



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

**Bioelectricidad Generadas por Pilas de Combustible
Microbiana de Hierbabuena (*Mentha spicata*) y Cinta
(*Chlorophytum comosum*) - Yanacancha - Chupaca –2021.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AMBIENTAL**

AUTORAS:

Gómez De La Cruz, Milagros Yosilin (ORCID: 0000-0002-7142-1078)

Medina Simeon, Paola Yurico (ORCID: 0000-0002-4258-9939)

ASESOR:

MSc. Quijano Pacheco, Wilber Samuel (ORCID:0000-0001-7889-7928)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

A nuestras familias, por brindarnos el apoyo durante el proceso de nuestra vida académica y así poder culminar con nuestra carrera profesional

AGRADECIMIENTO

A Dios por iluminar nuestras vidas y seguir una vida recta siguiendo el ejemplo de nuestra familia.

A la UAP por brindarnos las enseñanzas y formarnos profesionalmente mediante los docentes encargados que gracias a ellos logramos captar los conocimientos para enfrentarnos a el ámbito laboral.

A la UCV por brindarnos la oportunidad de lograr la titulación, en especial a nuestro asesor a Msc. Quijano Pacheco, Wilber Samuel por sus enseñanzas.

A todas las personas que nos apoyan para lograr nuestra meta por su apoyo incondicional.

Índice de Contenido

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
Índice de Contenido	iv
Índice de tablas	vi
Índice de gráficos y figuras	viii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	6
III. METODOLOGÍA	14
3.1. Tipo y diseño de la investigación	15
3.2. Variables y Operacionalización	15
3.3. Población, muestra y muestreo	18
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	18
3.5. Procedimiento	20
3.5.1. Ubicación de la investigación	20
3.5.1. Etapas de la investigación	21
3.6. Método de análisis de datos	26
3.7. Aspectos éticos	26
IV. RESULTADOS	28
4.1. Bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana	28
4.1.1. Tensión generada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena	28
4.1.2. Intensidad y potencial eléctrico generados en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena	30
4.1.3. Tensión generada en las pilas de combustible microbiana de cinta	33
	iv

4.1.4.	Intensidad y potencial eléctrico generados en las pilas de combustible microbiana de cinta	35
4.2.	Caracterización inicial de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana	42
4.3.	Radiación solar registrada en el tiempo de estudio	44
4.4.	pH y temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana	47
4.4.1.	Pilas de combustible microbiana de hierbabuena	47
4.4.2.	Pilas de combustible microbiana de cinta	51
4.5.	Análisis estadísticos	57
4.5.1.	Contrastación de la hipótesis general	57
4.5.2.	Contrastación de la segunda hipótesis específica	58
4.5.3.	Contrastación de la tercera hipótesis específica	60
V.	DISCUSIÓN	65
VI.	CONCLUSIONES	68
VII.	RECOMENDACIONES	70
	REFERENCIAS	72
	ANEXOS	77

Índice de tablas

Tabla 1. Matriz de diseño experimental	15
Tabla 2. Matriz de operacionalización de variables	17
Tabla 3. Técnicas e instrumentos que se utilizaron en el proyecto de investigación.	19
Tabla 4. Relación de docentes que realizaron la validación de instrumentos	27
Tabla 5. Tensión eléctrica medida en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena	28
Tabla 6. Intensidad y potencial eléctrico medidos en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena	30
Tabla 7. Promedios de voltaje, intensidad y potencial eléctrica medidos en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena	32
Tabla 8. Tensión eléctrica medida en las pilas de combustible microbiana de cinta	34
Tabla 9. Intensidad y potencial eléctrico medidos en las pilas de combustible microbiana de cinta	36
Tabla 10. Promedios de voltaje, intensidad y potencial eléctrica medidos en las pilas de combustible microbiana de cinta	38
Tabla 11. Características fisicoquímicas de las tierras de las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta	42
Tabla 12. Características fisicoquímicas de la tierra preparada con nutrientes para la hierbabuena y cinta	43
Tabla 13 Radiación solar monitoreada en el período de estudio	44
Tabla 14. pH y temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena	47
Tabla 15. pH y temperatura promedio de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena	49
Tabla 16. pH y temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de cinta	52
Tabla 17.. pH y temperatura promedio de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de cinta	54
Tabla 18. Prueba de t de Student para la comparación del voltaje eléctrico generado en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena y cinta	57

Tabla 19. Prueba de normalidad para la radiación y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena y cinta	58
Tabla 20. Correlación de Pearson para la radiación y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena	59
Tabla 21. Correlación de Pearson para la radiación y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de cinta	59
Tabla 22. Prueba de normalidad para el pH y temperatura y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena	60
Tabla 23. Correlación de Pearson para el pH y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena	61
Tabla 24. Correlación de Pearson para la temperatura y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena	62
Tabla 25. Prueba de normalidad para el pH y temperatura y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de cinta	62
Tabla 26. Correlación de Pearson para el pH y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de cinta	63
Tabla 27. Correlación de Pearson para la temperatura y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de cinta	63

Índice de figuras

Figura 1 Pila de combustible microbiana.	11
Figura 2. Ubicación de la zona de estudio	20
Figura 3. Diagrama de proceso experimental	21
Figura 4. Esquema de montaje experimental	23
Figura 5. Montaje experimental del voltaje eléctrico generado en la pila de combustible microbiana de hierbabuena	25
Figura 6. Montaje experimental del voltaje eléctrico generado en la pila de combustible microbiana de cinta	25
Figura 7. Bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de Hierbabuena	33
Figura 8. Bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de Cinta	39
Figura 9. Comparación de la bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta	40
Figura 10. Radiación solar global monitoreada durante el funcionamiento de las pilas de combustible microbiana	45
Figura 11. Efecto de la radiación solar en la bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta	46
Figura 12. pH y temperatura de la tierra de la pila de combustible microbiana de hierbabuena	50
Figura 13. Influencia del pH y temperatura en la bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena	51
Figura 14. pH y temperatura de la tierra de la pila de combustible microbiana de cinta	55
Figura 15. Influencia del pH y temperatura en la bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de cinta	56

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo determinar la bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (*Mentha spicata*) y Cinta (*Chlorophytum comosum*) en el distrito de Yanacancha – Chupaca – 2021, es de tipo aplicada, cuantitativo y experimental, para el cual se construyó un montaje de pila de combustible microbiano utilizando varillas de grafito como electrodo, se midió la radiación solar global, pH y temperatura de la tierra utilizada en las pilas; los resultados demostraron que la pila de combustible microbiana de cinta generó una mayor bioelectricidad (505,45 mV), a comparación de la pila de combustible microbiana de hierbabuena (245,37 mV) siendo una diferencia de 260,08 mV; además, en la caracterización inicial de la tierra utilizada en la pila de combustible microbiano para cinta presento mejores características en pH de 7,30; materia orgánica de 1,94 %, P de 22,20 ppm, K de 209,73 ppm y N de 0,10 %, se logró una mayor bioelectricidad cuando el pH y la temperatura de la tierra fueron 6,43 y 12,83 °C en la pila de combustible microbiana para hierbabuena y 7,04 y 10,80 °C para cinta respectivamente. Concluyendo que la pila de combustible microbiano de cinta fue más eficiente para la generación de bioelectricidad.

Palabras clave: Bioelectricidad, hierbabuena, cinta, radiación

ABSTRACT

The present investigation has as general objective to determine the bioelectricity generated in the microbial fuel cocks of Hierbabuena (*Mentha spicata*) and Cinta (*Chlorophytum comosum*) in the district of Yanacancha – Chupaca – 2021, and of the applied, quantitative and experimental type, for el how a microbial fuel stick assembly was built using graphite rods as electrode, whether it measured the global solar radiation, pH and earth temperature used in the sticks; The results showed that the belt microbial fuel rod had a major bioelectricity (505,45 mV), the comparison of the Hierbabuena microbial fuel rod (245,37 mV) had a difference of 260,08 mV; in addition, in the initial characterization of the land used in the microbial fuel pile for the belt, I present better characteristics at a pH of 7,30; organic matter of 1,94 %, P of 22,20 ppm, K of 209,73 ppm and N of 0,10 %, a greater bioelectricity is achieved when the pH and temperature of the earth is 6,43 and 12,83 °C in the microbial fuel cock for hierbabuena and 7,04 °C and 10,80 °C for belt respectively. Concluding that the strap microbial fuel cock was more efficient for the bioelectricity generation.

Keywords: Bioelectricity, peppermint, tape, radiation

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial mil millones de personas no cuentan con energía eléctrica, representando al 13 % de la población, además solo el 17,5 % de fluido eléctrico, tienen origen renovable de acuerdo a Planelles y Delgado , (2018) y el resto del sector eléctrico representa casi dos tercios del crecimiento de las emisiones mundiales de CO₂ (Lea, 2018).

En el Perú la falta de energía eléctrica también es un problema constante, ya que casi el 14 % de viviendas a nivel nacional no cuentan con fluido eléctrico según La República (2019). Un 57,8 % de la energía eléctrica en el país proviene de centrales hidroeléctricas; que alteran el régimen hídrico, reducen la biodiversidad y productividad hidrobiológica (pesca), contaminan las aguas, entre otros, de acuerdo al Sector Electricidad , (2011); mientras que el 37,8 % de energía eléctrica proviene de centrales termoeléctrica y solo un 5 % provienen de energías renovables, sin embargo de acuerdo al Comité de Operaciones del Sistema Interconectado Nacional dentro de unos años se generará un déficit energético, siendo necesario la búsqueda de energías renovables según La República (2019). El diario El Correo , (2018) público que acuerdo al último censo en la región Junín solo el 85,4 % de viviendas cuentan con energía eléctrica, causado en parte por la construcción de nuevas viviendas en lugares alejados haciendo falta la construcción de líneas de transmisión sobre centenas o miles de kilómetros; en el caso de los valles andinos-amazónicos esas obras amenazan la diversidad biológica; generan impactos sociales como reasentamientos forzados, alteran las tierras más fértiles de los valles, facilitando la deforestación, propagando enfermedades y fomentando ocupaciones irregulares de tierras indígenas o de áreas protegidas (Sector electricidad, 2011).

En vista de los impactos negativos de la generación de electricidad de manera convencional, las pilas de combustible microbianas de plantas es una tecnología emergente que convierte la energía solar en bioelectricidad sin la generación de emisiones contaminantes; se basa en dos principios la fotosíntesis, y bacterias electroquímicamente activas, este proceso da como resultado la generación de energía eléctrica sin la necesidad de cosechar la planta (Azri et al., 2018).

Se elige como lugar de estudio la provincia de Chupaca principalmente en el distrito de Yanacancha, porque se nota la falta de energía eléctrica ya que solo el 16 % de viviendas cuenta con energía eléctrica, factor que limita su desarrollo económico y productivo, la disponibilidad de oportunidades educativas, servicios de salud, frente a esta realidad, las fuentes de energía renovables, libres de contaminación y accesibles con el medio ambiente son una interesante alternativa (Gamio Aita, 2014).

De acuerdo a todo lo mencionado anteriormente, el **problema general** de la investigación es ¿Cuanta bioelectricidad se generará en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (*Mentha spicata*) y Cinta (*Chlorophytum comosum*) en el distrito de Yanacancha – Chupaca - 2021? y los **problemas específicos** son: ¿Qué características fisicoquímicas presentará la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (*Mentha spicata*) y Cinta (*Chlorophytum comosum*)?, ¿Cómo influirá la radiación solar en la generación de bioelectricidad en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (*Mentha spicata*) y Cinta (*Chlorophytum comosum*) en el distrito de Yanacancha - Chupaca- 2021? y ¿Qué relación tendrá el pH y la temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (*Mentha spicata*) y Cinta (*Chlorophytum comosum*) con la generación de bioelectricidad en el distrito de Yanacancha – Chupaca - 2021?.

Como justificación teórica, la investigación busca aportar con información relacionada a la generación de bioelectricidad con hierbabuena y cinta; como justificación técnica, la construcción de las pilas de combustible microbiana de plantas, son fáciles de construir produce electricidad sin el aporte externo de nutrientes orgánicos exógenos combinando las ventajas de la fotosíntesis de las plantas y la generación de electricidad de microorganismos electroactivos para transformar energía solar en electricidad de acuerdo a Liu, Song, Li y Yang (2013), además la hierbabuena es una planta que se adopta al clima del valle del Mantaro, es fácil de cultivar, crece con facilidad y posee extensas raíces según Viviana, López y Fulton López , (2013); mientras que la cinta es una planta hortícola que se caracteriza por una alta biomasa y fácil cultivo, crece en una amplia variedad de condiciones de luz y temperatura, creciendo particularmente bien en regiones con altos niveles de luz natural (Azri et al., 2018); como

justificación social se busca llegar a pueblos o comunidades alejadas donde no llega energía eléctrica, como el distrito de Yanacancha en Chupaca, o lugares donde los pobladores no cuentan con la economía suficiente como para pagar las tarifas o contar con una central que pueda suministrar el servicio a todas las familias, tomando en cuenta que el suministro de energía eléctrica es importante para lograr el desarrollo de las comunidades, incrementando su nivel de calidad de vida y brindando oportunidades de superación a los niños o jóvenes en edad escolar; como justificación económica es que la construcción de estas pilas es económica, y los materiales son fáciles de encontrar; por último como justificación ambiental es la generación de electricidad utilizando nuevas alternativas renovables y sostenibles buscando disminuir el impacto negativo de las tecnologías convencionales, que generan emisiones de gases de efecto invernadero, contaminan recursos y alteran de forma negativa el entorno.

Respecto a los problemas planteados se estableció que el **objetivo general** es Determinar la bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (*Mentha spicata*) y Cinta (*Chlorophytum comosum*) en el distrito de Yanacancha – Chupaca - 2021. Asimismo, los **objetivos específicos** son: Caracterizar fisicoquímicamente la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (*Mentha spicata*) y Cinta (*Chlorophytum comosum*), determinar la influencia de la radiación solar en la generación de bioelectricidad en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (*Mentha spicata*) y Cinta (*Chlorophytum comosum*) en el distrito de Yanacancha - Chupaca – 2021 y analizar la relación del efecto del pH y la temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (*Mentha spicata*) y Cinta (*Chlorophytum comosum*) con la generación de bioelectricidad en el distrito de Yanacancha – Chupaca - 2021.

La **hipótesis general**: La bioelectricidad generada en la pila de combustible microbiana de hierbabuena (*Mentha spicata*) es mayor a la bioelectricidad generada en la pila de combustible microbiana de Cinta (*Chlorophytum comosum*) en el distrito de Yanacancha - 2021, las **hipótesis específicas** son: La tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (*Mentha spicata*) y Cinta (*Chlorophytum comosum*) presenta altas concentraciones de fósforo y potasio, una radiación solar alta genera un voltaje

alto produciendo mayor bioelectricidad en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (*Mentha spicata*) y Cinta (*Chlorophytum comosum*) en el distrito de Yanacancha – 2021 y el pH y la temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (*Mentha spicata*) y Cinta (*Chlorophytum comosum*) presenta una relación positiva fuerte con la generación de bioelectricidad en el distrito de Yanacancha – 2021.

Finalmente, lo que motivo al trabajo es generar bioelectricidad sin causar contaminación y aprovechando los recursos, optimizar el proceso de generación de la bioelectricidad en pilas de combustibles microbianas de hierbabuena y cinta, y aplicar dicha tecnología innovadoras en comunidades alejadas que no cuentan con esta necesidad básica.

II. MARCO TEÓRICO

Sophia y Sreeja, (2017) tuvieron como objetivo estudiar la influencia de *B. juncea*, *T. foenum-graecum* y *C. Stuttgart* y la adición de compost, en la generación de bioenergía en PMFC, para el experimento, construyeron un PMFC cilíndrico colocado bajo condiciones de luz natural durante 12 h al día; los resultados revelaron que la *C. Stuttgart* mostró la mayor potencia de salida (densidad de potencia de 222 mW/m², eficiencia de conversión de 0,022 % con las menores fluctuaciones diurnas, concluyendo que *T. foenum-graecum* y *C. Stuttgart* presentaron una mayor generación de bioenergía.

Liu, et al., (2013) tuvieron como objetivo convertir la energía solar en electricidad mediante la utilización de raíces de ipomea, construyeron el MFC utilizando un cilindro de plástico, constituido por matriz de soporte, ánodo y cátodo, con nueve plantas de Ipomoea, los resultados indicaron una densidad máxima de potencia de 12,42 mWm⁻² producida en el MFC plantado con Ipomoea, la potencia máxima de salida para el MFC plantado presentó: rendimiento máximo de potencia de DQO_R en la masa de agua (66,05 KJ Kg⁻¹ DQO_R) y la transformación de máxima potencia a partir de la fotosíntesis de la planta (2,31 GJ ha⁻¹ año⁻¹); concluyeron que el MFC plantado con Ipomoea produjo una potencia mucho mayor que la del MFC no plantado.

Azri et al., (2018) tuvieron como objetivo generar bioelectricidad utilizando plantas cinta, lirio cobra y papiro en pilas de combustible microbianas (PMFC), en su metodología colocaron electrodos en las raíces y sobre el suelo, evaluaron los PMFC durante 100 días a temperatura ambiente; los resultados demuestran que plantas cinta, lirio cobra y papiro produjeron, respectivamente, una corriente máxima de 25 mA/m², 31 mA/m² y 19 mA/m², dependiente de factores meteorológicos demostraron la importancia de la luz, encontraron tres géneros de bacterias (*Pseudomonas*, *Aeromonas* y *Enterobacter*) en las biopelículas anódicas; concluyeron que se puede convertir la energía solar en bioelectricidad utilizando plantas ornamentales simples en un PMFC.

Moqsud, Hannan y Omine (2015) tuvieron como objetivo producir bioelectricidad utilizando PMFC de plantas de arrozales y observar los factores que influyen; en su metodología usaron cuatro cubos llenos de la misma tierra con fibra de carbono como electrodos con una resistencia de 100 Ω, solo un cubo

no presentó plantas; sus resultados demostraron que el valor más alto de voltaje fue de alrededor de 700 mV cuando se utilizaron una planta de arroz con un 1 % de tierra mezclada con abono, además la radiación solar y la temperatura presentan una relación directa con el voltaje generado; concluyeron que los parámetros climáticos naturales, así como la materia orgánica adicional, tienen una influencia significativa en la generación de bioelectricidad en la PMFC.

Khudzari et al. (2018) tuvieron como objetivo producir bioelectricidad de la planta llorona en una MFC; en la metodología, los MFC presentaron cátodo de aire y ánodo de fieltro de carbono, utilizaron medios de cultivo de diferentes fracciones de masa de materia orgánica seca (MO-89 % y 8 %) y utilizaron NaCl a concentración de 0,6 kg m⁻³ y 12 kg m⁻³; en los resultados, el rendimiento de MFC fue mejor con una salinidad de 6 kgm⁻³; durante 114 días, la producción de potencia más alta fue del MFC con una potencia promedio de 12,78 mW m⁻², las salidas de potencia de 9/15 h y 0/24 h se redujeron claramente debido al efecto del fotoperíodo, mientras que las salidas de potencia de 24/0 h y 16/8 h fueron similares por inhibición de luz; concluyeron que los cambios frecuentes en la prueba del fotoperíodo afectaron la producción de bioelectricidad.

Sarma y Mohanty , (2018) tuvieron como objetivo producir bioelectricidad en una PMFC utilizando *E. aureum* y *D. braunii*, en la metodología, usaron electrodos de cepillo de fibra de carbono modificados con ácido, así como electrodos desnudos en ambos PMFC; los resultados demostraron que el rendimiento máximo de *E. aureum* fue de 620 mV, siendo 188 mV de mayor potencial que *D. braunii*; la generación de bioelectricidad utilizando un electrodo modificado fue 154 mV más alta que la fibra de carbono desnuda; *E. aureum* obtuvo una potencia de salida máxima de 15,38 mW/m² con una resistencia interna de 200 Ω; concluyeron que la biomasa y la bioelectricidad se pueden producir simultáneamente en PMFC.

Hassan et al., (2014) tuvieron como objetivo generar electricidad a partir de la paja de arroz en una MFC inoculada con un cultivo mixto de bacterias que degradan la celulosa (CDB); en la metodología, construyeron los MFC con una cámara de ánodo anaeróbico, inoculado con CDB (2 mL) y se añadió simultáneamente 1 g/L de paja de arroz como donante de electrones, y una

cámara de cátodo aireado que sostuvo la membrana de intercambio de protones (PEM), los resultados muestran que la densidad de potencia alcanzó 145 mW/m² con una concentración inicial de paja de arroz de 1 g/L; mientras que las eficiencias coulombicas (CE) variaron de 54,3 % a 45,3 %, correspondientes a las concentraciones iniciales de paja de arroz de 0,5 g/L - 1 g/L, concluyeron que un cultivo mixto de CDB es capaz de utilizar directamente paja de arroz como sustrato para la producción de electricidad.

Salinas-Juárez, Roquero y Durán-Domínguez-de-Bazúa, (2016) tuvieron como objetivo generar electricidad en BFC con las especies vegetales *P. australis*; en la metodología, construyeron cinco reactores a escala de laboratorio con dos medios de soporte grafito y tezontle, realizaron mediciones de pH y temperatura en el electrolito BFC, los resultados demostraron que los reactores de grafito soportaron una potencia máxima de 26,78 mW/m², los reactores Tezontle operaron con una alta resistencia de activación que suministra 9,73 mW/m²; concluyeron que tanto el grafito como el tezontle presentaron una fuerza electromotriz positiva, siendo potencialmente aplicables como medio de soporte de BFC con plantas.

Guan et al. (2019) tuvieron como objetivo evaluar el potencial de los PMFC para remediar suelos contaminados por Cr(VI), los sistemas PMFC consistieron en macetas de PVC con bolsas de etileno propileno fluorado (FEP) con un fieltro de grafito como material de electrodo, los resultados demostraron que el pH del suelo se transformó de ligeramente ácido a neutro, la eficiencia de eliminación de Cr (VI) en los suelos alcanzaron el 99 %, el voltaje de circuito cerrado de los sistemas de PMFC del *P. chino* alcanzó el valor promedio diario de 469,21 mV; concluyeron que los PMFC es una técnica eficaz para la remediación de suelos contaminados con Cr (VI) y las plantas y materiales de electrodos tendrán un impacto significativo en la producción de electricidad.

Pamintuan et al. (2018) tuvieron como objetivo amplificar la potencia eléctrica mediante apilamiento, utilizaron *I. aquatica* y repollito de agua *P. stratiotes* como plantas modelo en PMFC equipada con un separador de tela de algodón de malla fina y dos varillas de grafito como electrodos, midieron el voltaje, temperatura y humedad durante siete días, obtuvieron los resultados que consistieron en

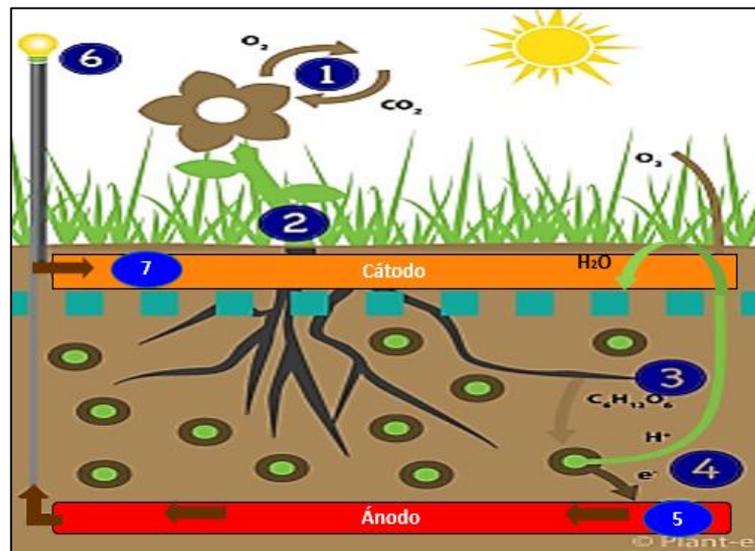
densidades de potencia máximas de $6,35 \text{ mW/m}^2$ para *I. aquatica* y $3,54 \text{ mW/m}^2$ para *P. stratiotes* en PMFC acuáticos; concluyeron que la conexión de tres celdas en serie dio como resultado un voltaje tres veces mayor pero la misma corriente para ambas plantas.

Las fuentes de energía se clasifican en dos grupos: renovables y no renovables. La energía renovable y no renovable se puede convertir en fuentes de energía secundaria como la electricidad y el hidrógeno según Joshi (2015). Las fuentes de energía renovable se reponen de forma natural sin que se agoten en la tierra; Incluyen bioenergía, energía hidroeléctrica, energía geotérmica, energía solar, energía eólica y (mareas) energía oceánica (Owusu y Asumadu-Sarkodie, 2016).

La fotosíntesis ocurre en plantas, algas y muchas especies de bacterias. Los organismos fotosintéticos se llaman fotoautotrófos, ya que producen sus propios alimentos. Convierten la energía de la luz solar a la energía química con la ayuda del dióxido de carbono y el agua según Vyas Ramanan (2013). La fotosíntesis es vital para toda la vida aeróbica de la Tierra. Además de mantener la normalidad de oxígeno en la atmósfera, es la fuente de energía para casi toda la vida en la tierra, ya sea directamente, a través de la producción primaria, o indirectamente. El promedio la energía capturada por la fotosíntesis es inmensa, aproximadamente 130 Tera watts que es aproximadamente seis veces mayor que el consumo de energía de la civilización humana (U.S. Energy Information Administration, 2019).

Es posible desarrollar productos en los que las plantas vivas generan electricidad. Para ello, se suele utilizar la tecnología pila de combustible microbiana (P-MFC). Una planta produce material orgánico (azúcares y oxígeno a partir del CO_2) a través de la fotosíntesis (1). Parte de este material orgánico es utilizado por la planta para su propio crecimiento, trasportándose por toda la planta, la parte restante se excreta a través de raíces del suelo (2). En el suelo, alrededor de las raíces de la planta, las bacterias descomponen el material orgánico (3 y 4). En este proceso de degradación, los electrones y protones se liberan como producto de desecho. Los electrones se recogen en el ánodo (el polo negativo) de la batería de la planta (5); los que fluyen a través del alambre

pueden ser usados como electricidad (6) y otros continúan su viaje hacia el polo positivo, el cátodo. Aquí entran en contacto con el oxígeno del aire y los protones y reaccionan para formar agua (7) tal como se observa en la **Figura 1** (Spark of nature, 2017).



Fuente: (Spark of nature, 2017)

Figura 1 Pila de combustible microbiana.

Las plantas y su función en PMFC: En una operación de PMFC, se utilizan tres grupos de plantas, incluyendo plantas vasculares, macrófitas (hidrófitas) y humedales en la construcción. La selección de las especies adecuadas aumenta el tratamiento deseado y la generación de bioelectricidad. Se debe considerar la cantidad de exudados de raíz producidos y disponibles en la rizosfera, la especie de planta que secreta gran cantidad de rizodepositos se selecciona preferentemente. Las especies de plantas con vías fotosintéticas C4 se usan en PMFC porque tienen altas tasas de conversión de energía solar. Las plantas C4 (por ejemplo, monocotiledóneas/plantas de pasto) exhiben una alta eficiencia fotosintética, lo que conduce a una mayor rizodeposición para servir como sustrato para la oxidación microbiana. Los criterios para la selección de plantas incluyen resistencia, tasa de crecimiento, comunidad microbiana en la rizosfera, extensividad del sistema radicular, tolerancia y capacidad de bioacumulación, disponibilidad local, adaptabilidad y rizodeposición (Kabutey et al., 2019).

Microorganismos en la rizosfera de PMFC: La rizosfera es la región inmediata alrededor de las raíces y la superficie de la raíz se extiende hasta aproximadamente 4 mm donde se insertan los electrodos durante la operación de PMFC. Es compatible con una amplia gama de microbios, actividades microbianas y proporciona superficies para la unión bacteriana debido a la liberación de grandes cantidades de rizodepositos por las raíces de las plantas. En los PMFC, las comunidades microbianas en la rizosfera son diferentes, porque los exudados de las raíces difieren dentro y entre las especies de plantas, y los consorcios microbianos varían con la matriz de soporte o el inóculo y las condiciones de operación. Una variedad diversa de especies bacterianas anódicas encontradas en la rizosfera durante la operación de PMFC incluyen *Natronocella acetinitrilica*, *Beijerinckiaceae*, *Rhizobiales* y *Rhodobacter* (Kabutey et al., 2019).

Características del suelo: La comprensión de las características del suelo es muy importante para la evaluación del desempeño de un PMFC, ya que el consorcio suelo-raíz juega un papel importante en el mantenimiento de la relación entre microbios y plantas en la rizosfera. La presencia de una comunidad bacteriana está influenciada por la estructura del suelo, la textura del suelo, la disponibilidad de nitrógeno y el pH del suelo. El potencial redox del suelo se ve afectado por la presencia de materia orgánica e inorgánica presente en él y sufre continuamente reacciones redox. Por lo tanto, la naturaleza del suelo, con su mundo microbiano, juega un papel fundamental en la producción de electricidad en los PMFC. Además, las propiedades biológicas y fisicoquímicas del suelo influyen mucho en el rendimiento de los PMFC. El mayor rendimiento de los MFC basados en la agricultura podría deberse a las relaciones C/N más bajas (Sarma y Mohanty, 2019).

La hierbabuena (*Mentha spicata*), según (Viviana, López y Fulton López, 2013) la hierba tiene la siguiente clasificación taxonómica: nombre común hierbabuena, nombre científico *Mentha spicata* L., familia botánica Lamiáceas y de familia Labiadas.

La planta herbácea vivaz, con raíces gruesas, extensas e invasivas, que surgen de la parte inferior del tallo, no presenta raíces que sobresalgan por una mayor longitud, cada raíz adventicia forma raíces laterales dando lugar a un

sistema que generalmente es menos profundo y más horizontal, y estolones (brotes laterales) muy superficiales. Puede alcanzar hasta 90 cm de altura. Sus hojas, verdes, opuestas, sencillas y ovaladas, son pecioladas y con los bordes aserrados. Posee flores de color rosa o púrpura que desprenden un olor agradable. Necesita riego regular, pero con poca agua. No resiste la sequía. Prefiere climas húmedos y templados para su desarrollo normal, además, de buena iluminación. Por otro lado, es una planta bastante sensible al frío. Se adapta a una gran diversidad de suelos, es poco exigente, pero prefiere los suelos ligeros, ricos en materia orgánica y con cierta humedad (Lopez, 2014).

La cinta (*Chlorophytum comosum*) presenta la siguiente clasificación taxonómica: nombre común cinta, mala madre, lazo de amor; nombre científico *Chlorophytum comosum*, clase Monocotiledóneas, orden Asparagales, familia Asparagaceae, genero Chloropytum. La cinta es una planta ornamental popular que puede absorber una variedad de gases tóxicos y nocivos. Es fácil criar y cultivar en macetas; Además, la capacidad de resistencia a la inmersión de sus raíces hace que sea una posibilidad de propagación hidropónica (Juan et al., 2015).

En áreas más cálidas donde es posible el cultivo al aire libre, crece a la sombra en suelos bien drenados. Las plantas de interior necesitan luz solar indirecta brillante y riego cuando están en pleno crecimiento. Debe mantenerse en ambientes húmedos y temperaturas superiores a 45 °F (7,2 °C). Las temperaturas ideales son entre 55 °F (12,7 °C) y 70 °F (21,1 °C). La raíz de la cinta tiene un sistema de raíces densas que consiste en tubérculos gruesos, alargados, carnosos, blancos y raíces finas. Los tubérculos tienen una forma cónica en ambos extremos, su longitud es de entre 5 cm y 10 cm y su diámetro entre 0,5 cm y 1 cm (Gawrońska y Bakera, 2015).

La energía limpia se caracteriza por qué no emite o rara vez emite gases de efecto invernadero (sin emisión de contaminantes), lo que favorece una economía baja en carbono, dentro de energía limpia está incluida la energía nuclear, la hidroelectricidad, la energía solar y el consumo de energía eólica (Cai, Sam y Chang, 2018).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de la investigación

La investigación fue de tipo aplicada, que implica la aplicación práctica de la ciencia. Accede y utiliza parte de las teorías, el conocimiento, los métodos y las técnicas de investigación para un propósito específico. Además, la investigación aplicada se ocupa de resolver problemas prácticos y generalmente emplea metodologías empíricas (Quezada, 2010).

El enfoque que se aplicó es cuantitativo según Mousalli-Kayat (2015) y experimental donde se observó el efecto de las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta en la generación de electricidad. El diseño que se aplicó a la presente investigación es experimental ya que se construyó las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta (Bono Cabre, 2012).

El efecto de las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta con respecto a la variable dependiente de generación de electricidad se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Matriz de diseño experimental

Diseño experimental		Pilas de combustible microbiana	
		hierbabuena a ₁	cinta a ₂
Generación de electricidad	Réplica I	y ₁₁	y ₁₂
	Réplica II	y ₂₁	y ₂₂
	Réplica III	y ₃₁	y ₃₂

Se realizaron 2 pilas de combustible microbiano con 3 réplicas como mínimo, para poder tener mayor exactitud entre los resultados obtenidos, por lo que en total se realizó 6 pilas de combustible microbiano.

3.2. Variables y Operacionalización

Variables

Independiente: Plantas *Mentha spicata* y *Chlorophytum comosum*

Dependiente: Bioelectricidad

Operacionalización

Variable Independiente: La hierbabuena (*Mentha spicata*) es una planta que se adapta al clima del valle del Mantaro para su desarrollo, además se caracteriza por ser muy rústica y por lo tanto fácil de cultivar, crece con total facilidad y posee extensas raíces.

La cinta (*Chlorophytum comosum*) es una hierba pequeña que crece a partir del rizoma tuberoso y sus raíces primarias son carnosas, engrosadas y fusiformes; es una planta hortícola que se caracteriza por una alta biomasa y fácil cultivo.

Variable Dependiente: Bioelectricidad

Energía limpia que no generan residuos, son las corrientes eléctricas y los potenciales eléctricos generados o que utilizan fuentes naturales como las plantas.

La operacionalización de las variables mencionadas se encuentra en la **Tabla 2.**

Tabla 2. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
plantas de hierbabuena y cinta	<p>La hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>) es una planta que se adopta al clima del valle del Mantaro para su desarrollo, además se caracteriza por ser muy rústica y por lo tanto fácil de cultivar, crece con total facilidad y posee extensas raíces (Viviana, López y Fulton López, 2013).</p> <p>La cinta (<i>Chlorophytum comosum</i>) es una hierba pequeña que crece a partir del rizoma tuberoso y sus raíces primarias son carnosas, engrosadas y fusiformes; es una planta hortícola que se caracteriza por una alta biomasa y fácil cultivo (Juan et al., 2015).</p>	<p>Comparación de las pilas de combustible microbiana construidas con las plantas de hierbabuena y cinta para evaluar la generación de electricidad con influencia de la luz solar.</p>	<p>Características fisicoquímicas de la tierra</p>	Materia orgánica	%
				pH	acidez
				Fósforo (P)	ppm
				Potasio (K)	ppm
				Aluminio (Al)	me/100 g
				Nitrógeno (N)	%
			textura		
Radiación solar	Radiación solar global	W/m ²			
Variables monitoreadas	Temperatura	°C			
	pH	Básico Acido			
Cantidad de bioelectricidad	<p>Energía limpia que no generan residuos, son las corrientes eléctricas y los potenciales eléctricos generados o que utilizan fuentes naturales como las plantas (Cai, Sam y Chang, 2018)</p>	<p>Energía eléctrica generada en las pilas de combustible microbiana con el fin de generar energía limpia</p>	<p>Cantidad de bioelectricidad</p>	Tensión Eléctrica	V
				Intensidad Eléctrica	A
				Potencia máxima	W

3.3. Población, muestra y muestreo

Población

Las plantas de *Mentha spicata* sembradas que posean optimas características morfológicas.

Muestra

El tamaño de la muestra fue de 4 plantas de *Mentha spicata* y *Chlorophytum comosum* por macetero, siendo necesario que dichas plantas presenten hojas verdes y raíces largas y abundantes.

Unidad muestral

La unidad muestral fueron para las plantas fueron 4 plantas de hierbabuena y cinta, de las cuales fueron analizadas, el color, longitud y cantidad de las hojas, longitud de raíz y tallo.

Antes de iniciar el ensayo, se tomó una muestra de 1 kg de la tierra donde creció la hierbabuena y cinta respectivamente para mandarlas al laboratorio de suelos del INIA para su análisis fisicoquímico correspondiente.

Asímismo, se preparó una tierra con compost y tierra negra rica en nutrientes para ser utilizada en las pilas de combustible microbiana, antes de iniciar el ensayo, se tomó una muestra de 1Kg, la cual fue enviada al laboratorio de suelos del INIA para su análisis fisicoquímico correspondiente.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Las técnicas corresponden a la observación de campo y experimentos en el laboratorio.

Las técnicas e instrumentos que se utilizarán se detallan en la **Tabla 3:**

Tabla 3. Técnicas e instrumentos que se utilizaron en el proyecto de investigación.

ETAPA	FUENTE	TÉCNICA	INSTRUMENTO	RESULTADO
Estudio del proyecto de investigación	Material bibliográfico	Observación	Formato de campo	Información de las plantas de hierbabuena y cinta
Obtención de plantas	Viveros de Concepción	Observación	Ficha de campo. Guía para la plantación de hierbabuena Guía para el trasplante de Cinta	Crecimiento de las plantas de hierbabuena y cinta
Montaje experimental de las pilas de combustible microbiana	Material bibliográfico	Observación	Ficha de campo	Pilas de combustible microbiana
Generación de electricidad	Maceteros de pilas de combustible microbiana y luz solar	Observación	Ficha de campo Sistema de adquisición de datos biológicos	Alumbrado de las viviendas de Yanacancha
Análisis de resultados	Resultados de los análisis realizados	Observación	Ficha de resultados de la tierra de la rizosfera	Características fisicoquímicas
	Resultados de las mediciones realizadas	Observación	Ficha de campo	Ficha de pH y temperatura de suelos medidos
	Resultados de registros de radiación	Observación	registros de radiación solar al Instituto Geofísico del Perú-Huayao	Fichas de radiación solar
		Observación	Ficha de resultados obtenidos mediante software estadísticos (R, Minitab, Excel) Ficha de validación de	Comprobación de los objetivos y las hipótesis

3.5. Procedimiento

3.5.1. Ubicación de la investigación

La investigación se desarrolló en el barrio Centro en el distrito de Yanacancha en la provincia de Chupaca tal como se observa en la **Figura 2**.

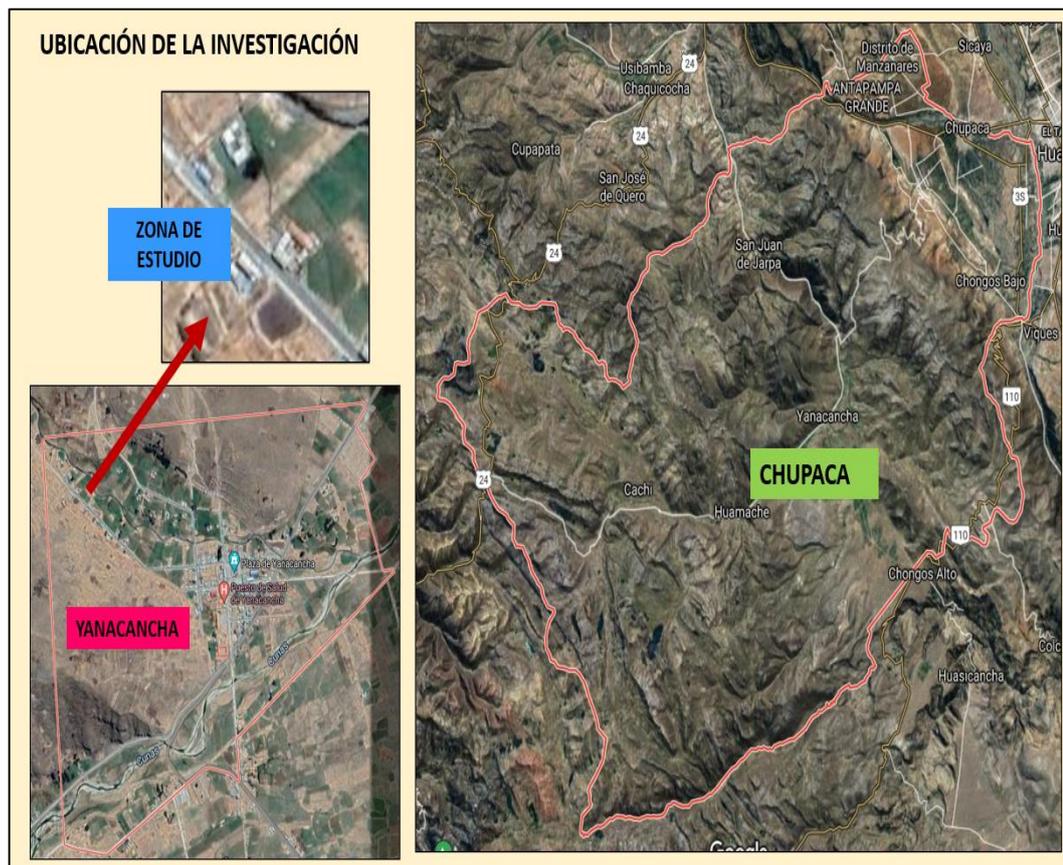


Figura 2. Ubicación de la zona de estudio

3.5.1. Etapas de la investigación

El proyecto de investigación constó de 6 etapas tal como se describe en el diagrama del procedimiento del parte experimental presentado en la **Figura 3**.

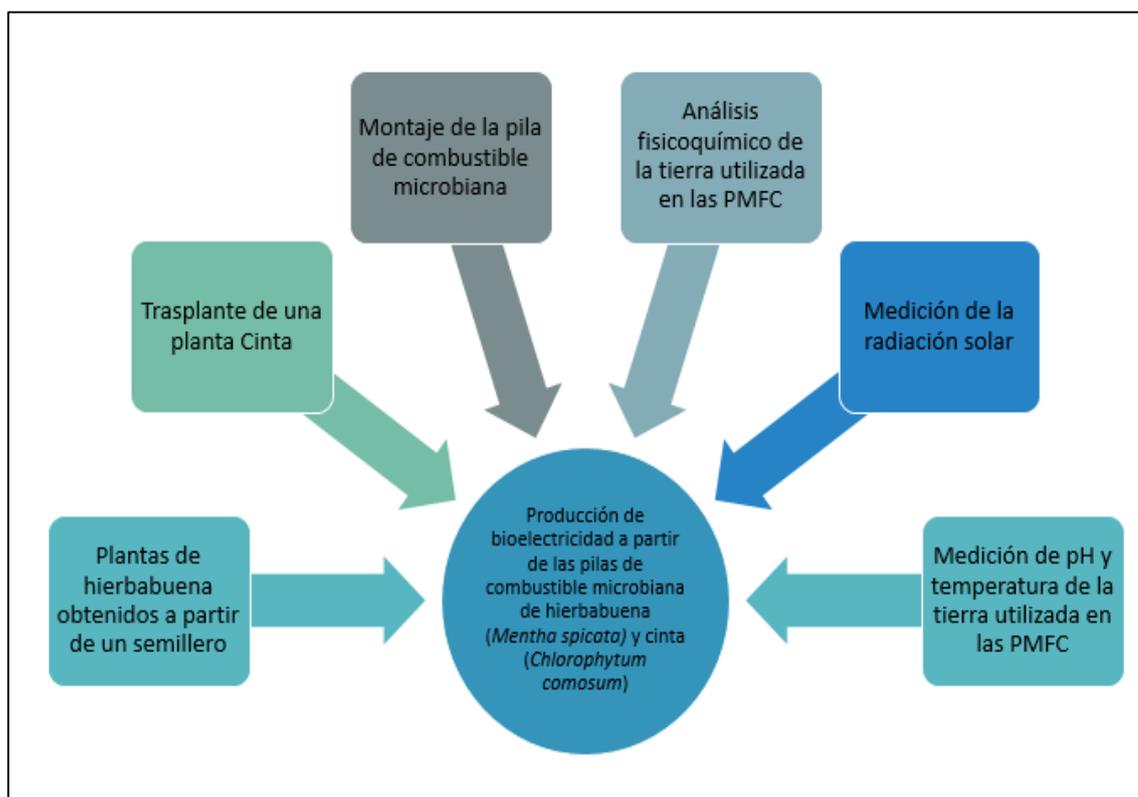


Figura 3. Diagrama de proceso experimental

Seguidamente, se dio a conocer el procedimiento que se tomó en cuenta en cada etapa del desarrollo de la parte experimental:

A. ETAPA I: Obtención de plantas de hierbabuena a partir de un semillero

Esta planta medicinal es apta para esta investigación, ya que, posee en su base un rizoma del que salen varios tallos subterráneos de color violeta oscuro, que crecen en todas las direcciones según Rojas (2010), lo que hace posibles mayor cantidad de conexiones de raíces en el ánodo y por tanto el número de electrones.

En primer lugar, se distribuyó 100 semillas a voleo sobre él una vez humedecido y se dio el primer riego. Tras unas semanas comenzó su germinación, cuando las plántulas tuvieron de tres a cuatro pares de hojas

verdaderas (unos cinco centímetros) se procedió a obtener los esquejes (Saray, C., Ugás, 2001).

Para la obtención de los 12 esquejes de hierbabuena, se siguió los siguientes procedimientos (Saray, C., Ugás, 2001).

- Se cortó 12 ramas justo por debajo de un nudo y se retiró las hojas de los tallos (para evitar que se pudran). La medida ideal entre el principio del tallo y la primera hora es de 7 cm y 12 cm.
- Se depositó en agua en una botella, luego se sumergieron los 12 tallos en las botellas. Se esperó hasta que salguen raíces a una medida de 5 cm (medida ideal).
- Luego estuvo listo para poder ser plantado a las pilas de combustible microbiana para posteriormente generar electricidad.

B. ETAPA II: Trasplante de una planta de Cinta

Se compró una plantación de cinta o lazo de amor que presente tallos, los que presentaran asimismo pequeñas flores, se utilizó esta sección de la planta para realizar la reproducción, debido a que presenta una zona superior con hojas y una zona inferior con pequeñas raíces latentes.

El tamaño adecuado del tallo que presentaron las flores dispuestas para ser trasplantada fue de 15 cm, 12 de estos brotes fueron introducidos en la tierra presionando ligeramente, los trasplantes se mantuvieron en lugares que llegue la luz del sol y se regó con aspersor para propiciar su crecimiento que se hizo notorio a los 15 días.

C. ETAPA III: Montaje de la pila de combustible microbiana

Para el desarrollo de las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta para la generación de electricidad, se desarrolló los siguientes procedimientos (Pamintuan et al., 2018):

- Se adquirió 07 maceteros cilíndricos de dimensiones de 10 cm de altura y 5 cm de diámetro (Sophia y Sreeja, 2017).
- Cada macetero estuvo equipado con un separador de tela de algodón de malla fina, con dimensiones similares a su sección transversal (figura 5).
- Se usaron dos varillas de grafito ($A = 4,85 \times 10^{-4}m^2$) como electrodos (buen conductor, económico y ecológico); el cátodo se aseguró al

fondo del contenedor mientras que el ánodo se aseguró cerca de las densas raíces de las plantas.

- Se perforaron agujeros en los lados de las celdas para permitir el paso de cables de cobre trenzados. Las uniones entre el electrodo de grafito y los alambres de cobre se sellaron para evitar la exposición del cobre.
- El separador de tela de algodón se colocó a 2 pulgadas del fondo de la pila y se aseguró a los lados de la pila.
- Se recogieron plantas de hierbabuena y cinta medianas de tamaño similar para el experimento y se colocaron inmediatamente en su pila correspondiente (3 pilas de combustible microbiana para hierbabuena y 3 para cinta) directamente en la cámara anódica con su sistema radicular en el ánodo tal como se ve en la **Figura 4**.

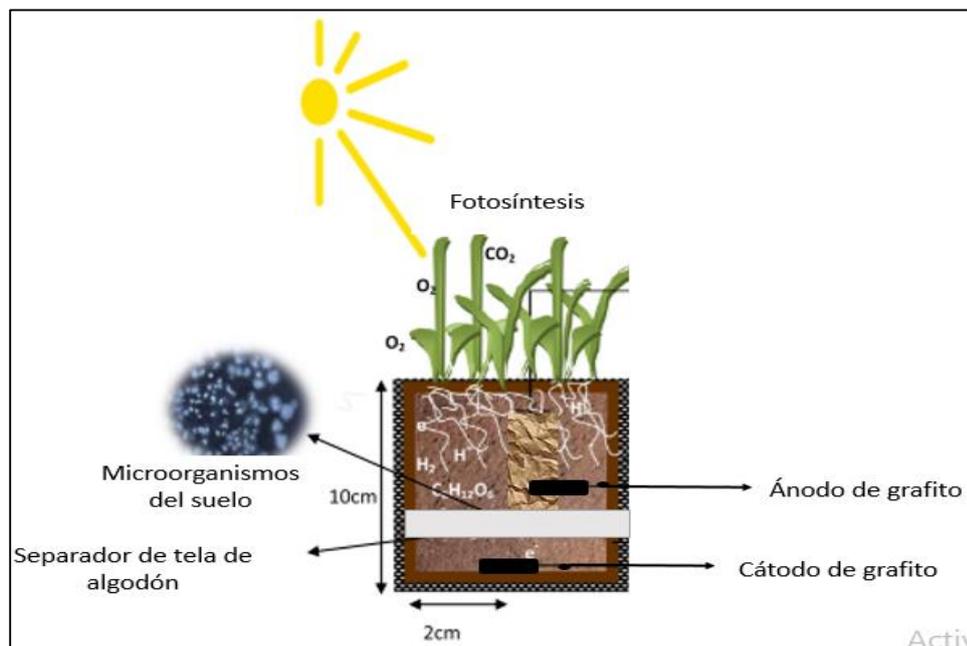


Figura 4. Esquema de montaje experimental

- Posteriormente las pilas de combustible microbiana fueron llenadas con tierra negra o de terrenos de cultivo.
- El sistema fue operado de modo continuo con tensión de circuito abierto (OCV). La resistencia externa fue de 100Ω , para completar el circuito del sistema, en todos los casos (Moqsud et al., 2015).

- La tensión y la corriente fueron medidos con un multímetro digital. La salida del electrodo se midió en voltios (V) contra el tiempo. La corriente I en Amperios (A) fue calculada usando la ley de Ohm,

$$I = V/R \quad (1)$$

Dónde:

V: es la tensión medida en voltios (V)

R: es el valor conocido de la resistencia de la carga externa en ohmios (100 ohmios en este estudio).

A partir de esto, fue posible calcular la potencia de salida P en vatios (W) del ánodo tomando el producto de la tensión y la corriente, es decir:

$$P = I \times V \quad (2)$$

- Las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta fueron regadas con agua potable; el experimento fue llevado a cabo en condiciones naturales (luz solar directa). Los maceteros fueron colocados bajo condiciones de luz natural durante 12 h al día (Sophia y Sreeja, 2017).
- Los voltajes originados en las pilas de combustible microbianas de la hierbabuena y la cinta, fueron monitoreados, todos los días a las 9 a.m., 3 p.m. y 9 p.m., durante 1 semana; previamente se monitoreó su funcionamiento durante un par de semanas para reconocer que está listo el prototipo (Logan y Regan, 2006).
- En la **Figura 5 y 6** se observa el montaje experimental de la medición de voltaje eléctrico generado en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta respectivamente.



Figura 5. Montaje experimental del voltaje eléctrico generado en la pila de combustible microbiana de hierbabuena



Figura 6. Montaje experimental del voltaje eléctrico generado en la pila de combustible microbiana de cinta

D. ETAPA IV: Análisis fisicoquímico de la tierra utilizada en las PMFC

Antes de la generación de electricidad, una porción de tierra de la hierbabuena y cinta fueron muestreadas para mandarlas al laboratorio de suelos del INIA para su análisis fisicoquímico correspondiente.

Así mismo, se preparó una porción de tierra adecuada para el crecimiento de ambas plantas, con buenas características respecto a los

nutrientes y este también se envió analizar al laboratorio de suelos del INIA para su análisis fisicoquímico correspondiente, dicho reporte se encuentra en los anexos.

E. ETAPA V: Medición de la radiación solar

Para conocer la radiación solar de todos los días de la semana en la que se monitoreo la generación de energía eléctrica a partir de las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta, se pidieron los registros de radiación solar al Instituto Geofísico del Perú-Huayao en la provincia de Chupaca.

F. ETAPA V: Medición del pH y temperatura de la tierra utilizada en las PMFC

La medición del pH y temperatura del suelo utilizado en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta, se realizaron antes y durante las pruebas para la generación eléctrica, cada día a las 9 a.m., 3 p.m. y 9 p.m., durante 1 semana.

3.6. Método de análisis de datos

La contrastación de hipótesis general se realizó mediante la prueba de t de Student para determinar que pila de combustible microbiano de hierbabuena o cinta generó mayor energía eléctrica, asimismo se hicieron pruebas de normalidad, pruebas de igualdad de varianza y pruebas de comparación múltiple de Fisher.

Para la segunda y tercera hipótesis específica se realizaron pruebas de correlación de Pearson y se halló el coeficiente de determinación.

3.7. Aspectos éticos

El proyecto de investigación respetó la propiedad intelectual, citando a los autores y la ética en investigación de la universidad, RCU N° 0126-2017/UCV. Además, se ajusta a la Resolución Rectoral N° 0089 - 2019/UCV, Reglamento de investigación de la Universidad César Vallejo y mediante Disposición N° 7.4 de la Resolución de Vicerrectorado de Investigación N° 008-2017-VI/UCV: la cual se verificó mediante el turnitin la evidencia de no copia del proyecto de investigación, el mismo que brindo un resultado de.

Las veracidades de los datos presentados se sustentan con el registro fotográfico e informes de ensayos.

Todos los ensayos realizados respetaron el ambiente, evitando la destrucción de las plantas utilizadas, y la generación de residuos sólidos; por lo contrario, brindaron una alternativa ecoamigable a la generación de electricidad.

En la **Tabla 4** se presenta la relación de los docentes que amablemente realizaron la validación de los instrumentos planteados en la investigación.

Tabla 4. Relación de docentes que realizaron la validación de instrumentos

FICHAS DE VALIDACIÓN		
NOMBRE Y APELLIDO	DNI	COLEGIATURA
M.Sc. Erika Zuñiga Almonacid	45165028	110701
M.Sc. Güere Salazar Fiorella Vanessa	43566120	131344
M.Sc. Henry Ochoa León	42776990	124832

IV. RESULTADOS

4.1. Bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana

4.1.1. Tensión generada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena

La tensión eléctrica monitoreada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena en las tres réplicas se tabuló en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Tensión eléctrica medida en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena

HIERBABUENA			
RÉPLICAS	INICIO	HORA DE MEDICIÓN	VOLTAJE (mV)
R1		9 a.m.	19,18
R1	DIA 1	3 p.m.	22,09
R1		9 p.m.	21,89
R1		9 a.m.	22,83
R1	DIA 2	3 p.m.	19,35
R1		9 p.m.	20,62
R1		9 a.m.	16,06
R1	DIA 3	3 p.m.	12,90
R1		9 p.m.	25,40
R1		9 a.m.	21,30
R1	DIA 4	3 p.m.	12,60
R1		9 p.m.	13,80
R1		9 a.m.	105,40
R1	DIA 5	3 p.m.	109,40
R1		9 p.m.	100,10
R1		9 a.m.	240,40
R1	DIA 6	3 p.m.	250,60
R1		9 p.m.	200,10
R1		9 a.m.	151,20
R1	DIA 7	3 p.m.	137,50
R1		9 p.m.	128,90
R2			9 a.m.
R2	DIA 1	3 p.m.	21,58
R2		9 p.m.	21,03
R2		9 a.m.	22,61
R2	DIA 2	3 p.m.	18,99
R2		9 p.m.	20,34
R2		9 a.m.	16,02
R2	DIA 3	3 p.m.	13,47

R2		9 p.m.	23,70
R2		9 a.m.	20,90
R2	DIA 4	3 p.m.	14,13
R2		9 p.m.	15,70
R2		9 a.m.	106,10
R2	DIA 5	3 p.m.	110,17
R2		9 p.m.	101,28
R2		9 a.m.	239,80
R2	DIA 6	3 p.m.	245,10
R2		9 p.m.	213,00
R2		9 a.m.	149,40
R2	DIA 7	3 p.m.	138,03
R2		9 p.m.	131,30
R3		9 a.m.	19,60
R3	DIA 1	3 p.m.	23,01
R3		9 p.m.	21,92
R3		9 a.m.	22,94
R3	DIA 2	3 p.m.	19,40
R3		9 p.m.	20,71
R3		9 a.m.	16,06
R3	DIA 3	3 p.m.	13,54
R3		9 p.m.	20,17
R3		9 a.m.	23,02
R3	DIA 4	3 p.m.	16,81
R3		9 p.m.	14,93
R3		9 a.m.	108,70
R3	DIA 5	3 p.m.	112,02
R3		9 p.m.	102,63
R3		9 a.m.	234,30
R3	DIA 6	3 p.m.	240,40
R3		9 p.m.	215,21
R3		9 a.m.	150,06
R3	DIA 7	3 p.m.	142,18
R3		9 p.m.	132,14

En la **Tabla 5** se observa las tensiones eléctricas o voltajes eléctricos medidos a las 9 a.m., 3 p.m. y 9 p.m. durante 1 semana en tres pilas de combustible microbiana de hierbabuena mismos que representan la réplica 1, 2 y 3; observando que en el transcurso de los días el voltaje se incrementó hasta 250,60 V en la pila de combustible microbiana de hierbabuena de la primera réplica, sin embargo, se observa que en el día 7 el voltaje generado en las pilas de combustible microbiana disminuyó.

4.1.2. Intensidad y potencial eléctrico generados en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena

Utilizando los datos de la **Tabla 5** y considerando que la resistencia externa fue de 100 Ω , se aplicó la fórmula (2) para determinar la intensidad eléctrica, y al analizar este dato en la fórmula (3) se halló la potencia de salida, valores que se muestran en la **Tabla 6**.

Tabla 6. Intensidad y potencial eléctrico medidos en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena

HIERBABUENA				
RÉPLICAS	INICIO	HORA DE MEDICIÓN	INTENCIDAD (mA)	POTENCIAL ($\times 10^{-6}$ W)
R1		9 a.m.	0,19	3,68
R1	DIA 1	3 p.m.	0,22	4,88
R1		9 p.m.	0,22	4,79
R1		9 a.m.	0,23	5,21
R1	DIA 2	3 p.m.	0,19	3,74
R1		9 p.m.	0,21	4,25
R1		9 a.m.	0,16	2,58
R1	DIA 3	3 p.m.	0,13	1,66
R1		9 p.m.	0,25	6,45
R1		9 a.m.	0,21	4,54
R1	DIA 4	3 p.m.	0,13	1,59
R1		9 p.m.	0,14	1,90
R1		9 a.m.	1,05	111,09
R1	DIA 5	3 p.m.	1,09	119,68
R1		9 p.m.	1,00	100,20
R1		9 a.m.	2,40	577,92
R1	DIA 6	3 p.m.	2,51	628,00
R1		9 p.m.	2,00	400,40
R1		9 a.m.	1,51	228,61
R1	DIA 7	3 p.m.	1,38	189,06
R1		9 p.m.	1,29	166,15
R2			9 a.m.	0,20
R2	DIA 1	3 p.m.	0,22	4,66
R2		9 p.m.	0,21	4,42
R2		9 a.m.	0,23	5,11
R2	DIA 2	3 p.m.	0,19	3,61
R2		9 p.m.	0,20	4,14
R2		9 a.m.	0,16	2,57
R2	DIA 3	3 p.m.	0,13	1,81
R2		9 p.m.	0,24	5,62
R2		9 a.m.	0,21	4,37

R2		3 p.m.	0,14	2,00
R2		9 p.m.	0,16	2,46
R2		9 a.m.	1,06	112,57
R2	DIA 5	3 p.m.	1,10	121,37
R2		9 p.m.	1,01	102,58
R2		9 a.m.	2,40	575,04
R2	DIA 6	3 p.m.	2,45	600,74
R2		9 p.m.	2,13	453,69
R2		9 a.m.	1,49	223,20
R2	DIA 7	3 p.m.	1,38	190,52
R2		9 p.m.	1,31	172,40
R3		9 a.m.	0,20	3,84
R3	DIA 1	3 p.m.	0,23	5,29
R3		9 p.m.	0,22	4,80
R3		9 a.m.	0,23	5,26
R3	DIA 2	3 p.m.	0,19	3,76
R3		9 p.m.	0,21	4,29
R3		9 a.m.	0,16	2,58
R3	DIA 3	3 p.m.	0,14	1,83
R3		9 p.m.	0,20	4,07
R3		9 a.m.	0,23	5,30
R3	DIA 4	3 p.m.	0,17	2,83
R3		9 p.m.	0,15	2,23
R3		9 a.m.	1,09	118,16
R3	DIA 5	3 p.m.	1,12	125,48
R3		9 p.m.	1,03	105,33
R3		9 a.m.	2,34	548,96
R3	DIA 6	3 p.m.	2,40	577,92
R3		9 p.m.	2,15	463,15
R3		9 a.m.	1,50	225,18
R3	DIA 7	3 p.m.	1,42	202,15
R3		9 p.m.	1,32	174,61

En la **Tabla 6** se observa que la intensidad eléctrica se fue incrementando en el transcurso de los días hasta una máxima intensidad de 2,51 mA en la primera réplica, del mismo modo el potencial eléctrico se incrementó con el transcurso de los días hasta $628,00 \times 10^{-6} \text{ W}$ registrado a las 3 p. m. en el sexto día de generación de bioelectricidad.

El voltaje, intensidad y potencial eléctrico generados en las pilas de combustible microbiana en las tres réplicas presentaron valores próximos entre si con varianzas mínimas, por esto se halló un

promedio de los resultados obtenidos en las tres réplicas, tal como se muestra en la **Tabla 7**.

Tabla 7. Promedios de voltaje, intensidad y potencial eléctrica medidos en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena

HIERBABUENA				
DÍA DE ENSAYO	HORA DE MONITOREO	VOLTAJE (mV)	INTENSIDAD (mA)	POTENCIAL ($\times 10^{-6}$ W)
1	9 a.m.	19,60	0,20	3,84
	3 p.m.	22,23	0,22	4,94
	9 p.m.	21,61	0,22	4,67
2	9 a.m.	22,79	0,23	5,20
	3 p.m.	19,25	0,19	3,70
	9 p.m.	20,56	0,21	4,23
3	9 a.m.	16,05	0,16	2,57
	3 p.m.	13,30	0,13	1,77
	9 p.m.	23,09	0,23	5,38
4	9 a.m.	21,74	0,22	4,73
	3 p.m.	14,51	0,15	2,14
	9 p.m.	14,81	0,15	2,20
5	9 a.m.	106,73	1,07	113,94
	3 p.m.	110,53	1,11	122,18
	9 p.m.	101,34	1,01	102,70
6	9 a.m.	238,17	2,38	567,31
	3 p.m.	245,37	2,45	602,22
	9 p.m.	209,44	2,09	439,08
7	9 a.m.	150,22	1,50	225,67
	3 p.m.	139,24	1,39	193,91
	9 p.m.	130,78	1,31	171,05

En la **Tabla 7** se observa que en la pila de combustible microbiana de hierbabuena el máximo voltaje registrado fue de 245,37 mV en contraste con el mínimo voltaje registrado de 13,30 mV, respecto a la intensidad y potencial eléctrico los mayores valores hallados fueron 2,45 mA y 602,22 $\times 10^{-6}$ W respectivamente.

Para observar cómo fluctuó la bioelectricidad generada en la pila de combustible microbiana de hierbabuena durante los días de estudio se realizó una gráfica combinada presentada en la **Figura 7**.

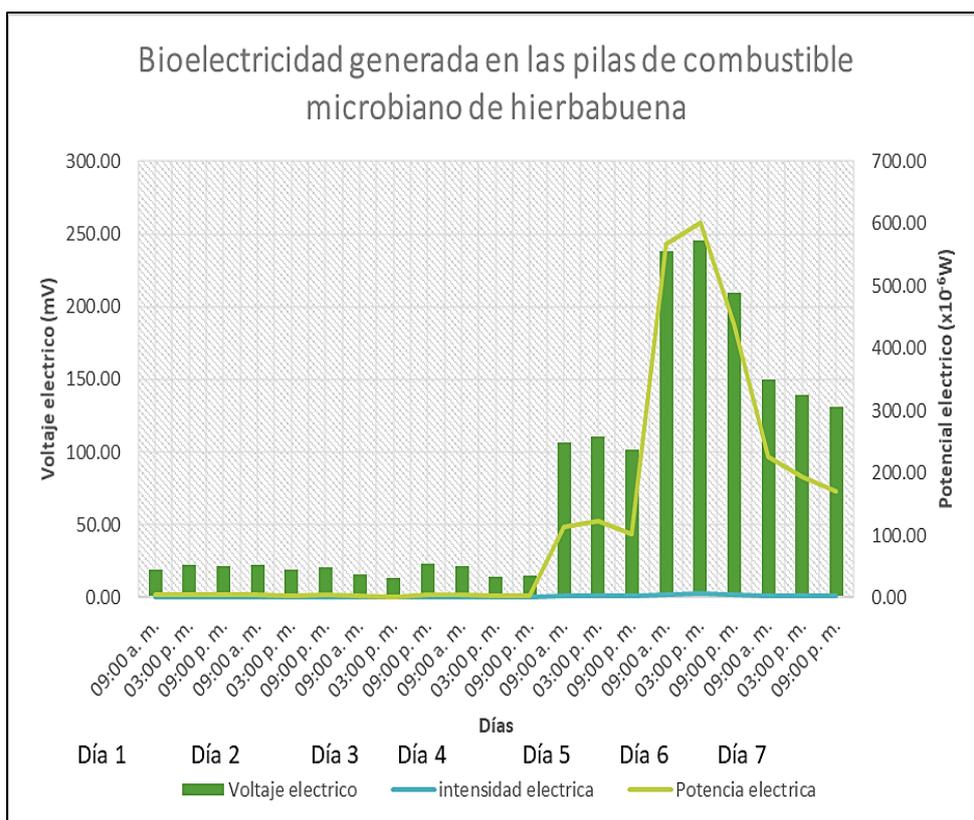


Figura 7. Bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de Hierbabuena

En la **Figura 7** se observa que el potencial eléctrico no presentó grandes variaciones en relación a la intensidad eléctrica, además respecto al voltaje eléctrico se observa que en el sexto día la intensidad eléctrica generada fue máxima, mientras que en los primeros cuatro días del ensayo las intensidades fueron próximas.

4.1.3. Tensión generada en las pilas de combustible microbiana de cinta

La tensión eléctrica monitoreada en las pilas de combustible microbiana de cinta se tabuló en la **Tabla 8**.

Tabla 8. Tensión eléctrica medida en las pilas de combustible microbiana de cinta

CINTA			
RÉPLICAS	INICIO	HORA DE MEDICIÓN	VOLTAJE (mV)
R1		9 a.m.	25,90
R1	DIA 1	3 p.m.	29,13
R1		9 p.m.	28,78
R1		9 a.m.	37,60
R1	DIA 2	3 p.m.	41,30
R1		9 p.m.	49,50
R1		9 a.m.	52,30
R1	DIA 3	3 p.m.	49,40
R1		9 p.m.	48,60
R1		9 a.m.	252,50
R1	DIA 4	3 p.m.	253,70
R1		9 p.m.	253,80
R1		9 a.m.	504,70
R1	DIA 5	3 p.m.	502,30
R1		9 p.m.	502,80
R1		9 a.m.	440,50
R1	DIA 6	3 p.m.	470,40
R1		9 p.m.	470,00
R1		9 a.m.	420,60
R1	DIA 7	3 p.m.	470,80
R1		9 p.m.	480,10
R2		9 a.m.	24,18
R2	DIA 1	3 p.m.	28,56
R2		9 p.m.	29,03
R2		9 a.m.	39,54
R2	DIA 2	3 p.m.	42,06
R2		9 p.m.	50,01
R2		9 a.m.	51,86
R2	DIA 3	3 p.m.	50,18
R2		9 p.m.	49,38
R2		9 a.m.	53,42
R2	DIA 4	3 p.m.	54,26
R2		9 p.m.	52,94
R2		9 a.m.	506,00
R2	DIA 5	3 p.m.	504,23
R2		9 p.m.	505,02
R2		9 a.m.	448,90
R2	DIA 6	3 p.m.	472,30
R2		9 p.m.	481,03
R2	DIA 7	9 a.m.	418,50

R2		3 p.m.	475,48
R2		9 p.m.	479,20
R3		9 a.m.	23,91
R3	DIA 1	3 p.m.	28,26
R3		9 p.m.	30,02
R3		9 a.m.	38,60
R3	DIA 2	3 p.m.	41,67
R3		9 p.m.	49,97
R3		9 a.m.	52,08
R3	DIA 3	3 p.m.	50,32
R3		9 p.m.	49,51
R3		9 a.m.	54,25
R3	DIA 4	3 p.m.	53,58
R3		9 p.m.	51,97
R3		9 a.m.	503,90
R3	DIA 5	3 p.m.	509,83
R3		9 p.m.	504,89
R3		9 a.m.	445,56
R3	DIA 6	3 p.m.	480,10
R3		9 p.m.	482,97
R3		9 a.m.	423,59
R3	DIA 7	3 p.m.	495,00
R3		9 p.m.	486,00

En la **Tabla 8** se observa que la tensión máxima se registró en el día 5, alcanzando un valor de 509,83 mV en la tercera réplica, además se observa que en el transcurso de los días la tensión se fue incrementando hasta el quinto día a partir del cual la tensión registrada disminuyó, en las tres réplicas se observó que las tensiones eléctricas fueron similares debido a que sufrieron las mismas condiciones operacionales.

4.1.4. Intensidad y potencial eléctrico generados en las pilas de combustible microbiana de cinta

Con los datos observados en la **Tabla 8** se aplicó la formula (2) para determinar la intensidad eléctrica, y al analizar este dato en la formula (3) se halló la potencia de salida, valores que se muestran en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Intensidad y potencial eléctrico medidos en las pilas de combustible microbiana de cinta

CINTA				
RÉPLICAS	INICIO	HORA DE MEDICIÓN	INTENCIDAD (mA)	POTENCIAL ($\times 10^{-6}$ W)
R1		9 a.m.	0,26	6,71
R1	DÍA 1	3 p.m.	0,29	8,49
R1		9 p.m.	0,29	8,28
R1		9 a.m.	0,38	14,14
R1	DÍA 2	3 p.m.	0,41	17,06
R1		9 p.m.	0,50	24,50
R1		9 a.m.	0,52	27,35
R1	DIA 3	3 p.m.	0,49	24,40
R1		9 p.m.	0,49	23,62
R1		9 a.m.	2,53	637,56
R1	DIA 4	3 p.m.	2,54	643,64
R1		9 p.m.	2,54	644,14
R1		9 a.m.	5,05	2547,22
R1	DIA 5	3 p.m.	5,02	2523,05
R1		9 p.m.	5,03	2528,08
R1		9 a.m.	4,41	1940,40
R1	DIA 6	3 p.m.	4,70	2212,76
R1		9 p.m.	4,70	2209,00
R1		9 a.m.	4,21	1769,04
R1	DIA 7	3 p.m.	4,71	2216,53
R1		9 p.m.	4,80	2304,96
R2			9 a.m.	0,24
R2	DIA 1	3 p.m.	0,29	8,16
R2		9 p.m.	0,29	8,43
R2		9 a.m.	0,40	15,63
R2	DIA 2	3 p.m.	0,42	17,69
R2		9 p.m.	0,50	25,01
R2		9 a.m.	0,52	26,89
R2	DIA 3	3 p.m.	0,50	25,18
R2		9 p.m.	0,49	24,38
R2		9 a.m.	0,53	28,54
R2	DIA 4	3 p.m.	0,54	29,44
R2		9 p.m.	0,53	28,03
R2		9 a.m.	5,06	2560,36
R2	DIA 5	3 p.m.	5,04	2542,48
R2		9 p.m.	5,05	2550,45
R2		9 a.m.	4,49	2015,11
R2	DIA 6	3 p.m.	4,72	2230,67
R2		9 p.m.	4,81	2313,90
R2		9 a.m.	4,19	1751,42

R2		3 p.m.	4,75	2260,81
R2		9 p.m.	4,79	2296,33
R3		9 a.m.	0,24	5,72
R3	DIA 1	3 p.m.	0,28	7,99
R3		9 p.m.	0,30	9,01
R3		9 a.m.	0,39	14,90
R3	DIA 2	3 p.m.	0,42	17,36
R3		9 p.m.	0,50	24,97
R3		9 a.m.	0,52	27,12
R3	DIA 3	3 p.m.	0,50	25,32
R3		9 p.m.	0,50	24,51
R3		9 a.m.	0,54	29,43
R3	DIA 4	3 p.m.	0,54	28,71
R3		9 p.m.	0,52	27,01
R3		9 a.m.	5,04	2539,15
R3	DIA 5	3 p.m.	5,10	2599,27
R3		9 p.m.	5,05	2549,14
R3		9 a.m.	4,46	1985,24
R3	DIA 6	3 p.m.	4,80	2304,96
R3		9 p.m.	4,83	2332,60
R3		9 a.m.	4,24	1794,28
R3	DIA 7	3 p.m.	4,95	2450,25
R3		9 p.m.	4,86	2361,96

En la **Tabla 9** se observa la intensidad eléctrica y potencial eléctrico que se registraron en la pila de combustible microbiana de la planta cinta, se observa que la mayor intensidad eléctrica registrada fue de 5,10 mA registrado el quinto día a las 3 p.m. en la tercera réplica, además se observa que el potencial eléctrico fue de $2599,27 \times 10^{-6}$ W; asimismo, se observa que a partir del día 5 tanto la intensidad y el potencial eléctrico disminuyeron.

El voltaje, intensidad y potencial eléctrico generados en las pilas de combustible microbiana de cinta en las tres réplicas presentaron valores próximos entre si con varianzas mínimas, por esto se halló un promedio de los resultados obtenidos en las tres réplicas, tal como se muestra en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Promedios de voltaje, intensidad y potencial eléctrica medidos en las pilas de combustible microbiana de cinta

CINTA				
DÍA DE ENSAYO	HORA DE MONITOREO	VOLTAJE (mV)	INTENSIDAD (mA)	POTENCIAL ($\times 10^{-6}$ W)
1	9 a.m.	24,66	0,25	6,09
	3 p.m.	28,65	0,29	8,21
	9 p.m.	29,28	0,29	8,57
2	9 a.m.	38,58	0,39	14,89
	3 p.m.	41,68	0,42	17,37
	9 p.m.	49,83	0,50	24,83
3	9 a.m.	52,08	0,52	27,12
	3 p.m.	49,97	0,50	24,97
	9 p.m.	49,16	0,49	24,17
4	9 a.m.	120,06	1,20	231,84
	3 p.m.	120,51	1,21	233,93
	9 p.m.	119,57	1,20	233,06
5	9 a.m.	504,87	5,05	2548,91
	3 p.m.	505,45	5,05	2554,93
	9 p.m.	504,24	5,04	2542,56
6	9 a.m.	444,99	4,45	1980,25
	3 p.m.	474,27	4,74	2249,46
	9 p.m.	478,00	4,78	2285,17
7	9 a.m.	420,90	4,21	1771,58
	3 p.m.	480,43	4,80	2309,20
	9 p.m.	481,77	4,82	2321,08

En la **Tabla 10** se observa que en la pila de combustible microbiana de cinta el voltaje máximo generado fue de 505,45 mV en contraste el mínimo voltaje generado fue de 24,66 mV, mientras que la intensidad y potencial eléctrico máximo fueron 5,05 mA y 2554,93 $\times 10^{-6}$ W respectivamente.

Para observar cómo fluctuó la bioelectricidad generada en la pila de combustible microbiana de cinta durante los días de estudio se realizó una gráfica combinada presentada en la **Figura 8**.

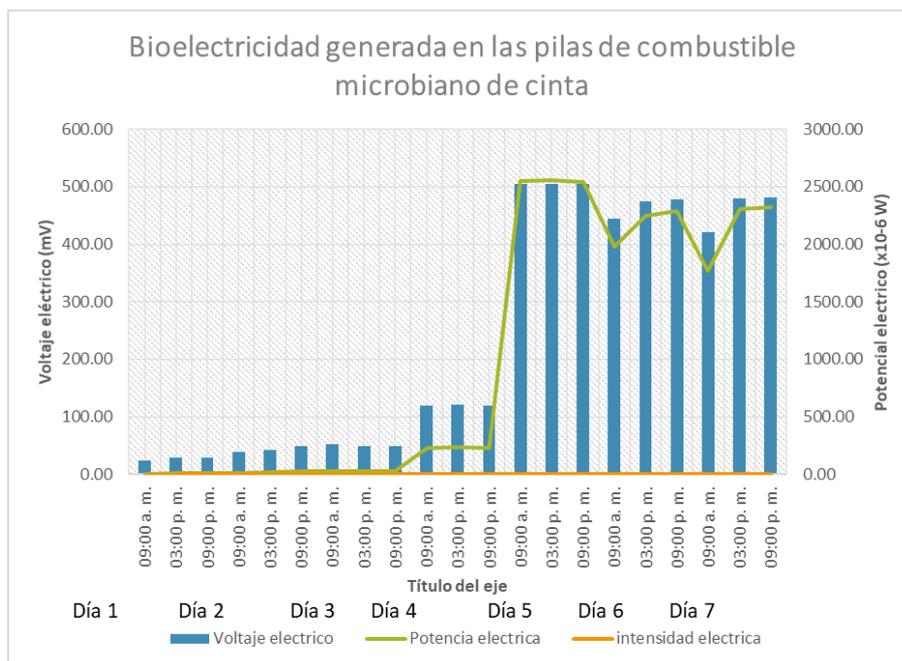


Figura 8. Bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de Cinta

En la **Figura 8** se observa que en el cuarto día el voltaje, la intensidad y el potencial eléctrico tuvieron un pequeño incremento en comparación de los primeros días de ensayo; sin embargo, en el quinto día se observa un incremento considerable en la generación de bioelectricidad, valores que fluctuaron en el transcurso del sexto al séptimo día.

Se comparó la bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta, determinando que pila es la más eficiente para la generación de bioelectricidad en el distrito de Yanacancha.

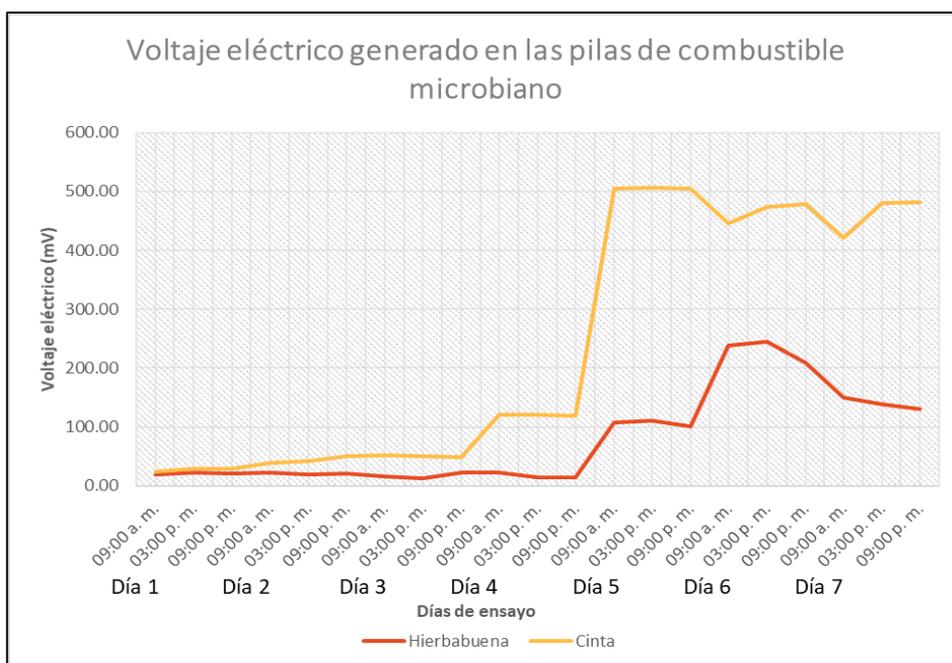


Figura 9. Comparación de la bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta

En la **Figura 9** se observa que en el primer día de ensayo la generación de bioelectricidad en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta fueron próximos, sin embargo, a partir del segundo día de ensayo se percibe que la generación de bioelectricidad en las pilas de combustible microbiana de cinta fue mayor, alcanzando valores cercanos a 500 mV, mientras que la generación de bioelectricidad en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena no paso los 300 mV.

Se advierte que en los primeros 4 días la bioelectricidad generada tanto en la pila de combustible microbiana de hierbabuena y cinta, presentó principalmente una actividad muy baja debido al tiempo requerido para la formación de la biopelícula electroactiva en la superficie del ánodo. Por lo general, en las pilas de combustible microbiano, las bacterias necesitan tiempo para colonizar el electrodo y liberar las enzimas necesarias para transferir electrones. Una vez colonizados los electrodos se observa una mayor generación de bioelectricidad tanto en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta a partir del cuarto día a las 9 de la noche (Azri et al., 2018).

Sin embargo, el voltaje generado en la pila de combustible microbiana de cinta es mayor en comparación al voltaje generado en la pila de combustible microbiana de hierbabuena el mismo que disminuye a partir de las 3 de la tarde del sexto día, esta caída probablemente se debió a una serie de limitaciones impuestas por las comunidades bacterianas específicas que catalizan las reacciones del ánodo y del cátodo, ya que la pérdida de concentraciones ocurre cuando los reactivos electroquímicos, la difusión del metabolismo del biofilm microbiano se vuelven importantes, por lo que los reactivos transportados hacia los electrodos limitan la producción de la bioelectricidad (Azri et al., 2018).

En general de acuerdo a la **Figura 9** la hierbabuena y cinta mostraron tres fases de generación: primero la corriente aumentó gradualmente y fue casi constante, luego aumentó y alcanzó el valor pico y finalmente disminuyó. Estas fases se pueden explicar de la siguiente manera: Al inicio del experimento, las plantas eran vitales y mostraban un crecimiento normal de raíces y hojas. Esto implica que la biopelícula se formó alrededor del ánodo gradualmente (fase 1) y a través de la fotosíntesis y la disponibilidad de rizodepósitos, lo que facilitó la actividad electrogénica (fase 2) representada por un pico. Después de eso, la generación actual disminuyó lentamente (fase 3) debido por varias razones probables: estado del ánodo, limitaciones de las bacterias en la catálisis y vitalidad de la planta según la estación. Para ambas plantas, el voltaje aumentó y alcanzó el máximo al mediodía cuando la intensidad de la luz también fue máxima. De hecho, durante la iluminación que comienza durante el día (después del amanecer), se observó un marcado aumento en la actividad electrogénica debido al proceso fotosintético y aumentó hasta que hubo luz disponible. Durante la tarde, el voltaje disminuyó gradualmente debido a la ausencia de luz y este descenso continuó hasta la mañana. Este tiempo podría atribuirse a la temperatura relativamente más alta y la intensidad de la luz proporcional a la liberación de exudado que aumentó la actividad microbiana en el suelo (Azri et al., 2018).

4.2. Caracterización inicial de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana

La tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta antes de la generación de bioelectricidad se mandaron a analizar al laboratorio de la INIA, los resultados brindados por el laboratorio se muestran en el anexo N° 7. Asimismo, se resumen en la **Tabla 11**.

Tabla 11. Características fisicoquímicas de las tierras de las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta

Características fisicoquímicas	Tierra de la pila de combustible microbiano	
	Hierbabuena	Cinta
pH	5,80	7,30
Materia orgánica (%)	6,03	1,94
P (ppm)	3,74	22,20
K(ppm)	117,80	209,73
Al (me/100 g)	0,00	0,00
N (%)	0,30	0,10
Tipo de suelo	Franco arcillo arenoso	Franco
Arena (%)	64,0	44,0
Arcilla (%)	22,0	10,0
Limo (%)	14,0	46,0

En la **Tabla 11** se observa que la tierra utilizada en la pila de combustible microbiana de cinta fue presento un pH neutro en comparación del pH ácido de la tierra de combustible microbiana de hierbabuena; la materia orgánica de la tierra de la pila de combustible microbiana de hierbabuena presento un mayor porcentaje de 6,03 % a diferencia de la materia orgánica de la tierra de la pila de combustible microbiana de la cinta que solo presentó un 1,94 %, este último presento altas concentraciones de P y K, mientras que las concentraciones de N fueron mayores en la tierra de combustible microbiana de hierbabuena.

En la caracterización de la tierra utilizada en la pila de combustible microbiano de hierbabuena se observa un pH de 5,80 correspondiente a ácido lo que dificulta el desarrollo radicular de las plantas reduciendo la

actividad microbiana, sin embargo, el pH de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiano de cinta fue de 7,30 valor neutro que favoreció la asimilación de nutrientes. Respecto a la materia orgánica se observa que el valor de 6,03 % es un valor demasiado alto que presenta la tierra utilizada en la pila de combustible microbiano de hierbabuena; sin embargo, el valor de 1,94 % para la tierra utilizada en la pila de combustible microbiano de cinta, representa un valor adecuado para favorecer la reserva de elementos nutritivos. La concentración de P en la tierra utilizada en la pila de combustible microbiano de hierbabuena fue de 3,74 pm, valor que se clasifica como bajo que no favorece el desarrollo de las raíces ni el crecimiento de las plantas, mientras que la concentración de P para la tierra utilizada en la pila de combustible microbiana de K fue de 22,20 ppm valor que entra en la clasificación de normal, haciéndolo una tierra favorable para el desarrollo de las raíces que estimula el crecimiento y la floración de la planta. La concentración de K de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena y cinta fueron de 117,80 ppm y 209,73 ppm respectivamente, valores que entran en una clasificación normal lo que la hace una tierra buena para mejorar la consistencia y dureza de los tejidos de las plantas además de mejorar su coloración y resistencia a ciertas enfermedades (Andrades 2016).

Tabla 12. Características fisicoquímicas de la tierra preparada con nutrientes para la hierbabuena y cinta

Características fisicoquímicas	Valores
pH	7,01
Materia orgánica (%)	5,14
P (ppm)	10,54
K(ppm)	189,20
Al (me/100 g)	0,00
N (%)	0,21
Tipo de suelo	Franco arenoso
Arena (%)	73,8
Arcilla (%)	7,7
Limo (%)	18,2

En la **Tabla 12** se observa que el pH de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana presenta pH neutro rico en materia orgánica.

4.3. Radiación solar registrada en el tiempo de estudio

Para determinar la radiación solar durante los días de estudio se solicitó los datos al observatorio de Huayao ubicado en la provincia de Chupaca, mismos que brindaron los datos que fueron resumidos en la **Tabla 13**.

Tabla 13 Radiación solar monitoreada en el período de estudio

Día de ensayo	Hora de monitoreo	Radiación solar global (W/m ²)
1	9 a.m.	657,5
	3 p.m.	311,3
	9 p.m.	-2,766
2	9 a.m.	652,1
	3 p.m.	697,5
	9 p.m.	-2,951
3	9 a.m.	643,9
	3 p.m.	721,2
	9 p.m.	-2,44
4	9 a.m.	417,2
	3 p.m.	272,2
	9 p.m.	-2,98
5	9 a.m.	642,9
	3 p.m.	606
	9 p.m.	-2,44
6	9 a.m.	686,7
	3 p.m.	332,9
	9 p.m.	-1,046
7	9 a.m.	659,7
	3 p.m.	199,8
	9 p.m.	-1,743

En la **Tabla 13** se observa que la radiación solar global fue intenso a las 9 de la mañana mientras que para las 9 de la noche la radiación solar global disminuyó, además se observa que la mayor radiación solar global monitoreada fue de 721,2 W/m² monitoreada a las 3 p.m. del tercer día de estudio, mientras que la menor radiación monitoreada fue de -2,98 W/m² a las 9 de la noche del cuarto día de estudio, para observar la variación

de todas las radiaciones solares globales a lo largo del tiempo de funcionamiento de las pilas de combustible microbiana se realizó una gráfica de dispersión presentado en la **Figura 10**.

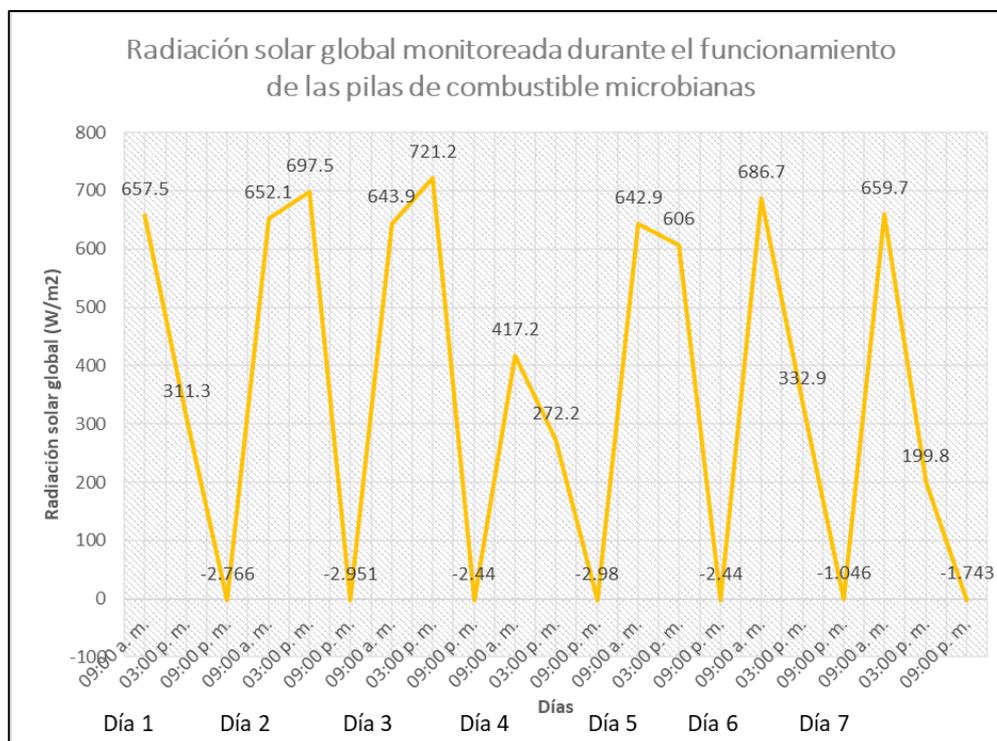


Figura 10. Radiación solar global monitoreada durante el funcionamiento de las pilas de combustible microbiana

En la **Figura 10** se observa que las radiaciones globales solares fueron altas durante el día mientras que en las noches las radiaciones fluctuaron en valores inferiores a 0 W/m^2 , además se observa que las radiaciones en el cuarto día fueron menores en comparación a las radiaciones de los demás días de estudio; asimismo, se advierte que en el segundo y tercer día de funcionamiento de las pilas de combustible microbiano la radiación solar global fue mayor a las 3 de la tarde a diferencia de los demás días cuando la radiación solar global fue más alta en las mañanas que en las tardes.

La radiación solar global registrada en los días de ensayo se relacionó a la bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta mediante un gráfico combinado presentado en la **Figura 11**.

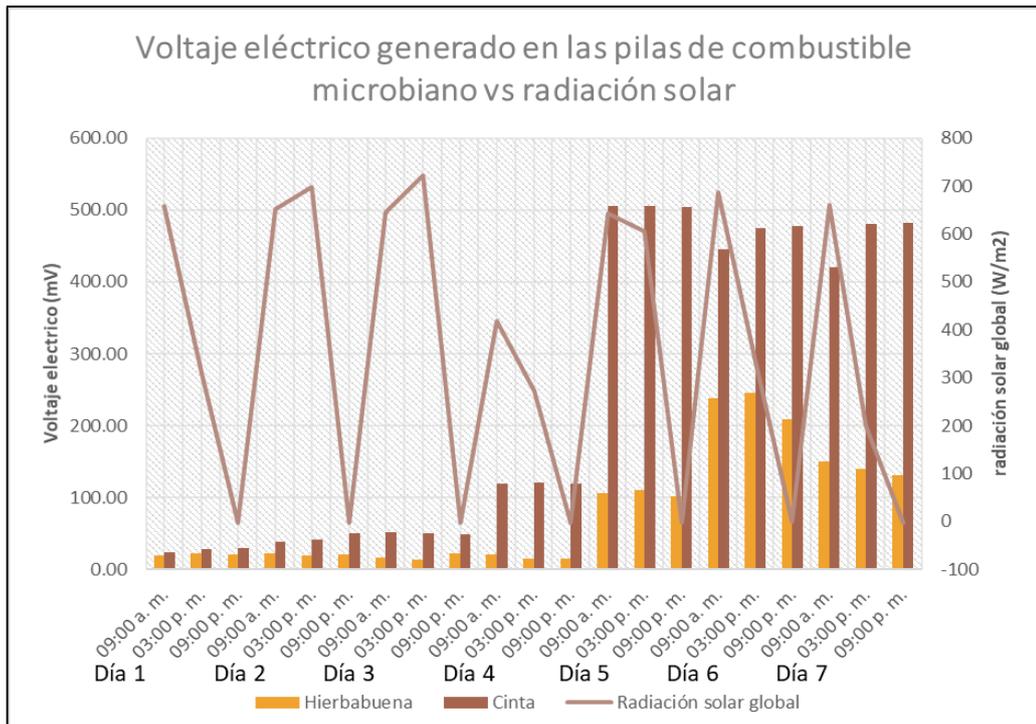


Figura 11. Efecto de la radiación solar en la bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta

En la **Figura 11** se observa que a partir de quinto día el incremento de la radiación solar provocó el incremento de la bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y cinta, esta misma relación se observa a las 3 de la tarde y 9 de la noche del sexto día en el que la disminución de la radiación solar se acompañó con la reducción del voltaje eléctrico generado, por ende, la radiación solar tuvo algunos efectos durante el experimento. Cuando la radiación solar era alta, la generación actual aumentó. Este fenómeno probablemente se debió a la comida (glucosa) producida en las hojas verdes debido a la fotosíntesis ya que la radiación solar disponible permite aumentar la tasa de fotosíntesis lo que facilita la rizodeposición de microorganismos y la producción de bioelectricidad de acuerdo a la investigación de Azri et al. (2018); aunque en algunos días no se cumplió esta afirmación debido a otros factores ambientales o experimentales que pudieron influir en la generación de bioelectricidad.

4.4. pH y temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana

4.4.1. Pilas de combustible microbiana de hierbabuena

Durante el funcionamiento de las pilas de combustible microbiana de hierbabuena se monitoreo la temperatura y el pH de la tierra a las 9 a.m., 3 p.m. y 9 p.m. los valores de temperatura y pH de la tierra utilizada en la pila de combustible microbiana de hierbabuena en sus tres réplicas se presentan en la **Tabla 14**.

Tabla 14. pH y temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena

HIERBABUENA				
RÉPLICAS	INICIO	HORA DE MEDICIÓN	pH	TEMPERATURA (°C)
R1		9 a.m.	6,90	13,60
R1	DIA 1	3 p.m.	6,70	19,40
R1		9 p.m.	6,20	9,80
R1		9 a.m.	6,87	10,90
R1	DIA 2	3 p.m.	6,62	14,80
R1		9 p.m.	6,40	8,40
R1		9 a.m.	6,17	8,80
R1	DIA 3	3 p.m.	5,90	12,50
R1		9 p.m.	6,05	8,90
R1		9 a.m.	6,03	8,30
R1	DIA 4	3 p.m.	6,09	17,50
R1		9 p.m.	5,58	8,50
R1		9 a.m.	6,14	8,80
R1	DIA 5	3 p.m.	6,20	11,90
R1		9 p.m.	6,10	10,10
R1		9 a.m.	7,35	7,90
R1	DIA 6	3 p.m.	6,33	9,90
R1		9 p.m.	6,06	9,60
R1		9 a.m.	5,78	9,50
R1	DIA 7	3 p.m.	5,65	12,80
R1		9 p.m.	4,85	9,10
R2			9 a.m.	6,10
R2	DIA 1	3 p.m.	6,80	19,20
R2		9 p.m.	6,10	9,90
R2		9 a.m.	6,90	11,00
R2	DIA 2	3 p.m.	6,64	14,70

R2		9 p.m.	6,50	8,10
R2		9 a.m.	6,19	8,90
R2	DIA 3	3 p.m.	6,00	12,80
R2		9 p.m.	6,04	9,30
R2		9 a.m.	6,02	8,60
R2	DIA 4	3 p.m.	6,10	17,30
R2		9 p.m.	5,60	9,00
R2		9 a.m.	6,17	8,70
R2	DIA 5	3 p.m.	6,10	11,70
R2		9 p.m.	5,90	10,50
R2		9 a.m.	7,34	7,80
R2	DIA 6	3 p.m.	6,32	10,10
R2		9 p.m.	6,07	9,80
R2		9 a.m.	5,80	9,80
R2	DIA 7	3 p.m.	5,63	12,82
R2		9 p.m.	4,87	10,00
R3		9 a.m.	6,08	13,80
R3	DIA 1	3 p.m.	6,78	19,00
R3		9 p.m.	6,04	9,30
R3		9 a.m.	6,91	10,40
R3	DIA 2	3 p.m.	6,67	14,69
R3		9 p.m.	6,46	8,60
R3		9 a.m.	6,15	8,88
R3	DIA 3	3 p.m.	6,02	12,10
R3		9 p.m.	6,06	9,40
R3		9 a.m.	6,03	8,20
R3	DIA 4	3 p.m.	6,09	17,43
R3		9 p.m.	5,58	9,50
R3		9 a.m.	6,20	8,50
R3	DIA 5	3 p.m.	6,09	11,80
R3		9 p.m.	6,00	10,60
R3		9 a.m.	7,31	7,87
R3	DIA 6	3 p.m.	6,31	10,00
R3		9 p.m.	6,05	9,90
R3		9 a.m.	5,78	10,10
R3	DIA 7	3 p.m.	5,70	11,70
R3		9 p.m.	4,90	10,10

En la **Tabla 14** se observa que el pH y temperatura de la tierra de la pila de combustible microbiana de hierbabuena fluctuó desde un valor ácido de 4 hasta valores neutros, se advierte que en el último día de estudio los valores del pH fueron más ácidos, en el caso de la temperatura se observa que la mayor temperatura registrada fue

a las 3 p.m. notándose una alta temperatura de 19,40 °C en la tierra de la pila de combustible microbiana de la primera réplica, en contraste se observa que la menor temperatura de la tierra fue 7,80 °C registrado a las 9 de la mañana del sexto día de estudio. Los resultados presentados en las tres réplicas fueron próximos entre sí por lo cual se halló un promedio del pH y temperatura, los cuales fueron registrados en la **Tabla 15**.

Tabla 15. pH y temperatura promedio de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena

HIERBABUENA				
RÉPLICAS	INICIO	HORA DE MEDICIÓN	pH	TEMPERATURA (°C)
R1		9 a.m.	6,36	13,63
R1	DIA 1	3 p.m.	6,76	19,20
R1		9 p.m.	6,11	9,67
R1		9 a.m.	6,89	10,77
R1	DIA 2	3 p.m.	6,64	14,73
R1		9 p.m.	6,45	8,37
R1		9 a.m.	6,17	8,86
R1	DIA 3	3 p.m.	5,97	12,47
R1		9 p.m.	6,05	9,20
R1		9 a.m.	6,03	8,37
R1	DIA 4	3 p.m.	6,09	17,41
R1		9 p.m.	5,59	9,00
R1		9 a.m.	6,17	8,67
R1	DIA 5	3 p.m.	6,13	11,80
R1		9 p.m.	6,00	10,40
R1		9 a.m.	7,33	7,86
R1	DIA 6	3 p.m.	6,32	10,00
R1		9 p.m.	6,06	9,77
R1		9 a.m.	5,79	9,80
R1	DIA 7	3 p.m.	5,66	12,44
R1		9 p.m.	4,87	9,73

En la **Tabla 15** se observa que el pH promedio de la tierra de pila de combustible microbiana de hierbabuena fluctuó entre 4,87 a 7,33 siendo este valor el más alto registrado en el día 6 a las 9 a.m.;

la temperatura promedio de la tierra de las pilas de combustible microbiana vario desde la más mínima de 7,86 °C a 19,20 °C registrado a las 3 p.m. en el primer día de estudio.

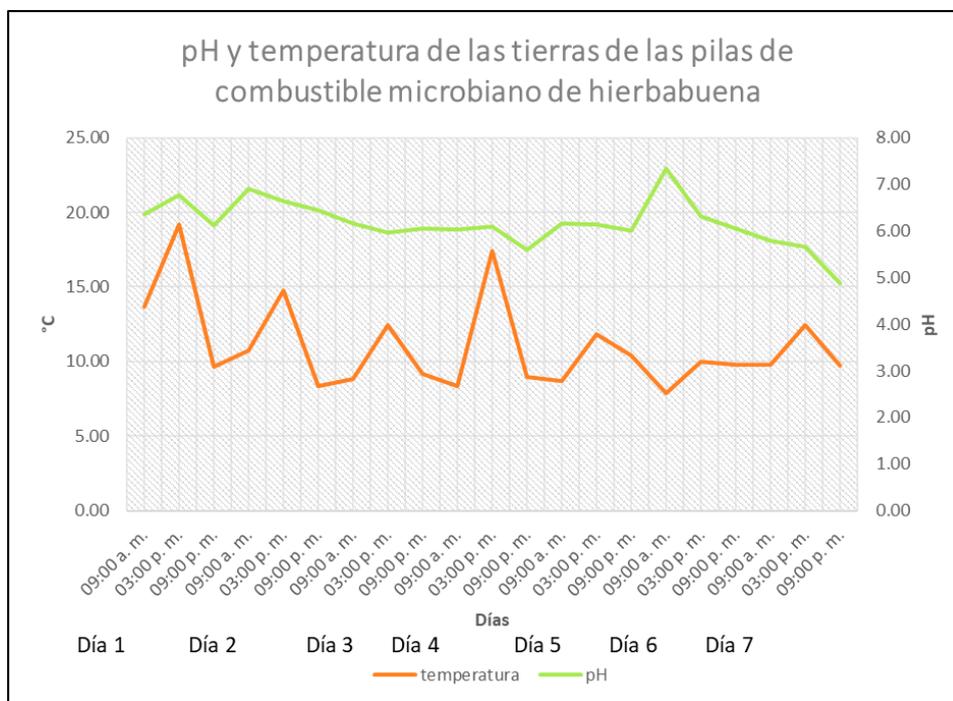


Figura 12. pH y temperatura de la tierra de la pila de combustible microbiana de hierbabuena

En la **Figura 12** se observa que el pH fue disminuyendo a lo largo de los días de ensayo, sin embargo, se notó un incremento en el pH en el sexto día a las 9 de la mañana, respecto a la temperatura se observó que cada día fue alta y baja notándose temperaturas mínimas y casi constantes en el quinto y sexto día de ensayo.

En la **Figura 13** se relacionó el pH y temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena con la bioelectricidad generada.

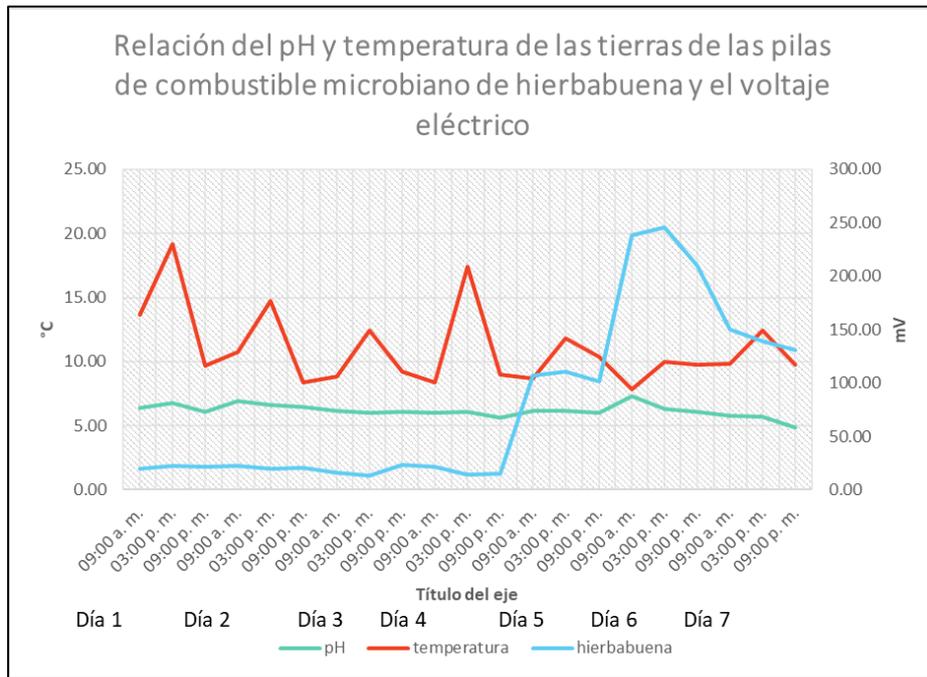


Figura 13. Influencia del pH y temperatura en la bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena

En la **Figura 13** se observa que el mayor voltaje generado en la pila de combustible microbiano de hierbabuena fue 245,37 mV registrado a las 3 de la tarde del sexto día, este voltaje se alcanzó cuando el pH de la tierra fue de 7,04 y la temperatura de la tierra fue de 10,80 °C.

Al ser los pH neutros de la tierra utilizada los que se registraron cuando se monitorearon altos valores de voltajes eléctricos generados en las pilas de combustible, se puede inferir que es debido a que en pH neutros la planta asimila en mayor medida los nutrientes por lo cual el proceso de fotosíntesis se incrementó, permitiendo usar fotosintatos y glucosa como combustible para generar más electricidad facilitando la actividad electrogénica.

4.4.2. Pilas de combustible microbiana de cinta

Se monitoreo el pH y temperatura de la tierra utilizada en la pila de combustible microbiana de cinta en las tres réplicas, estos valores monitoreados se presentan en la **Tabla 16**.

Tabla 16. pH y temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de cinta

CINTA				
RÉPLICAS	INICIO	HORA DE MEDICIÓN	pH	TEMPERATURA (°C)
R1		9 a.m.	6,97	13,80
R1	DIA 1	3 p.m.	6,53	19,70
R1		9 p.m.	6,03	9,09
R1		9 a.m.	6,27	13,50
R1	DIA 2	3 p.m.	6,32	15,50
R1		9 p.m.	6,87	8,00
R1		9 a.m.	5,96	9,50
R1	DIA 3	3 p.m.	6,07	14,80
R1		9 p.m.	6,06	8,10
R1		9 a.m.	6,05	7,90
R1	DIA 4	3 p.m.	5,93	16,80
R1		9 p.m.	5,40	8,90
R1		9 a.m.	5,90	9,30
R1	DIA 5	3 p.m.	6,40	12,90
R1		9 p.m.	6,52	10,60
R1		9 a.m.	7,48	8,90
R1	DIA 6	3 p.m.	7,01	10,80
R1		9 p.m.	5,94	9,40
R1		9 a.m.	6,26	10,10
R1	DIA 7	3 p.m.	6,28	12,40
R1		9 p.m.	5,28	9,30
R2			9 a.m.	6,96
R2	DIA 1	3 p.m.	6,55	19,20
R2		9 p.m.	6,00	9,10
R2		9 a.m.	6,30	13,20
R2	DIA 2	3 p.m.	6,29	15,60
R2		9 p.m.	6,90	8,20
R2		9 a.m.	5,93	9,20
R2	DIA 3	3 p.m.	6,05	14,70
R2		9 p.m.	6,01	8,30
R2		9 a.m.	6,08	8,00
R2	DIA 4	3 p.m.	5,98	17,10
R2		9 p.m.	5,37	8,70
R2		9 a.m.	6,00	9,10
R2	DIA 5	3 p.m.	6,30	12,60
R2		9 p.m.	6,50	10,30
R2		9 a.m.	7,40	9,10
R2	DIA 6	3 p.m.	7,04	10,60
R2		9 p.m.	5,94	9,30
R2		9 a.m.	6,25	10,50

R2		3 p.m.	6,26	11,90
R2		9 p.m.	5,31	16,20
R3		9 a.m.	6,96	13,70
R3	DIA 1	3 p.m.	6,58	19,40
R3		9 p.m.	6,20	9,11
R3		9 a.m.	6,50	13,40
R3	DIA 2	3 p.m.	6,30	15,70
R3		9 p.m.	6,70	8,80
R3		9 a.m.	5,98	9,40
R3	DIA 3	3 p.m.	6,07	14,90
R3		9 p.m.	5,98	8,50
R3		9 a.m.	6,10	8,20
R3	DIA 4	3 p.m.	6,02	17,00
R3		9 p.m.	5,40	8,50
R3		9 a.m.	6,40	9,40
R3	DIA 5	3 p.m.	6,60	13,00
R3		9 p.m.	6,20	10,80
R3		9 a.m.	7,10	8,90
R3	DIA 6	3 p.m.	7,07	11,01
R3		9 p.m.	5,90	9,60
R3		9 a.m.	6,31	10,45
R3	DIA 7	3 p.m.	6,29	12,00
R3		9 p.m.	5,35	10,03

En la **Tabla 16** se observa que el pH de las pilas de combustible microbiana fluctuó entre 5,28 hasta 6,97, percibiendo un pH más ácido de 5,28 a las 9 de la noche del séptimo día en la primera réplica; el pH más neutro fue de 6,97 registrado a las 9 de la mañana del primer día de ensayo en la primera réplica; respecto a la temperatura de la tierra se observó que fueron más elevadas a las 3 de la tarde en todos los días de ensayo fluctuando entre 7,90 °C a 19,70 °C.

Se observa que las temperaturas y pH registrados en cada ensayo fueron próximos entre sí por lo cual se halló un promedio de estos valores y se presentaron en la **Tabla 17**.

Tabla 17.. pH y temperatura promedio de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de cinta

CINTA				
RÉPLICAS	INICIO	HORA DE MEDICIÓN	pH	TEMPERATURA (°C)
R1		9 a.m.	6,96	13,67
R1	DIA 1	3 p.m.	6,55	19,43
R1		9 p.m.	6,08	9,10
R1		9 a.m.	6,36	13,37
R1	DIA 2	3 p.m.	6,30	15,60
R1		9 p.m.	6,82	8,33
R1		9 a.m.	5,96	9,37
R1	DIA 3	3 p.m.	6,06	14,80
R1		9 p.m.	6,02	8,30
R1		9 a.m.	6,08	8,03
R1	DIA 4	3 p.m.	5,98	16,97
R1		9 p.m.	5,39	8,70
R1		9 a.m.	6,10	9,27
R1	DIA 5	3 p.m.	6,43	12,83
R1		9 p.m.	6,41	10,57
R1		9 a.m.	7,33	8,97
R1	DIA 6	3 p.m.	7,04	10,80
R1		9 p.m.	5,93	9,43
R1		9 a.m.	6,27	10,35
R1	DIA 7	3 p.m.	6,28	12,10
R1		9 p.m.	5,31	11,84

En la **Tabla 17** se observa que los valores del pH promedio presentaron valores en su mayoría neutros, teniendo en cuenta que en el último día de ensayo a las 9 de la noche el pH presento un valor ácido de 5,31; respecto a la temperatura se observa que las temperaturas promedio fluctuaron entre 8,03 °C a 19,43 °C, registrados a las 9 de la mañana el cuarto día y a las 3 de la tarde del primer día de ensayo respectivamente.

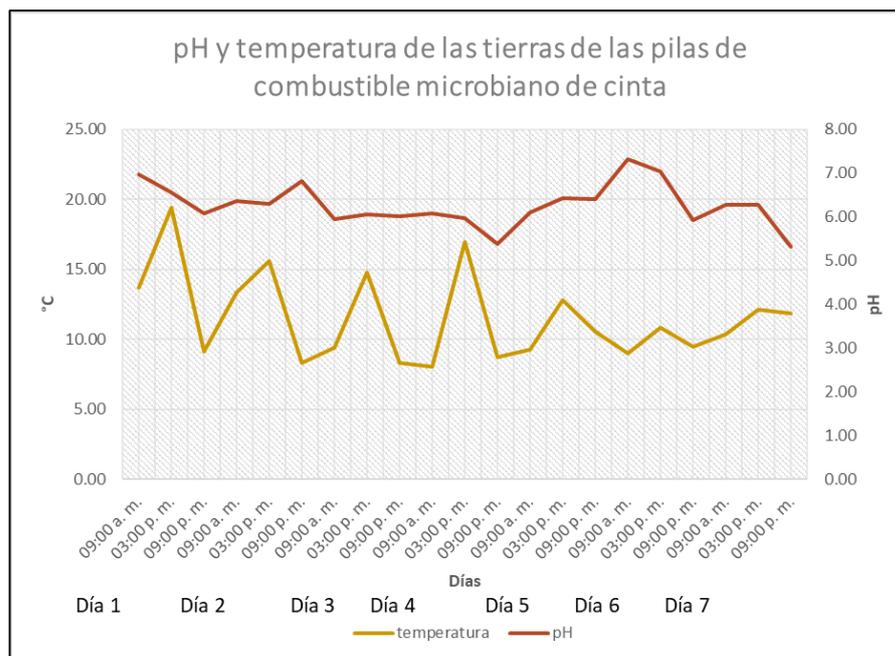


Figura 14. pH y temperatura de la tierra de la pila de combustible microbiana de cinta

En la **Figura 14** se observa que el pH fue más neutro en el sexto día de ensayo mientras que en el cuarto y séptimo día de ensayo los pH de la tierra fueron más ácidos; respecto a la temperatura se observa que, hasta el cuarto día, la temperatura presenta variaciones muy drásticas mientras que a partir del quinto día las temperaturas empezaron a presentar variaciones mínimas. Cabe mencionar que el pH inicial de la tierra utilizada en la pila disminuyó durante el ensayo, sin embargo, se mantuvo en su mayoría en valores neutros.

En la **Figura 15** se relacionó el pH y temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de cinta con la bioelectricidad generada.

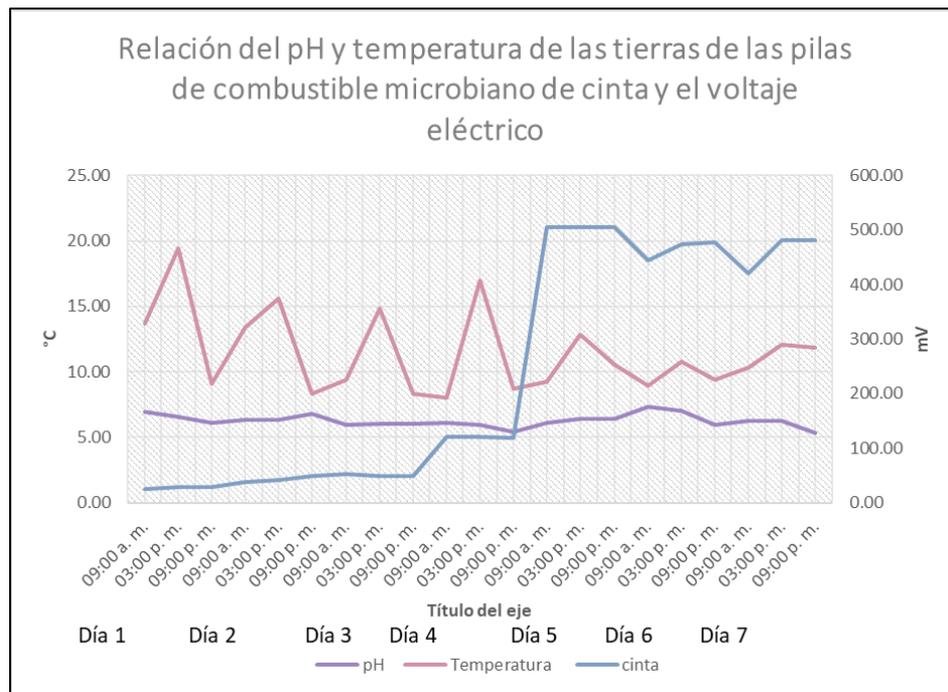


Figura 15. Influencia del pH y temperatura en la bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de cinta

En la **Figura 15** se observa que el mayor voltaje generado en la pila de combustible microbiano de cinta fue 505,45 mV registrado a las 3 de la tarde del quinto día, este voltaje se alcanzó cuando el pH de la tierra fue de 6,43 y la temperatura de la tierra fue de 12,83 °C.

Los cambios en el pH que tienen lugar dentro de las biopelículas de la rizosfera se dan en respuesta a los flujos de protones que van hacia la punta de la raíz que ocurren durante el crecimiento de la planta. No obstante, estos valores de pH fueron todos casi neutros, la condición de pH óptima para la mayoría de los microorganismos (Khudzari et al., 2018).

La temperatura influye considerablemente en la existencia de las comunidades microbianas presentes en la rizosfera ya que una temperatura óptima brinda las condiciones necesarias para el crecimiento de los microorganismos, mismas que hacen posible la generación de bioelectricidad por su actividad electrogénica, siendo necesario que no sean extremas para asegurar su

supervivencia (Salinas-Juárez, Roquero y Durán-Domínguez-de-Bazúa, 2016).

4.5. Análisis estadísticos

Para determinar la relación de la radiación solar, pH y la temperatura de la tierra de las pilas de combustible microbiana se realizaron análisis estadísticos con el software IBM SPSS Statistics 25, considerando que el nivel de confianza para todos los análisis fue de 95 %.

4.5.1. Contrastación de la hipótesis general

Se comparó la bioelectricidad generada tanto en la pila de combustible microbiana de hierbabuena y cinta para determinar si presentaron diferencias estadísticas, para lo cual se siguió la siguiente prueba de hipótesis:

Hipótesis nula $H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$

Hipótesis alterna $H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$

Para determinar si los voltajes presentan diferencia o son iguales se realizó una prueba de t de Student para dos muestras utilizando el software estadístico Minitab, los resultados se presentan en la

Tabla 18.

Tabla 18. Prueba de t de Student para la comparación del voltaje eléctrico generado en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena y cinta

Muestra	N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	GL	Valor p
Cinta	21	239	214	47	25	0,004
hierbabuena	21	79,1	79,6	17		

En la **Tabla 18** se observa un valor de p de 0,004 al ser menor al nivel de significancia se acepta la hipótesis alterna que indica que la diferencia de la media es diferente de cero, lo cual indica que la

bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena y cinta son estadísticamente diferentes.

4.5.2. Contratación de la segunda hipótesis específica

La segunda hipótesis específica fue:

Ha: Una radiación solar alta genera un voltaje alto produciendo mayor bioelectricidad en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (*Mentha spicata*) y Cinta (*Chlorophytum comosum*) en el distrito de Yanacancha – 2021

Para aceptar o rechazar esta hipótesis se realizó un análisis estadístico de correlación para lo cual primeramente se hizo una prueba de normalidad que sigue la siguiente prueba de hipótesis:

Ho: Los datos de la variable tienen distribución normal

Ha: Los datos de la variable no tiene distribución normal

Tabla 19. Prueba de normalidad para la radiación y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena y cinta

	Pila de combustible microbiano					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Radiación	0,226	21	0,006	0,813	21	0,001
Voltaje - hierbabuena	0,331	21	0,000	0,781	21	0,000
Voltaje - cinta	0,282	21	0,000	0,741	21	0,000

En la **Tabla 19** se observa que el valor de sig para la radiación fue de 0,001 y el valor de sig para el voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena y cinta fue de 0,000, al ser ambos valores menores al nivel de significancia (α) se aceptó la hipótesis alterna afirmando que las variables no presentaron una distribución normal.

En vista de la no normalidad de las variables estudiadas se realizó una prueba de correlación de Rho de Spearman (no paramétrica) que presenta las siguientes hipótesis:

Ho: $\rho=0$ (no existe relación)

Ha: $\rho\neq 0$ (si existe relación)

Tabla 20. Correlación de Pearson para la radiación y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena

Correlaciones en la pila de combustible microbiana de hierbabuena				
			Radiación	Voltaje
Rho de Spearman	Radiación	Coefficiente de correlación	1,000	-0,015
		Sig. (bilateral)	.	0,949
		N	21	21
	Voltaje	Coefficiente de correlación	-0,015	1,000
		Sig. (bilateral)	0,949	.
		N	21	21

En la **Tabla 20** se observa que el valor de sig para la correlación de la radiación y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena es de 0,949 al ser un valor mayor al nivel de significancia se aceptó la hipótesis nula afirmando que no existe relación entre estas dos variables; sin embargo, el coeficiente de correlación para Rho de Spearman es de -0,015, al ser un valor próximo a cero indica que la radiación y el voltaje generado en la pila de combustible microbiano de hierbabuena no presentaron correlación lineal.

Tabla 21. Correlación de Pearson para la radiación y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de cinta

Correlaciones en la pila de combustible microbiana de cinta				
			Radiación	Voltaje
Rho de Spearman	Radiación	Coefficiente de correlación	1,000	-0,101
		Sig. (bilateral)	.	0,664
		N	21	21
	Voltaje	Coefficiente de correlación	-0,101	1,000
		Sig. (bilateral)	0,664	.
		N	21	21

En la **Tabla 21** se observa que el valor de sig para la correlación de la radiación y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena es de 0,664 al ser un valor mayor al nivel de significancia se aceptó la hipótesis nula afirmando que no existe relación entre estas dos variables; sin embargo, el coeficiente de correlación para Rho de Spearman es de -0,101, al ser un valor próximo a cero indica que la radiación y el voltaje generado en la pila de combustible microbiano de cinta no presentaron correlación lineal.

4.5.3. Contrastación de la tercera hipótesis específica

La tercera hipótesis específica fue:

Ha: El pH y la temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (*Mentha spicata*) y Cinta (*Chlorophytum comosum*) presenta una relación positiva fuerte con la generación de bioelectricidad en el distrito de Yanacancha – 2021

Para aceptar o rechazar esta hipótesis se realizó un análisis estadístico de correlación para lo cual primeramente se hizo una prueba de normalidad que sigue la siguiente prueba de hipótesis:

Ho: Los datos de la variable tienen distribución normal

Ha: Los datos de la variable no tiene distribución normal

Tabla 22. Prueba de normalidad para el pH y temperatura y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena

	Pila de combustible microbiano de hierbabuena					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Voltaje	0,331	21	0,000	0,781	21	0,000
pH	0,162	21	0,157	0,947	21	0,302
Temperatura	0,208	21	0,018	0,836	21	0,002

En la **Tabla 22** se observa que el valor de sig para voltaje y temperatura fue de 0,000 y 0,002 respectivamente, estos valores al ser menores al nivel de significancia se afirma que las variables no presentaron una distribución normal, mientras que el valor de sig de 0,302 para el pH fue mayor al nivel de significancia por lo cual se afirma que la variable presento una distribución normal, como solo una de las variables presento una distribución normal se procedió a realizar un análisis de correlación de Rho de Spearman (no paramétrica) que presenta las siguientes hipótesis:

Ho: $\rho=0$ (no existe relación)

Ha: $\rho\neq 0$ (si existe relación).

Tabla 23. Correlación de Pearson para el pH y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena

Correlaciones en la pila de combustible microbiana de hierbabuena				
			Radiación	Voltaje
Rho de Spearman	voltaje	Coefficiente de correlación	1,000	-0,003
		Sig. (bilateral)	.	0,991
		N	21	21
	pH	Coefficiente de correlación	-0,003	1,000
		Sig. (bilateral)	0,991	.
		N	21	21

En la **Tabla 23** se observa que el valor de sig fue de 0,991 al ser un valor mayor al de nivel de significancia se aceptó la hipótesis nula afirmando que no existe relación; sin embargo, se observa que el coeficiente de correlación para el estadístico de Spearman fue de -0,003; al ser un valor próximo a cero indica que el pH y el voltaje generado en la pila de combustible microbiano de hierbabuena no presentaron correlación lineal.

Tabla 24. Correlación de Pearson para la temperatura y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena

Correlaciones en la pila de combustible microbiana de hierbabuena				
			Radiación	Voltaje
Rho de Spearman	voltaje	Coeficiente de correlación	1,000	-0,214
		Sig. (bilateral)	.	0,351
		N	21	21
	temperatura	Coeficiente de correlación	-0,214	1,000
		Sig. (bilateral)	0,351	.
		N	21	21

En la **Tabla 24** se observa que el valor de sig fue de 0,351 al ser un valor mayor al de nivel de significancia se aceptó la hipótesis nula afirmando que no existe relación; sin embargo, se observa que el coeficiente de correlación para el estadístico de Spearman fue de -0,214; valor que indica una asociación negativa débil entre la temperatura y el voltaje generado en la pila de combustible microbiana de hierbabuena.

Tabla 25. Prueba de normalidad para el pH y temperatura y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de cinta

Pila de combustible microbiano de cinta						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Voltaje	0,282	21	0,000	0,741	21	0,000
pH	0,150	21	0,200	0,954	21	0,400
Temperatura	0,174	21	0,097	0,896	21	0,029

En la **Tabla 25** se observa que el valor de sig para el pH y temperatura fue de 0,400 y 0,029 respectivamente, estos valores al ser mayores al nivel de significancia se afirma que las variables presentaron una distribución normal, mientras que el valor de sig de 0,000 para el voltaje fue menor al nivel de significancia por lo cual se afirma que la variable no presentó una distribución normal, como una de las variables no presentó una distribución normal se

procedió a realizar un análisis de correlación de Rho de Spearman (no paramétrica).

Tabla 26. Correlación de Pearson para el pH y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de cinta

Correlaciones en la pila de combustible microbiana de cinta				
			Radiación	Voltaje
Rho de Spearman	voltaje	Coeficiente de correlación	1,000	-0,112
		Sig. (bilateral)	.	0,630
		N	21	21
	pH	Coeficiente de correlación	-0,112	1,000
		Sig. (bilateral)	0,630	.
		N	21	21

En la **Tabla 26** se observa que el valor de sig fue de 0,630 al ser un valor mayor al de nivel de significancia se aceptó la hipótesis nula afirmando que no existe relación; sin embargo, se observa que el coeficiente de correlación para el estadístico de Spearman fue de -0,112; al ser un valor próximo a cero indica que el pH y el voltaje generado en la pila de combustible microbiano de cinta no presentaron correlación lineal.

Tabla 27. Correlación de Pearson para la temperatura y voltaje generado en las pilas de combustible microbiano de cinta

Correlaciones en la pila de combustible microbiana de cinta				
			Radiación	Voltaje
Rho de Spearman	voltaje	Coeficiente de correlación	1,000	-0,136
		Sig. (bilateral)	.	0,556
		N	21	21
	temperatura	Coeficiente de correlación	-0,136	1,000
		Sig. (bilateral)	0,556	.
		N	21	21

En la **Tabla 27** se observa que el valor de sig fue de 0,556 al ser un valor mayor al de nivel de significancia se aceptó la hipótesis nula afirmando que no existe relación; sin embargo, se observa que

el coeficiente de correlación para el estadístico de Spearman fue de -0,136; valor que indica que la temperatura y el voltaje generado en la pila de combustible microbiana de cinta no presentaron correlación lineal.

V. DISCUSIÓN

El voltaje más alto generado por la pila de combustible microbiana de cinta fue de 505,45 mV en el quinto día a las 3 de la tarde.

La radiación solar global no presentó relación estadísticamente significativa con el voltaje eléctrico generado en las pilas de combustible microbiana, sin embargo, a las 9 de la noche del cuarto día y 9 de la mañana del quinto día, y a las 9 de la noche del quinto día a las 9 de la mañana del sexto día, al incrementarse la radiación también se incrementó el voltaje eléctrico. En la investigación de Sophia y Sreeja (2017) encontraron que la generación de voltaje fue alta cuando la radiación solar fue alta. Del mismo modo en la investigación de Moqsud, Hannan y Omine (2015) la radiación solar tuvo algunos efectos durante el experimento. Cuando la radiación solar fue alta, la generación de voltaje también fue alta. Después del florecimiento del arroz, la correlación de la generación de voltaje y la radiación solar no fue tan prominente. Este tipo de fenómenos probablemente se debió a la comida (glucosa) producida en las hojas verdes debido a que la fotosíntesis está siendo utilizada por el grano de arroz en lugar de ser descargada al suelo.

Se registró un mayor voltaje eléctrico de 474,27 mV en la pila de combustible microbiana de cinta cuando el pH de la tierra utilizada en la pila presentó un valor más neutro de 7,04 mientras que en la pila de hierbabuena se generó un mayor voltaje de 245,37 mV cuando el pH de la tierra fue de 6,32. Cabe mencionar que durante el desarrollo del ensayo el pH de la tierra utilizada en la pila de hierbabuena incrementó su valor desde un inicial de 5,80 hasta 6,32; al igual que en la investigación de Khudzari et al. (2018) quienes observaron que los valores de pH de la pila de combustible microbiana de marga arenosa aumentó desde su inicial de 6,3 a 7 alcanzando un voltaje eléctrico de 594 mV; sin embargo en el caso del pH de la tierra utilizada en la pila de cinta el pH disminuyó levemente de 7,30 hasta 7,04.

Los mayores voltajes eléctricos generados en las pilas de combustible microbiano de hierbabuena de 245,37 mV se generaron cuando la temperatura fue de 10 °C, en el caso del voltaje eléctrico generado en la pila de combustible microbiano de cinta fue de 2554,93 mV cuando la temperatura de la tierra fue de 12,83 °C. Observándose que a partir de las 9 de la noche del cuarto día tanto el

voltaje eléctrico generado en las pilas de combustible microbiano de cinta como la temperatura de la tierra utilizada en las pilas presentaron un mismo comportamiento notándose que cuando la temperatura se incrementó también lo hizo el voltaje eléctrico.

En la investigación de Ramos Pérez-Agaña (2019) se observa que la temperatura del suelo presento una tendencia similar al voltaje eléctrico generado en la celda de combustible microbiana, alcanzando un máximo voltaje cuando la temperatura del suelo fue de 32 °C; mientras que en la investigación de Zamora Silva (2017) la temperatura de la tierra de las pilas de combustible microbiana de *Ipomea purpurea* osciló entre 11,5 °C y 20 °C. Estas condiciones se diferencian de las registradas en la presente investigación ya que la temperatura se ve sujeto a la influencia de otras variables que influyen en la generación de bioelectricidad en pilas de combustible microbiana.

En general el pH y la temperatura que generaron una mayor bioelectricidad en la pila de combustible microbiana de hierbabuena fue 7,04 y 10,80 °C respectivamente, mientras que para la pila de combustible microbiana de cinta el pH y temperatura que lograron mayor bioelectricidad fue 6,43 y 12,83 °C.

VI. CONCLUSIONES

- Se determinó la bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y Cinta, se determinó que la pila de combustible microbiano de cinta alcanzó voltajes eléctricos más altos de hasta 505,45 mV a comparación de la pila de combustible microbiano de hierbabuena que solo generó 245,37 mV de voltaje eléctrico.
- Al caracterizar fisicoquímicamente la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena presentó un pH de 5,80; materia orgánica de 6,03 %, P de 3,74 ppm, K de 117,80 ppm, N de 0,30 % y fue tierra de tipo franco arcilloso arenoso; mientras que la tierra utilizada en la pila de combustible microbiano de cinta presentó un pH de 7,30; materia orgánica de 1,94 %, P de 22,20 ppm, K de 209,73 ppm, N de 0,10 % y fue tierra de tipo franco.
- La radiación solar no influyó estadísticamente en la generación de bioelectricidad en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y Cinta, sin embargo, a partir del quinto día se observó algunos efectos.
- El pH y la temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena y Cinta no presentaron correlación estadística significativa con la generación de bioelectricidad; misma que alcanzó mayores valores cuando el pH y la temperatura de la tierra utilizada en la pila de combustible microbiana de hierbabuena fue 7,04 y 10,80 °C mientras que para la cinta fue 6,43 y 12,83 °C respectivamente.

VII. RECOMENDACIONES

- Estudiar el efecto de la sombra y horas de luz en la generación de bioelectricidad en pilas de combustible microbiano.
- Evaluar el potencial de otras plantas en la generación de bioelectricidad a partir de pilas de combustible microbiano.
- Estudiar detalladamente los microorganismos presentes en la rizosfera de la pila de combustible microbiana que pudieran hacer efecto en la generación de bioelectricidad y evaluar qué factores podrían contribuir a su desarrollo o inhibición.

REFERENCIAS

- ANDRADES, M., 2016. Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. *Revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 4, no. 1, pp. 55-63. ISSN 2256-2273.
- AZRI, Y.M., TOU, I., SADI, M. y BENHABYLES, L., 2018. Bioelectricity generation from three ornamental plants: *Chlorophytum comosum*, *Chasmanthe floribunda* and *Papyrus diffusus*. *International Journal of Green Energy* [en línea], vol. 15, no. 4, pp. 254-263. ISSN 15435083. DOI 10.1080/15435075.2018.1432487. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/15435075.2018.1432487>.
- BONO CABRE, R., 2012. *Diseños cuasi-experimentales y longitudinales*. S.l.: s.n.
- CAI, Y., SAM, C.Y. y CHANG, T., 2018. Nexus between clean energy consumption, economic growth and CO2 emissions. *Journal of Cleaner Production*, vol. 182, pp. 1001-1011. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2018.02.035.
- EL CORREO, 2018. El 20,9% y el 14,6% de viviendas no tienen agua ni electricidad. *El Correo* [en línea]. 10 agosto 2018. Disponible en: <https://diariocorreo.pe/edicion/huancayo/el-209-y-el-146-de-viviendas-no-tienen-agua-ni-electricidad-835244/?ref=dcr>.
- GAMIO AITA, P., 2014. Amaray. ,
- GAWROŃSKA, H. y BAKERA, B., 2015. Phytoremediation of particulate matter from indoor air by *Chlorophytum comosum* L. plants. *Air Quality, Atmosphere and Health*, vol. 8, no. 3, pp. 265-272. ISSN 18739326. DOI 10.1007/s11869-014-0285-4.
- GUAN, C.Y., TSENG, Y.H., TSANG, D.C.W., HU, A. y YU, C.P., 2019. Wetland plant microbial fuel cells for remediation of hexavalent chromium contaminated soils and electricity production. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 365, pp. 137-145. ISSN 18733336. DOI 10.1016/j.jhazmat.2018.10.086. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.10.086>.
- GUTIÉRREZ, H., DE LA VARA, R., 2008. *Análisis y diseño de experimentos* [en

línea]. Mc Graw Hi. S.l.: s.n. Disponible en: http://gc.initelabs.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf?fbclid=IwAR3XA39UZ9xBQT286i6F80bQ90F9ldqUUcPGThfwZiktqE_ECRReMQqHyq_Y.

HASSAN, S.H.A., GAD EL-RAB, S.M.F., RAHIMNEJAD, M., GHASEMI, M., JOO, J.H., SIK-OK, Y., KIM, I.S. y OH, S.E., 2014. Electricity generation from rice straw using a microbial fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy* [en línea], vol. 39, no. 17, pp. 9490-9496. ISSN 03603199. DOI 10.1016/j.ijhydene.2014.03.259. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2014.03.259>.

JOSHI, S., 2015. Present status of renewable and non-renewable energy sources. , no. February 2011. DOI 10.13140/RG.2.1.1787.1445.

JUAN, C., YU, K., ZHONG, W., SHUIYUAN, C., YUNJIE, G., JIE, G. y PENG, C., 2015. Negative Phototropism of Chlorophytum comosum Roots and Their Mechanisms. *Horticultural Plant Journal*, vol. 1, no. 1, pp. 55-60. ISSN 2468-0141. DOI 10.16420/j.issn.2095-9885.2015-0008.

KABUTEY, F.T., ZHAO, Q., WEI, L., DING, J., ANTWI, P., QUASHIE, F.K. y WANG, W., 2019. An overview of plant microbial fuel cells (PMFCs): Configurations and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], vol. 110, no. September 2018, pp. 402-414. ISSN 18790690. DOI 10.1016/j.rser.2019.05.016. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.05.016>.

KHUDZARI, J., KURIAN, J., GARIÉPY, Y., TARTAKOVSKY, B. y RAGHAVAN, G.S. V, 2018. 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. May 2017, pp. 1-9. ISSN 0961-9534. DOI 10.1016/j.biombioe.2017.12.013. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.12.013>.

LA REPÚBLICA, 2019. Cerca de 2 millones de peruanos viven sin electricidad a dos años del Bicentenario. [en línea]. 24 julio 2019. Disponible en: <https://larepublica.pe/economia/2019/07/24/cerca-de-2-millones-de->

peruanos-viven-sin-electricidad-a-dos-anos-del-bicentenario/?fbclid=IwAR12x8wVFSRyN6fXPU-OzrMrGqhxyOJAKantsADWL0XfYNp4JaVt_Uml-AM.

- LEA, 2018. Global Energy & CO2 Status Report. *USA today*,
- LIU, S., SONG, H., LI, X. y YANG, F., 2013. Power Generation Enhancement by Utilizing Plant Photosynthate in Microbial Fuel Cell Coupled Constructed Wetland System. , vol. 2013.
- LOGAN, B.E. y REGAN, J.M., 2006. Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells. *Trends in Microbiology*, vol. 14, no. 12, pp. 512-518. ISSN 0966842X. DOI 10.1016/j.tim.2006.10.003.
- LOPEZ, M., 2014. Plantas aromáticas para huertos urbanos, cultivo y propiedades. *Diputació de València*,
- MOQSUD, M., HANNAN, M. y OMINE, K., 2015. Assessment of factors influencing bioelectricity generation in paddy plant microbial fuel cells. *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science* [en línea], vol. 4, no. 12, pp. 2315-5094. Disponible en: <http://garj.org/garjas/home>.
- MOQSUD, M.A., YOSHITAKE, J., BUSHRA, Q.S., HYODO, M., OMINE, K. y STRIK, D., 2015. Compost in plant microbial fuel cell for bioelectricity generation Compost in plant microbial fuel cell for bioelectricity generation. *Waste Management* [en línea], vol. 36, no. November 2017, pp. 63-69. ISSN 0956-053X. DOI 10.1016/j.wasman.2014.11.004. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2014.11.004>.
- MOUSALLI-KAYAT, G., 2015. Métodos y Diseños de Investigación Cuantitativa. *Mérida*, no. June, pp. 1-39. DOI 10.13140/RG.2.1.2633.9446.
- OWUSU, P.A. y ASUMADU-SARKODIE, S., 2016. A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 1-14. ISSN 23311916. DOI 10.1080/23311916.2016.1167990.
- PAMINTUAN, K.R.S., CLOMERA, J.A.A., GARCIA, K. V., RAVARA, G.R. y SALAMAT, E.J.G., 2018. Stacking of aquatic plant-microbial fuel cells

- growing water spinach (*Ipomoea aquatica*) and water lettuce (*Pistia stratiotes*). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 191, no. 1. ISSN 17551315. DOI 10.1088/1755-1315/191/1/012054.
- PLANELLES, M. y DELGADO, C., 2018. El 13% de la población mundial aún no tiene acceso a la electricidad. *El País* [en línea]. 2 mayo 2018. Disponible en:
https://elpais.com/economia/2018/05/02/actualidad/1525257286_099135.html.
- QUEZADA, L., 2010. *Metodología de la investigación*. S.l.: s.n.
- RAMOS PÉREZ-AGAÑA, A., 2019. Evaluación de la Celda de Combustible Planta-Microbiana (PMFC) y las condiciones de su entorno en la generación de energía eléctrica. , pp. 128.
- ROJAS, A.A., 2010. Evaluación del efecto de tres fertilizantes orgánicos a tres dosis diferentes sobre la tasa de crecimiento y rendimiento del frijol. ,
- SALINAS-JUÁREZ, M.G., ROQUERO, P. y DURÁN-DOMÍNGUEZ-DE-BAZÚA, M. del C., 2016. Plant and microorganisms support media for electricity generation in biological fuel cells with living hydrophytes. *Bioelectrochemistry* [en línea], vol. 112, pp. 145-152. ISSN 1878562X. DOI 10.1016/j.bioelechem.2016.02.007. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1016/j.bioelechem.2016.02.007>.
- SARAY, C., UGÁS, R., 2001. Cultivo de hierbas aromáticas y medicinales. *Instituto Nacional de Investigación Agraria*, pp. 0-36.
- SARMA, P.J. y MOHANTY, K., 2018. *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, pp. 404-410. ISSN 13474421. DOI 10.1016/j.jbiosc.2018.03.009. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2018.03.009>.
- SARMA, P.J. y MOHANTY, K., 2019. An Insight into Plant Microbial Fuel Cells. *Bioelectrochemical Interface Engineering*, pp. 137-148. DOI 10.1002/9781119611103.ch8.

- SECTORELECTRICIDAD, 2011. Debate: Impacto ambiental de las hidroeléctricas en la amazonia peruana. *SectorElectricidad* [en línea], Disponible en: <http://www.sectorelectricidad.com/1083/debate-impacto-ambiental-de-las-hidroelectricas-en-la-amazonia-peruana/>.
- SOPHIA, A.C. y SREEJA, S., 2017. 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, pp. 59-66. ISSN 22131388. DOI 10.1016/j.seta.2017.05.001. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.seta.2017.05.001>.
- SPARK OF NATURE, 2017. Plant-e. [en línea], Disponible en: <https://www.plant-e.com/en/informatie/>.
- U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2019. *monthly energy review* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 2025862792. Disponible en: www.eia.gov/mer.
- VIVIANA, J., LÓPEZ, O. y FULTON LÓPEZ, I.A., 2013. Universidad De Guayaquil Facultad De Ciencias Agrarias Tesis Previa a La Obtención Del Título De Ingeniero Agrónomo Autor. ,
- VYAS RAMANAN, A., 2013. Energy harvesting and modeling of photosynthetic power cell. , no. April.
- ZAMORA SILVA, E., 2017. "Comparación de la energía eléctrica generada mediante la fotosíntesis de las especies Ipomea purpurea y Palma areca, San Martin de Porres, 2017". *Universidad César Vallejo*,

**ANEXOS:
Matriz de consistencia**

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES
<p>GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cuanta bioelectricidad se generará en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>) y Cinta (<i>Chlorophytum comosum</i>) en el Distrito De Yanacancha - Chupaca –2021? 	<p>GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> Determinar la bioelectricidad generada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>) y Cinta (<i>Chlorophytum comosum</i>) en el Distrito De Yanacancha - Chupaca –2021. 	<p>GENERAL</p> <ul style="list-style-type: none"> La bioelectricidad generada en la pila de combustible microbiana de hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>) es mayor a la bioelectricidad generada en la pila de combustible microbiana de Cinta (<i>Chlorophytum comosum</i>) en el Distrito De Yanacancha - Chupaca –2021. 	<p>INDEPENDIENTE</p> <p>plantas de hierbabuena y cinta</p>	<p>Características fisicoquímicas Radiación solar pH de la tierra temperatura de la tierra Comparación de especies</p>
<p>ESPECÍFICO</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Qué características fisicoquímicas presentará la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>) y Cinta (<i>Chlorophytum comosum</i>) ? ¿Cómo influirá la radiación solar en la generación de bioelectricidad en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>) y Cinta (<i>Chlorophytum comosum</i>) ? ¿Qué correlación tendrá el pH y temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>) y Cinta 	<p>ESPECÍFICO</p> <ul style="list-style-type: none"> Caracterizar fisicoquímicamente la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>) y Cinta (<i>Chlorophytum comosum</i>) Determinar la influencia de la radiación solar en la generación de bioelectricidad en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>) y Cinta (<i>Chlorophytum comosum</i>) . Analizar la correlación del pH y temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>) y Cinta (<i>Chlorophytum comosum</i>) con la generación de bioelectricidad. 	<p>ESPECÍFICO</p> <ul style="list-style-type: none"> La tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>) y Cinta (<i>Chlorophytum comosum</i>) presenta altas concentraciones de fosforo y potasio. Una radiación solar alta genera un voltaje alto produciendo mayor bioelectricidad en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>) y Cinta (<i>Chlorophytum comosum</i>) en 2021. El pH y la temperatura de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana de hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>) y Cinta (<i>Chlorophytum comosum</i>) 	<p>DEPENDIENTE</p> <p>Cantidad de bioelectricidad</p>	<p>Tensión eléctrica Intensidad eléctrica Potencia máxima</p>

<p>(<i>Chlorophytum comosum</i>) con la generación de bioelectricidad?</p>	<p>.</p>	<p>presentan una correlación positiva y fuerte con la generación de bioelectricidad.</p>		
--	----------	--	--	--

Validación de instrumentos

VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO

DATOS GENERALES

Nombre de los instrumentos motivo de validación: Características fisicoquímicas del suelo

Autores del instrumento: Gomez de la Cruz Milagros - Simeon Medina Paola

ASPECTOS DE VALIDACIÓN

INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

	INSTRUMENTO. 01
	CARACTERÍSTICA FÍSICOQUÍMICA DEL SUELO
Título:	“ Bioelectricidad Generadas en las Pilas de Combustible Microbiana de Hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>) y Cinta (<i>Chlorophytum comosum</i>) en Yanacancha - Chupaca – 2021”
Línea de investigación:	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
Facultad:	Ingeniería Ambiental
Tesista:	Gomez De La cruz Milagros Yosilin

	Medina Simeon Paola Yurico							
Ficha:	CARACTERISTICA FISICOQUIMICA DEL SUELO							
Muestras	CE	Materia Organica	ph	Fosforo (P)	Potasio (K)	Aluminio (Al)	Nitrogeno (N)	Textura
M1								
M2								
M3								

Erika G. Zuruga Almonacid
ING. CIVIL
CIP N° 110701

Firma del experto

CIP:110701
DNI:45165028

Teléfono:95229863

Firma del experto

CIP:131344
DNI:43566120

Teléfono:

Henry R. Ochoa León
INGENIERO QUÍMICO
CIP N° 124232

Firma del experto

CIP:124832
DNI:
Teléfono:95441614
9

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	INSTRUMENTO. 02
	RADIACIÓN SOLAR DE LA ZONA DE ESTUDIO
Título:	“ Bioelectricidad Generadas en las Pilas de Combustible Microbiana de Hierbabuena (Mentha spicata) y Cinta (Chlorophytum comosum) en Yanacancha - Chupaca – 2021”
Línea de investigación:	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales
Facultad:	Ingeniería Ambiental
Tesista:	Gomez De La cruz Milagros Yosilin Medina Simeon Paola Yurico
Ficha:	RADIACION SOLAR Y TEMPERATURA DE LA ZONA DE ESTUDIO
Muestras	Radiación solar
	Radiación solar global
M1	
M2	
M3	





Firma del experto

CIP:110701

DNI:45165028

Teléfono:95229863

Firma del experto

CIP:

DNI:

Teléfono:



Firma del experto

CIP:

DNI:

Teléfono:

 UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	INSTRUMENTO. 03					
	TEMPERATURA Y pH DE LA TIERRA UTILIZADA EN LAS PMFC					
Título:	“ Bioelectricidad Generadas en las Pilas de Combustible Microbiana de Hierbabuena (<i>Mentha spicata</i>) y Cinta (<i>Chlorophytum comosum</i>) en Yanacancha - Chupaca - 2021”					
Línea de investigación:	Calidad y Gestión de los Recursos Naturales					
Facultad:	Ingeniería Ambiental					
Tesista:	Gomez De La cruz Milagros Yosilin Medina Simeon Paola Yurico					
Ficha:	COMPARACION DE ESPECIES					
	09:00 AM		03:00 PM		90:00 PM	
Muestras	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	pH	Temperatura (°C)	pH
M1						
M2						
M3						

Firma del experto

CIP:110701
DNI:45165028
Teléfono:95229863

Firma del experto

CIP:
DNI:
Teléfono:

Firma del experto

CIP:
DNI:
Teléfono:

:

Cálculo del tamaño de muestra

Para hallar la muestra de plantas de hierbabuena a utilizar en las pilas de combustible microbiana, se aplicó la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z_{\alpha}^2 * p * q * N}{p * q * Z_{\alpha}^2 + E^2 * (N - 1)} \quad (5)$$

Dónde:

n= tamaño de la muestra

Z= valor de Z crítico, calculado en las tablas del área de la curva normal. Llamado también nivel de confianza. Para un grado de confianza del 95 % corresponde 1,96.

Para una confiabilidad del 95 % y 5 % error:

$$\alpha = 0,05; \alpha/2 = 0,025 \%$$

$$\text{Entonces } 1 - 0,025 = 0,975.$$

En la tabla de distribución normal para el valor de 0,975 el valor de la fila es 1,9 y el valor de la columna es 0,06 que representa al segundo decimal entonces $Z_{0,05/2}=1,96$.

p= proporción de resultados favorables de la variable en la población (0,99).

q= proporción de resultados desfavorables en la población (q=1-p).

E= nivel de precisión absoluta. Referido a la amplitud del intervalo de confianza deseado en la determinación del valor promedio de la variable en estudio, para este caso será del 10 % (Gutiérrez, H., De la Vara 2008).

$$n = \frac{1,96^2 * 0,99 * 0,01 * 100}{0,99 * 0,01 * 1,96^2 + 0,1^2 * (100 - 1)}$$

$$n = 3,6994$$

Por tanto, el tamaño de la muestra será de 4 plantas de *Mentha spicata* y *Chlorophytum comosum* por macetero.

Resultados de la caracterización de la tierra utilizada en las pilas de combustible microbiana



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACIÓN AGRARIA
ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA SANTA ANA - JUNIN



SERVICIO DE LABORATORIO DE SUELOS

Teléfonos: 24-6206 y 24-7011

NOMBRE	: PAOLA MEDINA SIMEON		
LUGAR	: CONCEPCION -JUNIN	PREDIO	: PY-111

253-2021	Junio del 2021
N° Correlativo laboratorio	Fecha de análisis

RESULTADOS DE ANALISIS									
5.80	6.03	3.74	117.80	0.00	0.30	TEXTURA			
pH	M.O	P	K	Al	N	84.0	22.0	14.0	Tipo de suelo
	(%)	(ppm)	(ppm)	(me/100 gr)	(%)	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)	FRANCO-ARCILLO-ARENOSO

INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS					
pH			BAJO	MEDIO	ALTO
Fuertemente ácido	< 5.5				X
Moderadamente ácido	5.6 - 6.0	X	X		
Ligeramente ácido	6.1 - 6.5			X	
Neutro	7				
Ligeramente alcalino	7.1 - 7.8				X
Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4				
Fuertemente alcalino	> 8.5				

RECOMENDACIONES										
CULTIVO:		CEBADA								
NUTRIENTES:		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
FÓRMULA :		Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha
Fórmula:		0	80	70						
Siembra	Fosfato diamónico (Kg/ha)	170								
	Cloruro de potasio (Kg/ha)	120								

Laboratorio de Suelos
 Estación Experimental Agraria Santa Ana - Junín
 INIA



INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA
ESTACION EXPERIMENTAL AGRARIA SANTA ANA - JUNIN



SERVICIO DE LABORATORIO DE SUELOS

Teléfonos: 24-6206 y 24-7011

NOMBRE	: PAOLA MEDINA SIMEON		
LUGAR	: CONCEPCION-JUNIN	PREDIO	: LK-111

252-2021	Junio del 2021
N° Correlativo laboratorio	Fecha de análisis

RESULTADOS DE ANALISIS									
7.30	1.94	22.20	209.73	0.00	0.10	TEXTURA			
pH	M.O	P	K	Al	N	Arena	Arcilla	Limo	Tipo de suelo
	(%)	(ppm)	(ppm)	(me/100 gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	FRANCO

INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS					
pH			BAJO	MEDIO	ALTO
Fuertemente ácido	< 5.5	Nitrógeno (N)	X		
Moderadamente ácido	5.6 - 6.0	Fósforo (P)			X
Ligeramente ácido	6.1 - 6.5	Potasio (K)		X	
Neutro	7	Al (me/100 gr)			
Ligeramente alcalino	7.1 - 7.8	X	M.O. (%)	X	
Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4				
Fuertemente alcalino	> 8.5				


 Laboratorio de Suelos y Agua
 Inés Flores de Ocampo
 (s) Laboratorio Suelos y Agua



SERVICIO DE LABORATORIO DE SUELOS
Teléfonos: 24-6206 y 24-7011

NOMBRE	PAOLA MEDINA SIMEON		
LUGAR	CONCEPCION JUNIN	PREDIO	LM-221

347-2021	AGOSTO_2021
Nº Correlativo laboratorio	Fecha de análisis

RESULTADOS DE ANALISIS									
7.01	5.14	10.54	189.20	0.00	0.21	TEXTURA			Tipo de suelo
						73.8	7.7	18.2	
pH	M.O	P	K	Al	N	Arena	Arcilla	Limo	Franco Arenoso
	(%)	(ppm)	(ppm)	(me/100 gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	

INTERPRETACION DE ANALISIS							
pH		BAJO		MEDIO		ALTO	
Fuertemente ácido	< 5.5		Nitrógeno (N)		X		
Moderadamente ácido	5.6 - 6.0		Fósforo (P)				X
Ligeramente ácido	6.1 - 6.5		Potasio (K)				X
Neutro	7	X	Al (me/100 gr)				
Ligeramente alcalino	7.1 - 7.8		M.O.(%)				X
Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4						
Fuertemente alcalino	> 8.5						

RECOMENDACIONES										
CULTIVO:		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
NUTRIENTES:		Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha	Kg/ha
FÓRMULA :										
Siembra	Fosfato diamónico (Kg/ha)									
	Cloruro de potasio (Kg/ha)									
	Urea(Kg/ha)									
	Materia orgánica descompuesta (Kg/ha)									
	Abono foliar									
	Guano de isla (Kg/ha)									
Deshierbo										
Aporque										
Inicio de floración										
En desarrollo Acidos húmicos										
Observaciones y recomendaciones especiales										

Estación Experimental Agraria
 Benteos - Junin
 Ing. Irene Flores de Sarda
 (a) Laboratorio Suelos y Agua

Registro fotográfico

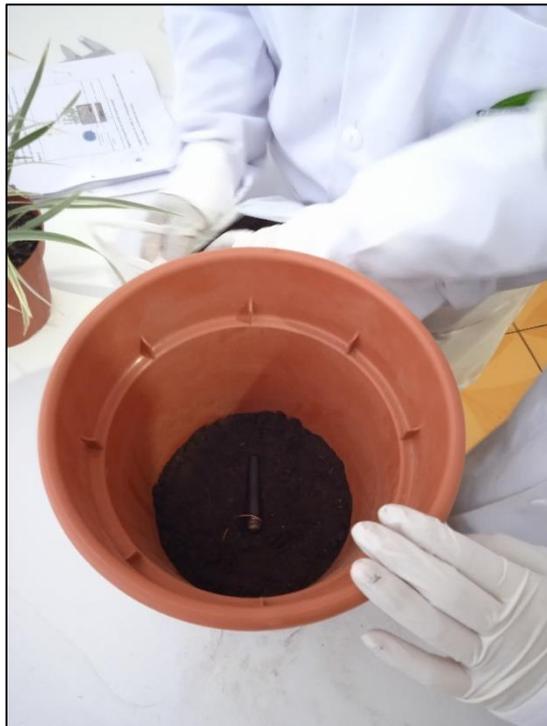
Medición de los maceteros a utilizar en las pilas de combustible microbiana



Preparación de electrodos de grafito



Aseguración del cátodo en el fondo de la pila de combustible microbiana



Colocación de la tela de algodón a 2 pulgadas del fondo de la pila



Aseguración del ánodo cerca de las raíces con el cable de cobre trenzado



Colocación de la planta de cinta



Colocación de la planta de hierbabuena



Medición del pH de la tierra utilizada en la pila de combustible microbiana



Medición de la temperatura de la tierra utilizada en la pila de combustible microbiana



Medición del voltaje eléctrico generado en la pila de combustible microbiana



Generación de electricidad en las pilas de combustible microbiana

