CBP 8932

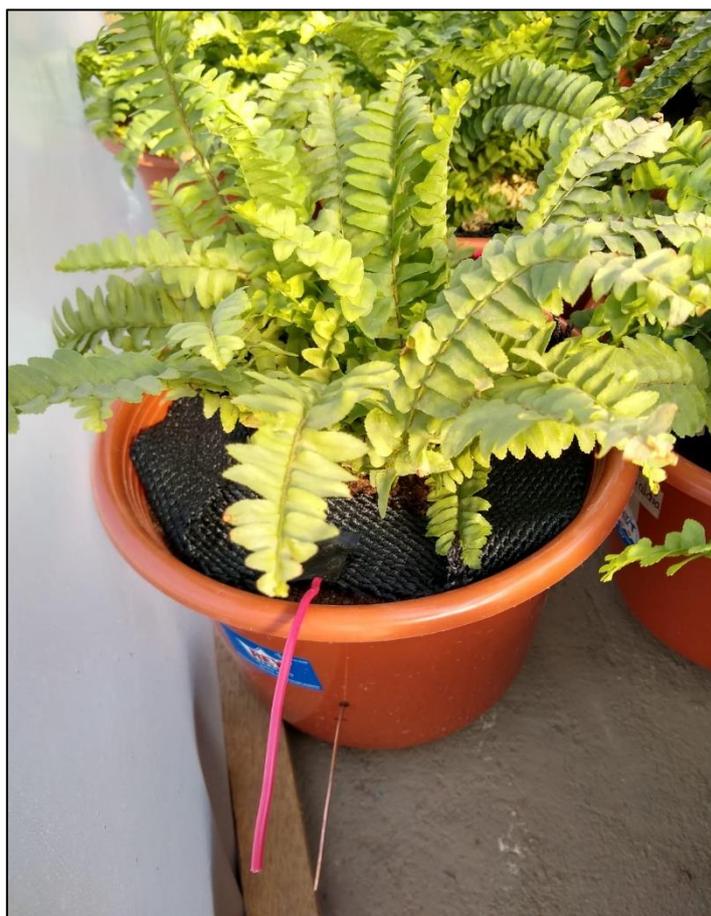
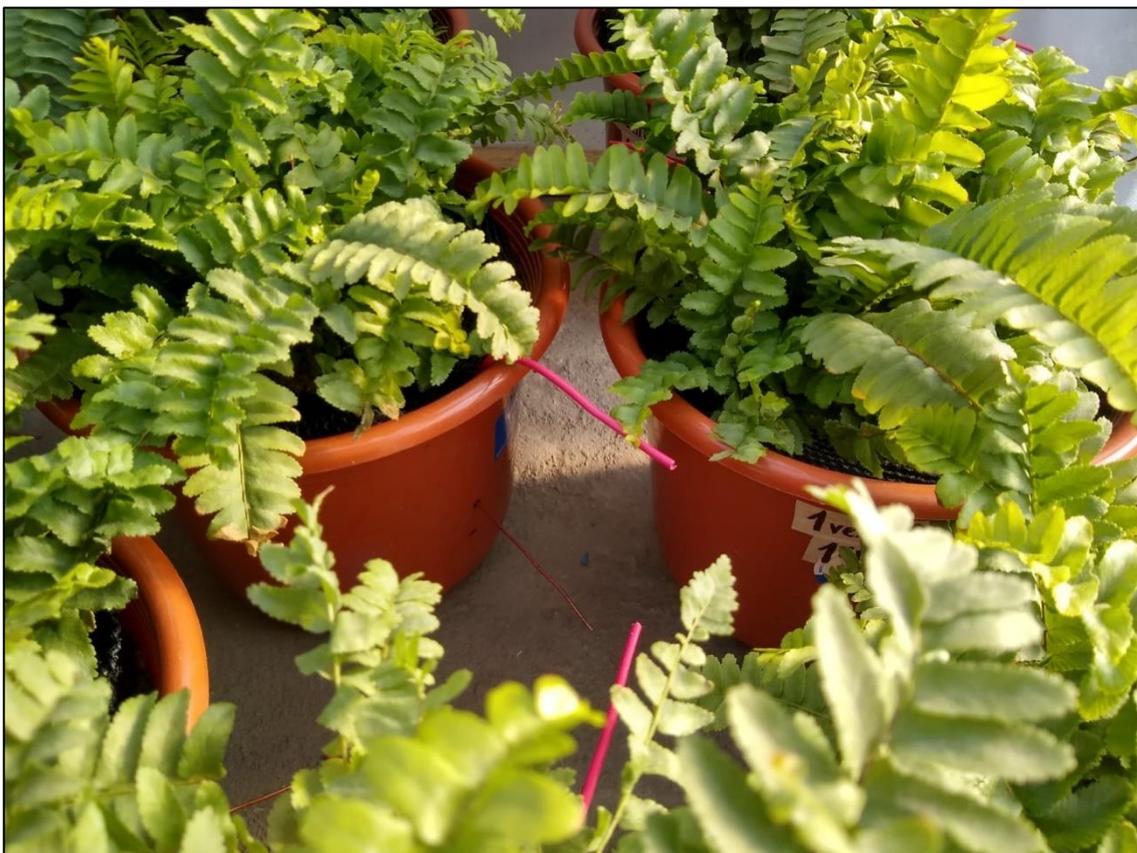
Anexo N.º 8 Mini invernadero



Anexo N.º 9 Ánodo de tela de fibra de carbono colocado a 9 cm. de la base



Anexo N.º 10 Macetas de tierra sola y tierra con compost



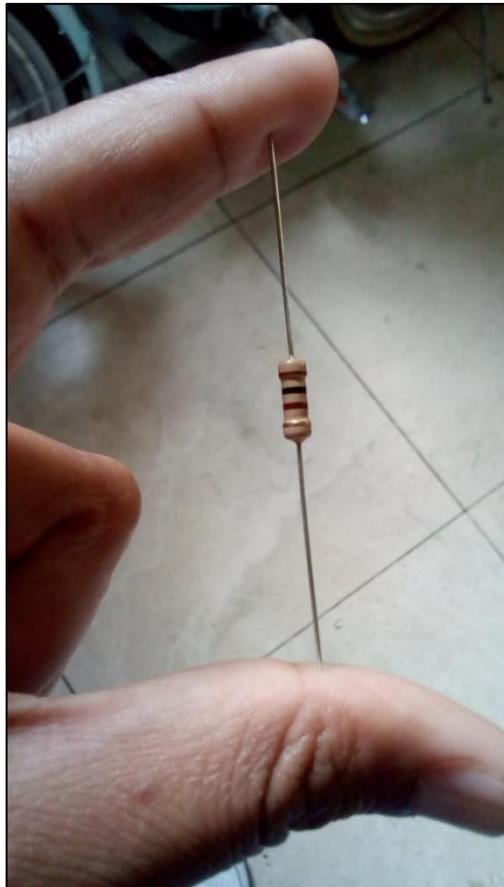
Anexo N.º 11 Imagen de las PMFC de tierra sola y tierra + compost después de la primera semana





Anexo N.º 12 Imagen de las PMFC con los resistores de 100 Ω , 2 semanas después





Anexo N.º 13 Imagen de las PMFC de tierra sola y tierra + compost al finalizar las 8 semanas



Anexo N.º 14 Imagen de cada una de las PMFC al finalizar las 8 semanas de investigación

PMFC de tierra sola



PMFC de tierra + compost



PMFC de tierra sola



PMFC de tierra + compost



PMFC de tierra sola



PMFC de tierra + compost





UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, HUAMAN MOGOLLON LILIAN DEL CARMEN estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "VARIACIONES EN LOS FACTORES FOTOSINTÉTICOS DE NEPHROLEPIS EXALTATA BOSTONIENSIS PARA LA GENERACIÓN DE BIOELECTRICIDAD EN UNA CELDA DE COMBUSTIBLE PLANTA MICROBIANA (PMFC), LIMA-2020", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Nombres y Apellidos	Firma
HUAMAN MOGOLLON LILIAN DEL CARMEN DNI: 72892959 ORCID 0000-0002-6047-0974	Firmado digitalmente por: LHUAMANMO el 23-12- 2020 21:52:18

Código documento Trilce: INV - 0076835