

**Potencial de Generación Eléctrica en Celdas de Combustible Microbianas con Plantas como Fuente  
de Energía Renovable**

Emerson Ramírez Ballestas



Tesis de Maestría

UNIVERSIDAD DE LA COSTA – CUC

DEPARTAMENTO DE CIVIL Y AMBIENTAL

MAESTRÍA DE INVESTIGACIÓN EN DESARROLLO SOSTENIBLE (MIDES)

BARRANQUILLA

2023

**Potencial de Generación Eléctrica en Celdas de Combustible Microbianas con Plantas como Fuente  
de Energía Renovable**

**Autor(a):**

Emerson Ramírez Ballestas

**Tutor(a):**

Dra. Claudete Gindri Ramos

**Cotutor(a):**

MsC. Andrea Liliana Moreno Ríos

TRABAJO DE GRADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE

DEPARTAMENTO DE CIVIL Y AMBIENTAL

MAESTRÍA DE INVESTIGACIÓN EN DESARROLLO SOSTENIBLE (MIDES)

BARRANQUILLA

2023

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

Barranquilla, 27 de febrero de 2023



### **Dedicatoria**

Dedico esta tesis a mis padres, quienes desde muy joven me inculcaron la actitud de aprender y luchar por mis sueños.

A mis hijos y mi esposa, quienes gracias a ellos he decidido a subir un peldaño más en la vida profesional.

Emerson Ramírez Ballestas

### **Agradecimientos**

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a:

A toda la comunidad educativa de la Universidad de la Costa-CUC, que hizo parte de este proceso integral de formación.

A la Doctora Claudete Gindri Ramos al Doctor Juan José Cabello Eras y a la MsC Andrea Liliana Moreno Ríos por ayudarme a culminar este logro con sus conocimientos y sabidurías.

A mis compañeros de clases por su amistad y apoyo moral.

### Resumen

La demanda mundial de energía ha llevado a la búsqueda de energías alternativas, de bajo costo de producción y que minimicen los impactos ambientales. Entre las tecnologías existentes se destaca la celda de combustible (CC), que convierte la energía química en eléctrica. Una variante de la CC es la celda de combustible microbiana (CCM), donde se produce energía por reacciones metabólicas realizadas por microorganismos. El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de generación eléctrica de las CCMs usando las plantas *Torenia fournieri*, *Kalachoe blossfeldiana*, *Pentas lanceolata*, *Nephrolepis exaltata*, *Begonia semperflorens*, *Asplenium nidus* como fuente alternativa de energía renovable en el municipio San Jacinto, Bolívar, Colombia. Para ello se construyó y analizó la eficiencia de las CCMs utilizando suelo, arena, abono orgánico y ceniza de madera en una proporción de 3:2:1:1/2, como medio de suministro de bacterias. Se analizaron las CCMs, así como las posibles variaciones al utilizar plantas nativas (CCMP). La eficiencia de las CCMPs se evaluó monitoreando la diferencia de potencial entre los electrodos de la celda. La CCMP con la media más alta fue con *Begonia Semperflorens*, 0,607 V y la más baja con *Asplenium nidus* 0,069 V. Los picos de voltaje más altos ocurrieron en *Torenia fournieri* con 1,782 V y *Asplenium nidus*, con 1,587 V. Este estudio reveló que las CCMPs son una tecnología promisoría, que podría promover el desarrollo energético del país. Es una estrategia sostenible de bajo costo, viable, que aporta al cumplimiento del ODS-7 y reproducible en Colombia y el mundo.

**Palabras clave:** celdas de combustible microbiana, organismos bioelectroquímicos, transferencia de electrones, rizodeposición, electrodos, materia orgánica.

### Abstract

The global demand for energy has led to the search for alternative energies, with low production costs and that minimize environmental impacts. Among the existing technologies, the fuel cell (CC) stands out, which converts chemical energy into electricity. A variant of CC is the microbial fuel cell (MCC), where energy is produced by metabolic reactions carried out by microorganisms. The objective of this work was to evaluate the power generation potential of the CCMs using the plants *Torenia fournieri*, *Kalachoe blossfeldiana*, *Pentas lanceolata*, *Nephrolepis exaltata*, *Begonia semperflorens*, *Asplenium nidus* as an alternative source of renewable energy in the municipality of San Jacinto, Bolívar, Colombia. For this, the efficiency of the CCMs was built and analyzed using soil, sand, organic fertilizer and wood ash in a ratio of 3:2:1:1/2, as a means of supplying bacteria. The CCMs were analyzed, as well as the possible variations when using native plants (CCMP). The efficiency of the CCMPs was evaluated by monitoring the potential difference between the cell electrodes. The CCMP with the highest average was with *Begonia Semperflorens*, 0.607 V, and the lowest with *Asplenium nidus*, 0.069 V. The highest voltage peaks occurred in *Torenia fournieri*, with 1.782 V, and *Asplenium nidus*, with 1.587 V. This study revealed that the CCMPs are a promising technology, which could promote the country's energy development. It is a sustainable, low-cost, viable strategy that contributes to compliance with SDG-7 and is replicable in Colombia and the world.

**Keywords:** microbial fuel cells, bioelectrochemical organisms, electron transfer, rhizodeposition, electrodes, organic matter.

**Contenido**

Planteamiento del problema..... 21

Hipótesis..... 24

Objetivos ..... 24

    Objetivo general ..... 24

    Objetivos específicos..... 24

Capítulo I. Marco teórico..... 26

    Crisis de energía ..... 26

    Celdas de combustible..... 26

    Plantas ..... 27

    Celdas de combustible microbianas ..... 28

    Microorganismos..... 31

        Microalgas ..... 32

    Proceso de generación de energía ..... 32

Estado del Arte..... 37

Capítulo II. Materiales y métodos..... 43

    Instrumentos de medición o recolección de datos cuantitativos. .... 44

    Diseño metodológico..... 45

    Identificación y caracterización de las bacterias ..... 48

POTENCIAL ELÉCTRICO CELDAS DE COMBUSTIBLE	10
Celda de combustible microbianas con plantas, montaje y funcionamiento.....	52
Recolección de datos y análisis de resultados.....	54
Generación de energía.....	55
Configuración de las celdas de combustible microbianas con plantas.....	55
Capítulo III. Resultados .....	63
Informe Analítico de Suelo Agrícola .....	63
Datos CCMP .....	73
Capítulo IV. Discusiones .....	91
Análisis de resultados microbiológicos.....	91
Análisis de los resultados fisicoquímicos de suelos.....	100
Análisis del potencial eléctrico de las CCMPs.....	107
Conclusiones.....	111
Recomendaciones .....	113
Referencias.....	114

**Lista de tablas****Tablas**

Tabla 1 Bacterias analizadas.....	49
Tabla 2 Parámetros analizados.....	50
Tabla 3 Resultados de los análisis Fisicoquímico de Suelos .....	63
Tabla 4 Análisis microbiológico de suelos .....	67
Tabla 5 Correlaciones de Pearson.....	68
Tabla 6 Estadísticos Descriptivos Medidas de Tensión (V). .....	75
Tabla 7 Estadísticos Descriptivos Medidas de Intensidad (A). .....	78
Tabla 8 Estadísticos Descriptivos Potencia Eléctrica (W).....	81
Tabla 9 Estadísticos Descriptivos Densidad de Corriente ( $A/m^2$ ).....	84
Tabla 10 Estadísticos Descriptivos Densidad de Potencia ( $W/m^2$ ). .....	87
Tabla 11 Estadísticos Descriptivos Potencia Volumétrica ( $W/m^3$ ). .....	90

### Lista de figuras

#### Figura

Figura 1 Problemas, efectos, causas de las fuentes de energías convencionales. ....	23
Figura 2 Esquema del modelo de cámaras separadas para una celda de combustible microbiana. .....	29
Figura 3 Estructura metodológica de la investigación. ....	47
Figura 4 Materiales utilizados para el diseño y armado de las CCMPs.....	54
Figura 5 Prueba piloto celdas de combustibles con plantas.....	56
Figura 6 Prueba piloto celdas de combustible con plantas en serie. ....	56
Figura 7 Preparación del sustrato de las plantas .....	57
Figura 8 Mezcla de sustrato celdas de combustible microbiana.....	58
Figura 9 Armado de celdas de combustible microbianas .....	59
Figura 10 Conexión equipos de medición .....	60
Figura 11 Recopilación de datos.....	61
Figura 19 Mapa de Calor Correlaciones. ....	72
Figura 13 Resultados de Medidas de Tensión (V).....	74
Figura 14 Resultados de Medidas de Intensidad (A).....	77
Figura 15 Resultados de Medidas de Potencia Eléctrica (W).....	80
Figura 16 Resultados de Medidas de Densidad de Corriente ( $A/m^2$ ). ....	83
Figura 17 Resultados de Medidas de Densidad de Potencia ( $W/m^2$ ).....	86
Figura 18 Resultados de Medidas de Potencia Volumétrica ( $W/m^3$ ). ....	89
Figura 20 Informe Analítico de Suelo Agrícola Muestra de Suelo Experimental .....	102
Figura 21 Informe Analítico de Suelo Agrícola Muestra Sustrato antes del experimento. ....	104



Figura 22 Informe Analítico de Suelo Agrícola Muestra Sustrato después del experimento.... 106

Figura 23 Datos comparativos de parámetros fisicoquímicos de las 3 muestras de suelo  
estudiadas..... 107

## Introducción

Para el crecimiento de la población mundial, una de las prioridades es la generación de energía eléctrica en zonas rurales y/o en zonas urbanas, la electricidad es la fuente de demanda final de energía de más rápido crecimiento y se espera que supere el consumo de electricidad en los próximos 25 años (Energy Agency, 2020). Para generar esta energía la humanidad utiliza fuentes no renovables y fuentes renovables, las más utilizadas son las fuentes de energía no renovables que ocasionan en su gran mayoría el calentamiento global del planeta, toda energía sostenible debería ser moderna, pero no toda la energía moderna es sostenible (Programa Naciones Unidas para el desarrollo, 2019).

Los países que están listos para responder y pasar a energía de bajo costo, confiable y moderna han creado estrategias entre las cuales se puede mencionar el compromiso político, mayor inversión pública y privada en infraestructura energética sostenible, apoyar a los países en desarrollo para que prioricen una mayor producción de energía renovable e invertir en eficiencia energética como la forma más asequible de satisfacer dicha necesidad, se debería triplicar la inversión global en estos proyectos para 2030 para confirmar la meta de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS 7) recomendada por las Naciones Unidas con acciones de interés público y tangibles para implementar estas medidas y lograr las metas acordadas (Shyu, 2021).

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) formula recomendaciones para avanzar en materia del ODS 7, en este caso una de las recomendaciones es enfocar los esfuerzos de acceso a los asentamientos informales y a las zonas alejadas (CEPAL, 2022).

En todos los casos del Consejo Mundial de Energía Colombia (CMEC) se ve un aumento significativo en la proporción de fuentes de energía renovables en la producción total de energía.

La participación estará disponible en un 40,3 % en 2060 según la situación, por todo el mundo, estos ingresos adicionales de fuentes de energía renovable serán suficiente para cubrir todo el crecimiento de la demanda de electricidad.

En las áreas rurales, la generación de energía cotidiana está limitada por los costos operativos de las actividades de generación de energía diaria. Esto tiene implicaciones para la economía de los proyectos de energía rural o energía híbrida bajo estudio (Akbas et al., 2022). Para cumplir con los objetivos del CMEC, el mercado eléctrico debe incluir energías renovables no convencionales para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y tener una matriz energética diversa (Perez & García-Rendon, 2021). Las energías renovables o verdes son denominadas energías renovables no convencionales, estos tipos de energías poseen un gran futuro en Colombia, debido a que el país cuenta con una geografía y biodiversidad que prometen grandes conveniencias para el impulso de la reconversión energética (Claudia et al., 2022).

Un proceso para generar energías que se ha venido trabajando y plantea el desarrollo de nuevas fuentes de energías sostenibles o renovables para las necesidades energéticas futuras y que pueden proporcionar combustibles alternativos, son las llamadas celdas de combustibles microbianas que son utilizadas en diferentes procesos con agentes biológicos para diversas aplicaciones (Srivastava et al., 2022). Las celdas de combustible microbianas poseen además otros beneficios diferentes a la generación de energía directa, proporcionan estabilidad operativa del proceso debido a la autogeneración de los microorganismos y su buena resistencia al estrés ambiental (Tommasi & Lombardelli, 2017).

La bioenergía que emplea microorganismos catalizados para aumentar la velocidad de las reacciones químicas y desprender electrones en el ánodo son referentes de las investigaciones de las CCMs porque convierten materiales de desecho orgánicos en energía eléctrica (Prathiba et

al., 2022), desde el punto de vista biológico los microorganismos proporcionan una economía de combustible donde se pueden emplear tanto aguas residuales domésticas e industriales como el suelo en asociación con plantas (Mohyudin et al., 2022).

En las celdas de combustible microbianas con plantas, ocurre simbiosis entre los microorganismos y las plantas, debido a que en el proceso de fotosíntesis de las plantas ellas liberan azúcares por las raíces que son usadas como alimento por las bacterias, estas a su vez se alimentan con productos en descomposición vegetal y compuestos de sustrato que liberan electrones en el ánodo o crecen en la superficie de los electrodos y donan estos electrones al cátodo (Shaikh et al., 2021).

Las plantas pueden absorber por medio de las raíces diferentes tipos de minerales presentes en el entorno radicular como cationes y aniones. Se logra presumir que el efecto del transporte de cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ) y aniones ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{MnO}_4^-$ ,  $\text{OH}^-$ ) atravesando el sistema de poros emerge un gradiente eléctrico, donde intervienen las bombas de iones, los canales de la membrana plasmática de las células radiculares e intercambiadores (Kuleshova et al., 2022). El concepto de integrar plantas, suelo y microorganismos para desarrollar un dispositivo capaz de generar energía a pequeña escala como fuente de energía renovable (Jiang et al., 2022), y poder ser utilizada en zonas apartadas se deben tener en cuenta condiciones ambientales óptimas para que el sistema perdure, como resultado de esta operación se espera que funcione durante todo el día y se obtenga una densidad de potencia suficiente para ser utilizada en aparatos eléctricos o iluminación (Jyoti Sarma & Mohanty, 2022).

Los sistemas bioelectroquímicos (BES) pueden usar una diversidad de clases de microorganismos entre los cuales se encuentran (Proteobacteria, Firmicutes y Acidobacteriopyla, microalgas, hongos y levaduras) que en condiciones ecológicas y ambientales logran originar

densidad de potencia e intervenir en la transferencia de electrones a los ánodos (Thapa et al., 2022). Los microorganismos electrógenos son los que liberan electrones en un aceptor extracelular de estado sólido, mientras que los microorganismos que recuperan electrones extracelulares de un donante son denominados electróforos (Yee et al., 2020).

Si la transferencia de cargas negativas ocurre en ambas direcciones, esto se denomina transferencia de electrones extracelular bidireccional; las bacterias generadoras de partículas (exoelectrógenos) empleadas en las CCMPs sirven para que por medio del ánodo se recolecte la energía, produzcan la descomposición de la materia orgánica, promuevan el tratamiento de aguas residuales y lleven a cabo procesos de descomposición y transformación de la biomasa. En contraste, las bacterias que alcanzan a realizar la síntesis de sustancias químicas denominados electrógrafos pueden aceptar electrones en el cátodo, además de otras funciones (Liu et al., 2014).

La entrega de electrones extracelulares acontece de varias maneras por medio de los microorganismos electrogénicos, se pueden evidenciar transferencias directas como indirectas, ejemplo de transferencias directas se encuentran los contactos de los microorganismos con el electrodo en su superficie, traspasando sus citocromos de membrana, por nano cables y nano filamento preceptores, mientras que las transferencias indirectas ocurren por mediadores como los transbordadores de electrones o las flavinas, fenazinas, hidrógeno e instrumentos de metabolitos eucariotas (Rusyn, 2021).

Adicionalmente, los suelos que apoyan el crecimiento de las plantas son naturalmente ricos en nutrientes (por ejemplo, carbohidratos, aminoácidos, ácidos alifáticos, enzimas, vitaminas, entre otros) y deben corresponder a un ambiente electrogénico para mantener una simbiosis entre las bacterias y las plantas (Chabert et al., 2015). El desecho vegetal y las raíces

en descomposición son otra fuente de materia orgánica para los microorganismos presentes en el suelo, el sustrato presente también proporciona un donante de electrones para microorganismos electroactivos.

En este proceso los microorganismos durante la respiración aeróbica y anaeróbica liberan electrones en la oxidación microbiana de carbohidratos simples y complejos, ácidos orgánicos de origen vegetal y también a través de la conversión de ácidos húmicos disponibles en el suelo, hierro (II), azufre y compuestos de azufre, amonio y carbonato (Deng et al., 2012).

Aunque el mundo utiliza sus recursos energéticos de petróleo, carbón y gas natural para mantener los procesos productivos, su uso ha provocado el aumento de la temperatura del planeta fruto del incremento de las concentraciones de los gases de efecto invernadero (GEI), ocasionando un cambio climático sin antecedentes en la historia humana. La utilización de los productos derivados del petróleo representa el 60 % de todas las emisiones mundiales de GEI, solo el 17 % del consumo final fue destinado para las energías renovables, cabe destacar al mismo tiempo que el 13 % de la población no tiene acceso a servicio moderno de electricidad por su extrema pobreza o porque viven en zonas muy apartadas donde no hay infraestructura energética (PNUD, 2019). Satisfacer esta demanda de fuentes de energía limpia requiere una inversión significativa en infraestructura y sistemas integrados para brindar beneficios a todos los consumidores. La integración de las fuentes de energía renovables en la generación de electricidad en 2015 fue del 23 %, igual que en 1970, lo que significa que la participación de las energías renovables no ha aumentado desde entonces (Schiffer et al., 2018).

Una serie de factores han rezagado y retrasado la difusión y el desarrollo de las energías renovables en el proceso, estos incluyen costos iniciales y gastos de capital; inversión inadecuada en el área, así como en el desarrollo de habilidades técnicas relevantes, y, finalmente, la

necesidad de apoyo político, internacional, regional y local (Bilgili et al., 2015).

Los estudios de Nieto & Campo-Robledo (2012) mostraron que la dependencia de las energías renovables es esencial para escalar efectivamente la transición energética. En particular, el cambio en las energías renovables, la relación entre las energías renovables y la demanda, la relación entre el consumo de energía y el PIB, la producción de energía, el consumo de energía, el cambio en la eficiencia energética y la inversión en investigación y desarrollo en dinero bruto es importante. Sin embargo, dado que la energía es uno de los factores clave para el desarrollo sostenible, uno de los mayores desafíos en el desarrollo económico de los países es satisfacer la creciente demanda de energía, suministro de electricidad, transporte y otros usos energéticos (UPME, 2015).

Para aumentar la capacidad de las CCMPs se debe tener en cuenta los factores ambientales y usarlos en aplicaciones prácticas que promuevan el uso de la electricidad generada. Las fuentes alternativas abiertas de energía y el progreso tecnológico han hecho posible aumentar el empleo de la energía, por lo que la energía producida por plantas, bacterias y algas se puede emplear como una forma sostenible de nueva tecnología, limpia, verde y renovable en las zonas apartadas o remotas donde no hay electricidad, adicionalmente todo aquel que esté interesado en este tipo de energías renovables.

Estas formas de energía reducen la dependencia de los combustibles fósiles por ser recursos renovables, lo que los convierte en fuentes sostenibles que aporten en el desarrollo económico y ayudan a la autogestión, disminución de GEI y otros contaminantes que provocan el cambio climático. Mejorar la eficiencia energética de las CCMs sigue siendo un área importante de investigación en curso, con la esperanza de que las CCMs puedan encontrar aplicaciones prácticas. Con diseños avanzados, las CCMPs pueden mejorar la producción

sostenible de bioenergía, demostrando sistemas de conversión eficientes de combustibles químicos a energía eléctrica (Srivastava et al., 2022).

El desarrollo y producción de energía a partir de fuentes no tradicionales es una cuestión de utilidad social, de interés público y de la economía nacional, especialmente para lograr que existan diferentes tipos de energía, impulsando la competitividad de la economía colombiana, la protección del medioambiente, uso y conservación de energía y conservación de recursos renovables (Ramírez et al., 2022).

Esta perspectiva crítica sobre la seguridad energética parece caracterizar la naturaleza política de los fenómenos y de las medidas previstas para un acceso amplio y adecuado a la energía previsto en el ODS 7 (Menezes, 2019), enfatizando la importancia de lograr un desarrollo sostenible, que pasa principalmente por integrar energía, economía y emisiones.

Los problemas actuales relacionados con la seguridad energética, los precios de la electricidad y el costo de vida chocan con la crisis climática para recordar que la eficiencia energética es más importante que nunca. Para 2030, cuando termine la agenda de la ONU, se espera que el 15 % de la energía de Colombia provenga de fuentes renovables no convencionales (UPME, 2015). Se concluye que el país ha iniciado el proceso de diversificación de fuentes de energía con el aumento de fuentes de energía renovables en el futuro (Ramos et al., 2021).

La finalidad del presente trabajo de investigación tiene como tema central evaluar el potencial de generación eléctrica de las celdas de combustible microbianas usando las plantas *Torenia fournieri*, *Kalachoe blossfeldiana*, *Pentas lanceolata*, *Nephrolepis exaltata*, *Begonia semperflorens*, *Asplenium nidus* como fuente alternativa de energía renovable en el municipio San Jacinto, Bolívar, Colombia. A las cuales se le realizó el monitoreo de la tensión eléctrica, así como el cálculo de la corriente eléctrica, potencia eléctrica, densidad de corriente, densidad de



potencia, potencia volumétrica. Una vez obtenidos los datos se analizaron para su implementación en aplicaciones prácticas que utilicen la energía eléctrica generada, asimismo se identificaron las bacterias bioelectrogénicas presentes en las celdas de combustible microbianas.

Con base en este escenario de la energía colombiana, esta tesis busca integrar información relevante para aportar a la sociedad, pues sus actividades incluyen una visión general del potencial de producción de energía eléctrica en el país. Por tanto, este estudio tiene como objetivo generar resultados de investigación y transferencia de tecnología en torno a la producción y uso de energía eléctrica a partir de CCMP, proporcionando información relevante para impulsar políticas públicas orientadas al desarrollo de la energía en el país.

### **Planteamiento del problema**

El 70 % de la energía que se produce en Colombia es producida por centrales hidroeléctricas, y el resto por centrales térmicas (gas, carbón o petróleo) y otras tecnologías, incluidas las no tradicionales, es decir, solo el 1 % de la demanda eléctrica (Mastropietro et al., 2020). Los resultados a mediano plazo muestran que la demanda de energía eléctrica para Colombia entre 2021 a 2035 podría crecer a una tasa promedio anual de 2,28 % a 2,68 % respectivamente, con una probabilidad del 34% (UPME, 2021), se ha observado cambios significativos en el sistema energético que han llevado a una diversificación de la canasta energética, una tendencia hacia la adopción de fuentes y tecnologías de energía limpia, lo que facilita una mejor utilización de la energía y nuevas oportunidades de negocios (UPME, 2015; Fragoso-Altamirano, 2020).

Los resultados del índice compuesto IPEM\_RC de pobreza energética multidimensional por región para Colombia al 2013 mostraron que 23 de cada 100 hogares del país podían

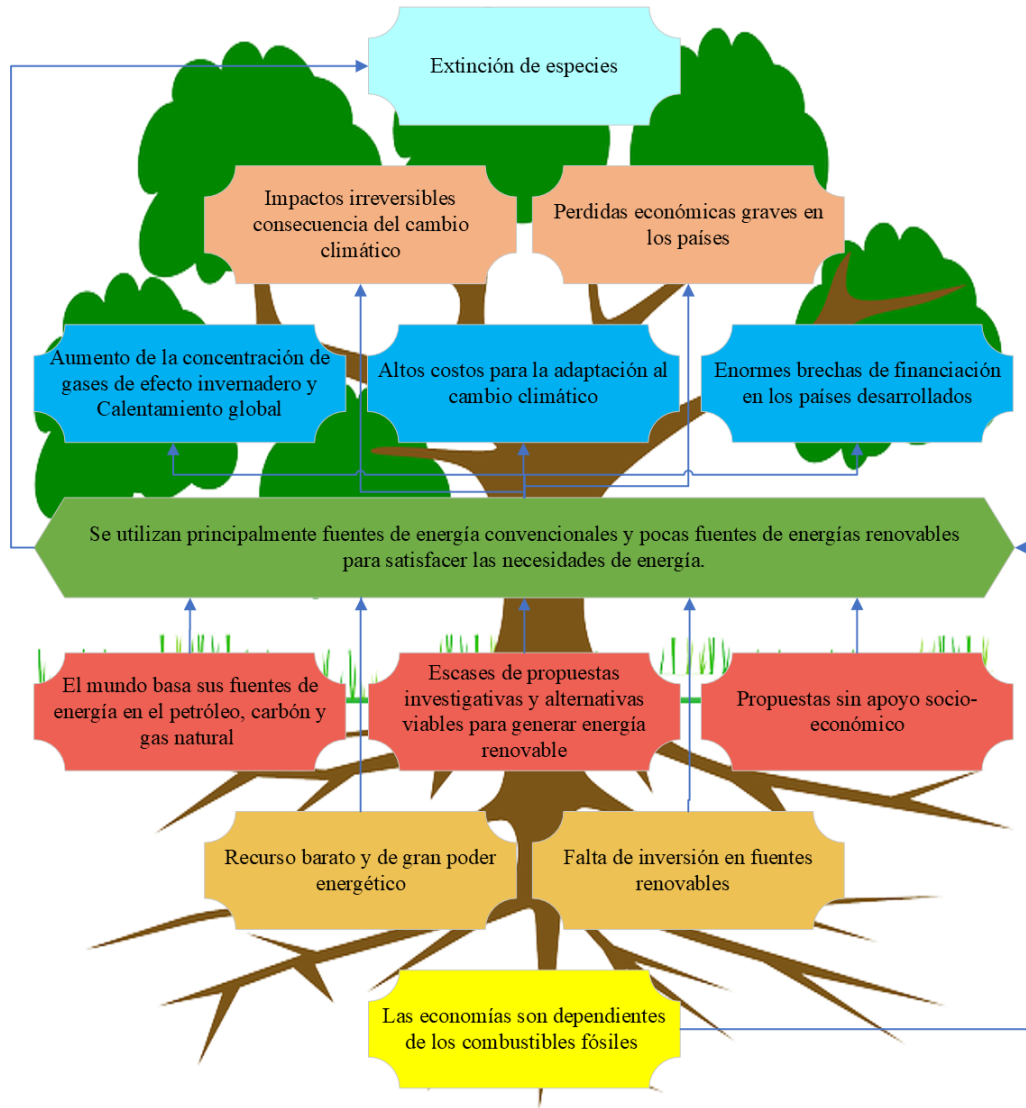
considerarse con pobreza energética. También señalaron que el 28 % de los hogares tenían al menos dos deficiencias, y dos o más de estas estuvieron presentes en el 81 % de los hogares con deficiencia energética (Hernández et al., 2018). El verdadero desafío en términos de crecimiento económico radica en desarrollar un país verde a través del desarrollo y suministro de fuentes de energía renovables (Pereira-Blanco M. J. y Turizo-Pereira, 2020), por este motivo, se necesitan soluciones energéticas que garanticen un suministro energético seguro, justo y respetuoso con el medioambiente.

En Colombia, donde el 52 % de las comunidades del país están lejos de las principales capitales y son inaccesibles por el mal estado de las vías, no están conectados a la red nacional, dejando a cerca de 2 millones de personas en situación de riesgo y pobreza extrema. En 2014, 1448 comunidades se registraron fuera de la red en Colombia, distribuidos en 32 regiones o departamentos, que representan 52 % del territorio nacional. La mayoría de las comunidades (79,5 %) obtiene su energía de soluciones fuera de la red, pero solo el 31,3 % obtiene su energía las 24 horas del día, los 7 días de la semana. El 16,2 %, de 7 a 23 horas y 32 % en zonas donde solo se puede trabajar de 1 a 6 horas diarias. En 88 de todos los municipios los generadores diésel son la tecnología más utilizada (Viteri et al., 2019).

Todo lo expuesto se sintetiza en la Fig. 1, en donde se ve el problema principal con sus causas y efectos.

**Figura 1**

*Problemas, efectos, causas de las fuentes de energías convencionales.*



*Nota. Diagrama de los principales problemas, causas y efectos del uso combustibles fósiles para la generación de energías. Elaboración propia.*

Teniendo en cuenta la información planteada y la orientación de la metodología de la investigación (Sampieri, 2014) de modo que se apropia esta investigación, se construye la siguiente pregunta de investigación.

¿Qué tensión eléctrica, corriente eléctrica, potencia eléctrica, densidad de corriente, densidad de potencia, potencia volumétrica generan las celdas de combustible microbianas empleando bacterias y las plantas *Torenia Fournieri*, *Kalachoe blossfeldiana*, *Pentas anceolata*, *Nephrolepis exaltata*, *Begonia semperflorens*, *Asplenium nidus*?

### **Hipótesis**

La energía eléctrica generada por las CCMPs en simbiosis con las bacterias puede emplearse como fuente de energía limpia y sostenible.

Las CCMPs se derivan de las CCMs, que pueden proporcionar energía renovable para luces, LED, relojes, calculadoras, teléfonos celulares y otros productos electrónicos (Oro, 2021).

### **Objetivos**

#### ***Objetivo general***

Evaluar el potencial de generación eléctrica de las celdas de combustible microbianas usando las plantas *Torenia fournieri*, *Kalachoe blossfeldiana*, *Pentas lanceolata*, *Nephrolepis exaltata*, *Begonia semperflorens*, *Asplenium nidus* como fuente alternativa de energía renovable en el municipio San Jacinto, Bolívar, Colombia.

#### ***Objetivos específicos***

1. Identificar las bacterias con potencial para la generación de energía bioeléctrica en las celdas de combustible microbianas.
2. Analizar el potencial de implementación de la biogeneración de energía bioeléctrica

en las celdas de combustible microbianas.

3. Determinar el potencial de generación de bioelectricidad en las celdas de combustible microbianas con bacterias y las plantas *Torenia fournieri*, *Kalachoe blossfeldiana*, *Pentas lanceolata*, *Nephrolepis exaltata*, *Begonia semperflorens* y *Asplenium nidus*.

Al discutir este estudio, los resultados brindarán información importante sobre la cantidad de energía producida por las celdas de biocombustibles utilizadas en esta tesis. Cabe señalar que se ha creado un marco conceptual, el cual se divide en varios capítulos que abarcan: Capítulo I el marco teórico y el estado del arte de las celdas de combustibles microbianas que contienen la crisis de energía, las celdas de combustible microbianas, las celdas de combustible, los microorganismos, las microalgas, las plantas y los procesos de generación de energía donde se determinó la finalidad del estudio de esta investigación. En el Capítulo II se documenta el marco metodológico de la investigación, el tipo de investigación, las técnicas de investigación, los materiales y métodos empleados para efectuar la investigación, se presenta también la configuración de las celdas de combustible microbianas, el protocolo de análisis para identificar las bacterias aerobias y anaerobias y de igual manera el potencial de implementación de las celdas de combustible microbianas. Para el capítulo III se presentan los resultados de la investigación por cada objetivo específico presentado y el capítulo IV se muestran las discusiones de los resultados, y por último se indican la conclusión del trabajo de investigación y las recomendaciones para futuras investigaciones.

## Capítulo I. Marco teórico

### Crisis de energía

La humanidad se encuentra en una grave crisis relacionada principalmente con la escasez de energía. Corroborado por el cambio climático, la necesidad de energía se ha incrementado debido al crecimiento exponencial de la población y al avance tecnológico (Petrovič, 2015).

En este escenario de inseguridad energética y ambiental, es relevante desarrollar investigaciones científicas que busquen nuevas fuentes de energía, enfocadas en tecnologías que no contaminen el medioambiente, pues el uso de recursos naturales, así como de combustibles fósiles, se está volviendo insostenible, que afecta la vida en la tierra tanto para las generaciones actuales como para las futuras (Ghangrekar & Shinde, 2006; Raj et al., 2013; Borah & More, 2020).

Las energías renovables representan un área de gran interés y en este contexto, las celdas de combustible aparecen como una alternativa promisoras en este sector, siendo una de las opciones para la generación de energía limpia y sostenible. Una de las tecnologías de conversión de energía más antiguas, las celdas de combustible pueden hacer posible reducir la dependencia energética relacionada con los combustibles fósiles, evitar los problemas de contaminación ambiental y reduciendo las emisiones de dióxido de carbono (Ghangrekar & Shinde, 2006; Yang et al., 2011).

### Celdas de combustible

Las celdas de combustible son una opción atractiva en la búsqueda de fuentes de energía respetuosas con el medioambiente. La unión entre la idea de generación de energía y los procesos metabólicos apareció por primera vez en el siglo XVIII, cuando el médico, físico y

filósofo italiano Luigi Galvani (1737-1798) observó que las terminaciones nerviosas de las ancas de una rana podían conducir electricidad, favoreciendo vigorosas contracciones musculares, una teoría que él llamó "electricidad animal" (p. 26). Y fue solo en 1910 que el botánico inglés Michael Cressé Potter (1859-1948) demostró la producción de energía eléctrica a partir de cultivos de *Escherichia coli* y otros microorganismos. A continuación, se informó por primera vez de una celda de combustible microbiana (Potter, 1911; Ieropoulos et al., 2005).

Las celdas de combustible microbianas tienen características muy atractivas, tales como: buena eficiencia, alta densidad energética, baja emisión de contaminantes, químicos y ruido, operación fácil y segura, entre otros (Ghangrekar & Shinde, 2006; Merle et al., 2011; Vaghari et al., 2013).

### **Plantas**

“Las plantas pueden ser usadas para lograr generar electricidad a base de fotosíntesis que permite cargar un dispositivo móvil” (Goretti et al., 2017). “Se logró obtener un promedio de 6,76 voltios, colocando 8 células microbianas de cuatro especies diferentes de plantas (Geranio, Maíz, Fitonia y Corazón de Jesús), las cuales son muy comunes” (Rojas Flores et al., 2018).

La fórmula de la fotosíntesis es la transformación del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) en glucosa ( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ ) y oxígeno gaseoso ( $\text{O}_2$ ), por medio de los cloroplastos y la presencia de luz. Este proceso se puede resumir en  $6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} + \text{luz} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$ , y se divide en dos fases: claro y oscuro. Es un proceso en que su resultado puede considerarse lo contrario de la respiración (la conversión de materia orgánica muy reducida en materia inorgánica oxidada y la liberación de energía,  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ) (IES Río Caribe, 2016).

Varias actividades bioquímicas de las células, incluidas la fotosíntesis y la respiración, son reacciones redox. En estas reacciones, los electrones generalmente se transfieren hacia o

desde moléculas que actúan como aceptores de electrones (Peter et al.,1992).

Ante esta diferenciación entre microorganismos y capacidad de las plantas se utilizaron para la investigación las plantas *Torenia fournieri*, *Kalachoe blossfeldiana*, *Pentas lanceolata*, *Nephrolepis exaltata*, *Begonia semperflorens*, *Asplenium nidus*, como elementos generadores de energía en la celda de combustible microbiana.

### **Celdas de combustible microbianas**

Potter publicó la creación de la primera celda de combustible microbiana en 1911 (Potter, 1911; Santoro et al., 2017) y desde entonces ha evolucionado mucho. Sin embargo, el principio de funcionamiento sigue siendo básicamente el mismo. La celda de combustible microbiana es una especie de dispositivo electroquímico que permite la generación de energía y el tratamiento del agua mediante actividades catalíticas de microorganismos.

En este proceso se produce simultáneamente la conversión de energía química, que puede provenir, por ejemplo, de la oxidación de una fuente de carbono como los carbohidratos, dando como resultado energía eléctrica mediante el uso de procesos metabólicos bioquímicos intracelulares de bacterias o levaduras.

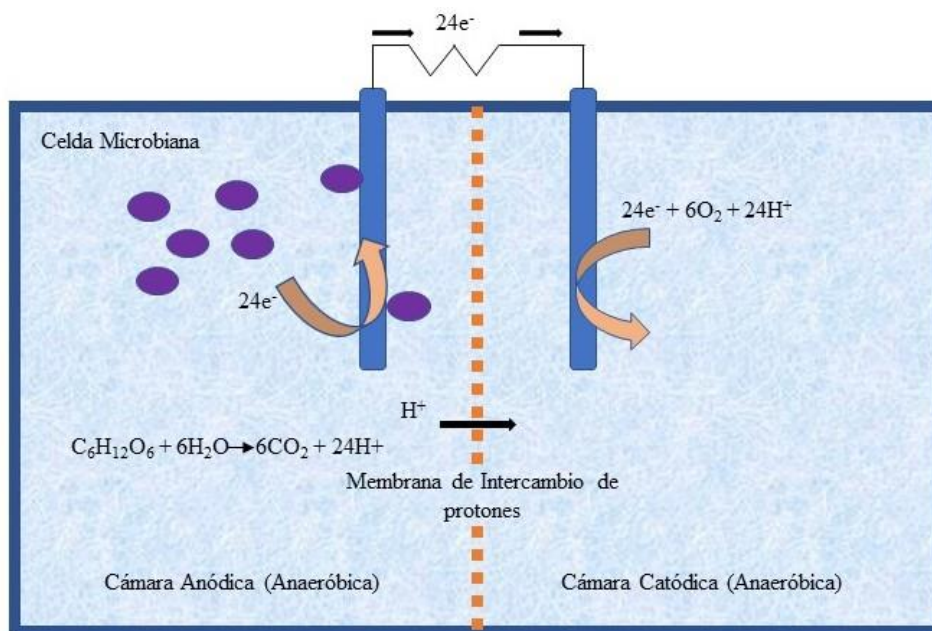
Generalmente, se utilizan en dispositivos de baja potencia (Gunawardena et al., 2008; Yang et al., 2011; Kalaichelvan, 2012; Rahimnejad et al., 2014; Hubenova & Mitov, 2015; Rudra et al., 2015). Las pilas de combustible suelen constar de dos cámaras: la cámara del ánodo (donde viven los microbios) y el medio y los electrodos incrustados en el medio como aceptores de electrones inmovilizados. Los electrones se transfieren del ánodo al cátodo en un circuito externo (Lovley, 2006; Ahn & Logan, 2010). Una membrana selectiva permite que los protones fluyan desde el compartimiento del ánodo al compartimiento del cátodo. Se coloca una



resistencia externa en la cámara para permitir que los electrones microconvertidos fluyan del ánodo al cátodo mientras la reacción de reducción de oxígeno continúa en la cámara del cátodo debido a los protones que fluyen a través de la membrana de intercambiadora de protones (Rabaey et al., 2003; Logan et al., 2005; Jiménez Escamilla et al., 2018) (Fig. 2).

**Figura 2**

**Esquema del modelo de cámaras separadas para una celda de combustible microbiana.**



Nota. Celda combustible microbiana con cátodo y ánodo. Elaboración propia.

En la celda, el ánodo recibe los electrones liberados a través del metabolismo de los microorganismos y los electrones viajan por el circuito externo en dirección al cátodo, donde se combinan con los protones del compartimiento del ánodo y con el oxígeno del aire, generando agua (Mardiana et al., 2016). Según Logan et al. (2006), el material más versátil para ser utilizado como electrodo es el carbono, como el grafito, compactado en forma de láminas o fibras, granos, etc (Logan et al., 2006).

Entre los dos compartimentos hay un electrolito que permite que los iones viajen por un camino, la membrana de separación permeable a los iones, que en el caso de las celdas de combustible microbiana son membranas de intercambio catiónico. En este proceso, la relevancia del uso de membranas de calidad en las CCMs se debe principalmente a que es necesario que el oxígeno no pase del compartimento del cátodo donde se encuentran las bacterias en el ánodo, ya que provocaría una disminución en la efectividad de la celda, una vez que perjudicaría el flujo de electrones en el sistema (Gunawardena et al., 2008). En reemplazo de la membrana, se puede utilizar un puente salino, pero como resultado, se genera menos energía, debido a la resistencia a la difusión de cargas a lo largo del material (Logan et al., 2006; Vaghari et al., 2013).

El compartimento del cátodo constituye el compartimento abiótico de la CCM, donde los electrones liberados por el ánodo pasan a través de un terminal aceptor y se liberan en este compartimento, siendo el oxígeno el aceptor de electrones final. En este proceso, los electrodos juegan un papel fundamental en la transferencia de electrones, permitiendo el aprovechamiento de la energía generada (Kalaichelvan, 2012).

Durante el proceso de generación de energía intervienen muchas variables, como la temperatura, el pH neutro (Mardiana et al., 2016), el tipo y concentración de microorganismos, la resistencia del electrolito, la composición del sustrato añadido en el compartimento del ánodo, la composición de la membrana que separa los dos compartimentos, la cinética en la que se transfieren los electrones del ánodo al cátodo, la composición de los electrodos del ánodo y cátodo, así como la dinámica de formación de la biopelícula en el ánodo según la morfología de su superficie. Estas variables generan algunas barreras tecnológicas para la comercialización de celdas de combustible, como la durabilidad, la vida útil de las celdas y los costes de los componentes (Logan et al., 2006; Vaghari et al., 2013; Chen et al., 2015). Las biopelículas son

comunidades biológicas con un alto grado de organización formadas por microorganismos, comunidades funcionales que garantizan una mayor concentración de nutrientes, protección frente a factores externos y reacciones simbióticas (Reddy et al., 2010).

Como una forma de superar estos desafíos, las CCMs han atraído mucha atención de la comunidad científica debido a su gran potencial para permitir la recuperación de energía de las aguas residuales domésticas o industriales o incluso de los excrementos humanos en naves espaciales. Presenta ventajas como la larga vida útil y el uso de sustancias simples como el azúcar (Vaghari et al., 2013; Chen et al., 2015). Sin embargo, uno de los mayores desafíos por superar sigue siendo permitir una generación de energía a gran escala por parte de las CCMs.

### **Microorganismos**

Los principales microorganismos utilizados en las CCMs son las bacterias y las levaduras. Las bacterias son seres vivos procariotas unicelulares, que no tienen una envoltura nuclear, solo tienen una pared celular. Mientras que las levaduras son seres eucariotas (es decir, tienen un núcleo verdadero) y regiones celulares bien definidas, pertenecientes al reino de los hongos. Hay registros de la existencia de seres procariotas hace unos 3.800 millones de años, mientras que los eucariotas se remontan a 2.700 millones de años (Jardine et al., 2002).

Muchas bacterias se emplean en celdas de combustible microbianas, como *Escherichia coli*, la primera en ser probada por Potter en 1911. A lo largo de muchas investigaciones ya realizadas, los mecanismos de transferencia de electrones extracelulares han sido bien establecidos para las bacterias del género *Geobacter metalireducens*, *Salmonella spp*, entre otros. Sus mecanismos se desarrollan en ausencia de oxígeno y de un entorno natural, como suelos y sedimentos acuáticos (Hubenova & Mitov, 2015).

Bacterias con probada actividad electrogénica son entre otros, *Shewanella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Rhodospirillum rubrum*, *Aeromonas hydrophila*, *Clostridium butyricum* y *Enterococcus gallinarum* (Esteve-Núñez, 2008).

### **Microalgas**

Las algas son organismos fotosintéticos que crecen en una variedad de hábitats, principalmente en ambientes acuáticos, y son capaces de convertir la energía de la luz y una fuente de carbono, el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), en un conjunto de materiales orgánicos o “biomasa”. Según su tamaño, se pueden clasificar principalmente en categorías: “macroalgas” o “microalgas”. Las macroalgas son algas multicelulares de aproximadamente un centímetro de tamaño que crecen con mayor frecuencia en cuencas naturales de agua dulce o salada. Las microalgas se encuentran en el rango micrométrico y se consideran algas unicelulares que crecen en principalmente en soluciones acuosas.

El estudio de las microalgas ha tenido relevancia debido a que pueden utilizarse con fines energéticos, principalmente para la producción de biodiesel, aunque también se pueden producir otros biocombustibles como bioetanol, biometano, biohidrógeno y calor y electricidad (Santos et al., 2014).

### **Proceso de generación de energía**

La generación de energía en celdas de combustible implica procesos electroquímicos, bioquímicos y microbiológicos donde algunos factores son fundamentales para su buen funcionamiento. Por ejemplo, el sustrato debe ser una buena fuente de carbohidratos como sacarosa, glucosa, fructosa, jugo de caña de azúcar, melaza, entre otros (Tyagi et al., 2012). La

elección de este combustible depende mucho de los procesos involucrados, así como del tipo de microorganismos. Según la investigación de Borah, et al. (2020), el rendimiento de la glucosa es superior al de otros sustratos (Tyagi et al., 2012; Borah & More, 2020). En este proceso, se utilizan microorganismos como catalizadores que logran convertir materiales orgánicos o inorgánicos en CO<sub>2</sub>, permitiendo generar energía (Kalaichelvan, 2012; Borah & More, 2020).

La oxidación de la glucosa en la célula puede obtenerse de tres vías principales: glucólisis, ciclo del ácido tricarboxílico mitocondrial (TCA) y transporte electrónico mitocondrial para la síntesis de ATP (Fernie et al., 2004).

La glucólisis es la oxidación de la glucosa a piruvato, seguida de la descarboxilación oxidativa del piruvato en acetil-coA, en la interfaz con las mitocondrias, que presenta una transición irreversible en la dirección del ciclo de TCA. Los reductores equivalentes que se generan por la actividad del ciclo del TCA son empleados por la cadena de transporte de electrones a través de las mitocondrias para permitir la síntesis de ATP (Fernie et al., 2004).

La acetil-coA se oxida a CO<sub>2</sub> y reduce el NAD a NADH. Este proceso influye en el mecanismo de transporte eléctrico mitocondrial, que se aplica en la fosforilación oxidativa para la síntesis de ATP. La transferencia exógena de electrones de las células introduce un papel clave en el proceso de generación de energía biológica.

Si consideramos el comportamiento de la transferencia de electrones de los biocatalizadores, se observan en ellos dos mecanismos diferentes: microorganismos que son capaces de posibilitar una transferencia extracelular directa de electrones como *Rhodospirillum rubrum*, *Geobacter sulfurreducens*, poseen enzimas redox en sus membranas logrando transferir electrones a material externo a ellos, como el electrodo CCM. Este tipo de proceso tiene una limitación relacionada con la necesidad de contacto físico entre el microorganismo y el

electrodo (Logan et al., 2006).

El segundo mecanismo de transporte de electrones requiere la acción de mediadores endógenos o exógenos. Los mediadores son tintes que penetran a través de la membrana de las bacterias o levaduras y alcanzan las especies reactivas dentro de ellas, y el potencial reductor del mediador debe coincidir con el potencial del metabolito (Tyagi et al., 2012). La capacidad colorante del mediador ayuda a que se adhiera a la membrana celular y permite la transferencia tanto de electrones como de protones, lo que mejora la eficiencia de la celda de combustible. Estos colorantes adquieren de forma reversible forma oxidada y reducida durante los procesos de transferencia de electrones, constituyendo un ciclo redox tanto en el compartimiento del ánodo como del cátodo, lo que hace que el proceso sea más estable, y estos procesos son más eficientes en un ambiente libre de oxígeno (Logan et al., 2006; Gunawardena et al., 2008; Mardiana et al., 2016).

Los mediadores pueden ser endógenos o exógenos. Las endógenas son producidas por el propio microorganismo, como ejemplo de microorganismos capaces de producir mediadores endógenos tenemos las bacterias *Escherichia Coli* (*E. Coli*), *Shewanella putrefaciens* y *Pseudomonas* que en su metabolismo producen componentes que posibilitan la comunicación entre la cepa y el electrodo. Sin embargo, este proceso a menudo tiene limitaciones que no permiten una captura de electrones eficiente (Zhang et al., 2006). En el caso de *E. Coli*, según Zhang et al. (2006), el desempeño se puede mejorar con la aclimatación de las bacterias y con la producción de varias generaciones de la cepa sometida al mismo sustrato y con las mismas condiciones para, así, seleccionar las cepas que transfieren electrones de manera más eficiente. Esto hace que el proceso requiera mucho más tiempo y reduce la eficiencia total del proceso.

Según Lovley (2006), otros microorganismos, como *Saccharomyces cerevisiae*, pueden

ser utilizados de forma más sencilla y eficiente en la generación de energía mediante el uso de mediadores exógenos, que alcanzan la cadena de transferencia de electrones cambiando del estado oxidado al reducido y migrando (como un lanzador de electrones) de la mitocondria al ánodo después de que los mediadores exógenos se oxidan y regresan a las células (Lovley, 2006a). Como ejemplo de mediadores tenemos verde de bromocresol, rojo neutro, rojo de metilo, naranja de metilo, azul de metileno, caracterizado por un potencial reductor cercano al del biocatalizador (Rabaey & Verstraete, 2005; Mardiana et al., 2015).

Entre los aceptores de electrones del compartimento del cátodo, el oxígeno es uno de los más usados. Sin embargo, en un intento por incrementar la tensión en la celda, se considera que algunos aditivos de este compartimento sirven como aceptores de electrones, como: ferricianuros, permanganato dicromato y peróxido, debido a su alto potencial reductor (Logan et al., 2006; Yang et al., 2011).

Según Mardiana et al. (2016), la presencia de ferrocianuro en el compartimento del cátodo actúa como un aceptor de electrones más favorable que el oxígeno, debido a la posibilidad de que el oxígeno pase a través del electrolito y reaccione con el mediador presente en el compartimento del ánodo (Mardiana et al., 2016). Sin embargo, muchos estudios informan que las células a base de oxígeno con compartimentos catódicos permiten una mayor generación de energía, debido a su alto potencial de oxidación (Logan et al., 2006).

Cabe destacar también que el uso de mediadores representa un costo que se suma al valor final de la celda y también puede ser un elemento contaminante en el sistema, sin embargo, al analizar el costo-beneficio que involucra el proceso, se percibió la mejora en la potencia del dispositivo provocada por el uso de mediadores (Hubenova & Mitov, 2015; Sayed et al., 2015).

El mecanismo mencionado en este tema representa el principio de las CCMs (Potter,

1911a), caracterizado como un gran candidato para el tratamiento del agua, la biorremediación y la generación de energía (Yang et al., 2011; Jain et al., 2015; Babu Arulmani et al., 2016). Esta generación de energía se establece a partir de la transferencia de electrones de la bacteria o levadura al electrodo (ánodo), seguida de la migración del electrón al cátodo a través del circuito externo (Logan et al., 2006).

Así, se puede apreciar que a partir del empleo de este dispositivo es posible de una forma sencilla y económica utilizar material biológico para la generación de energía y así obtener una producción considerable. Es por ello por lo que esta forma de generación de energía se destaca por encima de las demás, representando un campo por explorar y presentando grandes posibilidades de ser uno de los dispositivos más empleados en el futuro como gran sustituto de los combustibles fósiles.



### Estado del Arte

Los investigadores Lu et al. (2020) desarrollaron un nuevo concepto de células de combustible microbianas y vegetales acoplados al tallo para la generación de energía, utilizaron cuatro árboles bien desarrollados (dos *P. macrocarpa* y dos *P. alba*) de 4 cm de diámetro y 20 cm de alto en los experimentos para la configuración de la CCMP. La nueva CCMP junto con los tallos de las plantas produjo una bioelectricidad más estable y continua sin comportamiento oscilatorio, así como un período de puesta en marcha mucho más corto, la densidad de potencia máxima de la CCMP acoplada con *P. macrocarpa* 1, *P. macrocarpa* 2, *P. alba* 1 y *P. alba* 2 alcanzó 3.60, 3.53, 7.61 y 5.64 mW m<sup>-2</sup> de superficie del ánodo, y sus resistencias internas fueron 7500, 5100, 2000 y 1000 Ω, respectivamente.

En relación con lo anteriormente mencionado Gulamhussein & Randall (2020) diseñaron y operaron una CCMP para comprender los aspectos del sistema de la CCMP y comparar las salidas de energía generadas a partir de dos especies de plantas autóctonas de Sudáfrica cultivadas en lodos municipales, Los experimentos se realizaron en envases de 5 L los cuales se llenaron con 2 cm de GAC, seguido de 16 cm de sustrato, que contenía la planta, y 3 cm de agua donde se colocó el cátodo. Al comparar las salidas de voltaje entre *W. thyrsiflora*, *C. papyrus* y el control, se notó que cuando se conectó a través de 100 Ω, *W. thyrsiflora* produjo el voltaje máximo de 240 mV seguido de *C. papyrus* con 175 mV y Control con 155 mV.

Tang et al. (2021), utilizaron una nueva mezcla definida de electrógenos para consolidar los efectos combinados de la producción de flavina, piocianina y biopelícula anódica en el consorcio para lograr una mayor electrogenicidad, Los electrógenos utilizados fueron las *Pseudomonas (aeruginosa* A4, sp. B1, B3 y 104), la *Enterobacter aerogenes* 102, el *Bacillus cereus* 101 y *Pichia kudriavzevii* 103, que se habían caracterizado anteriormente en función de

su funcionalidad electrogénica. Hubo un patrón en forma de cascada en el aumento del voltaje medido por tiempo para todas las condiciones de prueba de los aislados de *Pseudomonas*. Voltaje electrogénico máximo / mínimo, bajo sistemas de prueba mejorados e inhibidos con piocianina para *Pseudomonas aeruginosa* A4, B3, sp. B1 y 104 fueron de 880/342; 823/306; 798/352 y 790/ 351 mV, respectivamente, y todos variaron con los valores obtenidos para los sistemas normales. Por otra parte, Widharyanti et al. (2020), determinaron el efecto del material del ánodo y su distancia del electrodo del cátodo en electricidad producida por la CCMP. La distancia entre el ánodo y el cátodo varió entre 10 y 20 cm, lo que permitió estudiar el efecto del gradiente del electrodo sobre la energía recolectada, la incubación de la CCMP se realizó en circuito cerrado, con resistencia externa de 1000  $\Omega$ . Se investigaron las variaciones en el tipo de electrodos y el espaciado para determinar la configuración correcta de la CCMP. Además, el voltaje y la densidad de corriente más altos en condiciones estables se obtuvieron a 244,8 mV y 185,4 mA / m<sup>2</sup>, respectivamente, con el uso de zinc como ánodo con una distancia de 10 cm entre los electrodos. La potencia de salida máxima de la CCMP producida en este estudio fue de 100,2 mW / m<sup>2</sup>, con rendimientos más altos en comparación con aquellos que utilizan fieltro de hierro o carbono como material de ánodo. La pequeña distancia entre los electrodos afecta la movilidad de los protones desde el ánodo hasta el cátodo, así como el pH del medio.

López-Hincapié et al. (2020), diseñaron y mejoraron la configuración y arquitectura de una CCM de cámara única de cátodo de aire a pequeña escala para biosensar materia orgánica en muestras de aguas residuales. El dispositivo biosensor constaba de una CCM de cámara única de cátodo de aire, policarbonato acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) incorporado que emplea impresión 3D. El interior del CCM tenía un volumen total de 2 cm<sup>3</sup> como una cámara anódica y un área de superficie geométrica expuesta al electrodo de 4 cm<sup>2</sup>. Se utilizó tela de carbono como

ánodo y cátodo, y una membrana de intercambio de como separador en una disposición de conjunto (o como "modo intercalado"). El ánodo se pretrató mediante oxidación térmica antes de la inoculación. El procedimiento original se modificó bajando la temperatura a la mitad (318 °C). Se enhebraron alambres de níquel-titanio a lo largo de la tela de carbono para usarlos como colectores de corriente en ambos electrodos. Las curvas de polarización obtenidas para las CCMs de membrana y sin membrana muestran un valor de OCV más alto para la segunda configuración que para la primera configuración (322 mV y 396 mV), La densidad de corriente máxima fue casi 4 veces mayor para el CCM sin membrana que para la CCM con membrana, esta observación se vinculó con el valor de OCV comparativamente alto y la disminución de la resistencia interna.

Taşkan (2020) construyó una CCM novedosa para lograr una alta densidad de potencia utilizando una mezcla de desechos de alto contenido orgánico, el reactor CCM de tres cámaras se construyó con un volumen total de aproximadamente 1325 ml, y se utilizaron placas de Petri de plástico (dimensiones: diámetro, 150 mm; y altura, 25 mm) en cada cámara. Se unieron las tapas y bases de las placas de Petri, se abrió un orificio de 100 mm de diámetro en los lados del cátodo del ánodo y en ambos lados del cátodo. Las cámaras se separaron físicamente usando papeles de filtro con un diámetro de orificio de 0,45  $\mu\text{m}$ . Se obtuvieron los siguientes voltajes máximos promedio: 47,2 mV a 2  $\Psi$ , 104,9 mV a 4  $\Psi$ , 231,4 mV a 6  $\Psi$ , 301,7 mV a 8  $\Psi$  y 435,4 mV a 10  $\Psi$ . Estos resultados confirman que la presión del gas afecta principalmente al voltaje de la CCM. Las pruebas revelaron una correlación lineal entre la presión del gas y la salida de voltaje en el rango de 2 a 10  $\Psi$  ( $R^2 = 0,98$ ). Se encontró que los valores de densidad de potencia máxima de CCM a 2, 4, 6 y 8  $\Psi$  eran 1448, 3980, 12213 y 17939  $\text{mW m}^{-2}$ , respectivamente. La densidad de potencia máxima del CCM alcanzó 26680  $\text{mW m}^{-2}$  (10090  $\text{mW m}^{-3}$ ) cuando la presión de

oxígeno aumentó a  $10 \Psi$ . Este valor de densidad de potencia es mucho más alto que los obtenidos por estudios anteriores que utilizaron desechos similares como fuente de sustrato.

Yadav et al. (2020), aumentaron la concentración de oxígeno en el biocátodo desarrollando la multiplicación de microalgas y la actividad fotosintética para mejorar la producción de energía, una cepa de microalgas de agua dulce, *Chlorella vulgaris*, se utilizó como sustrato en la cámara anódica y como cultivo vivo en la cámara catódica de MFC. La salida de potencia más alta generada por CCM-1 y CCM-2 fue  $0,03509 \text{ Wm}^{-2}$  y  $0,05448 \text{ Wm}^{-2}$ , respectivamente con respecto al área de superficie del cátodo. El comportamiento electroquímico de las CCM-1 y CCM-2 en el modo por lotes fue razonablemente inquebrantable hasta la operación, con solo una pequeña variación durante la concentración inicial de la CCM.

Por otra parte, Nguyen & Min (2020), diseñaron una nueva CCMP de tipo tubular con múltiples electrodos en la cámara del cátodo para un funcionamiento en modo continuo, la CCMP estaba hecho de plexiglás. La cámara del ánodo interior tenía un diámetro de 40 mm y una longitud de 200 mm (150 mm de este estaba perforado con poros de 4 mm). El cátodo exterior tenía un diámetro de 90 mm y una longitud de 150 mm. Los volúmenes de trabajo de las cámaras de ánodo y cátodo fueron 280 mL y 620 mL, respectivamente. Estas cámaras fueron separadas por una membrana de intercambio de protones (CMI-7000, International Inc. USA). Un electrodo de cepillo de fibra de carbono ( $L \times D = 15 \times 4 \text{ cm}^2$ ) se insertó en el centro del sistema CCMP como un electrodo de ánodo, mientras que ocho cepillos de fibra de carbono ( $L \times D = 15 \times 2 \text{ cm}^2$ ) se usaron como electrodos de cátodo y se insertaron alrededor de la cámara del cátodo, se colocó una resistencia externa de  $100 \Omega$  la cual se conectó a un sistema de adquisición de datos. El funcionamiento de la CCMP con un HRT de 24 h en ambas cámaras dio como resultado una densidad de potencia máxima de  $1560 \text{ mW} / \text{m}^3$  y una densidad de corriente de

7,46 A / m<sup>3</sup> a una resistencia de 100 Ω. El voltaje de circuito abierto (OCV) del CCMP fue de 0,619 V con un potencial catódico de circuito abierto (PCCA) de 0,054 V y un potencial anódico de circuito abierto (PACA) de -0,565 V. La densidad de potencia en este caso fue mayor que las reportadas anteriormente para varias CCMPS. Sin embargo, Dong et al. (2015) utilizaron un concepto innovador propuesto en el lugar utilización de la electricidad generada para lograr un proceso de tratamiento de aguas residuales autosuficiente en energía manejando un sistema combinado de CCM y filtro biológico de aireación intermitente (FBAI). El sistema combinado CCM-FBAI constaba de un CCM y un FBAI conectados hidráulicamente (Fig. 5). La CCM contenía dos filas de ánodos de escobillas conectados entre sí externamente con alambre de cobre y dos piezas de cátodos rodantes. Los ánodos eran cepillos de fibra de carbono con un núcleo de alambre de titanio (4 cm de diámetro por 20 cm de longitud, área de superficie de 2,41 m<sup>2</sup>). Los cátodos (30 x 20 cm, área superficial del cátodo = 600 cm<sup>2</sup>) se fabricaron mediante el método de "prensa de laminación" empleando carbón activado y PTFE. Las densidades de potencia máxima de cada celda disminuyeron ligeramente a 412 mW m<sup>-2</sup> (CCM-1) y 407 mW m<sup>-2</sup> (CCM-2) después de 5 meses en comparación con los datos obtenidos después de 2 meses (430 mW m<sup>-2</sup>, CCM -1; 427 mW m<sup>-2</sup>, CCM-2).

Koffi & Okabe (2020) amplificaron el bajo voltaje de la CCM con un circuito multiplicador de voltaje de corriente alterna a corriente continua (CA / CC) de 20 etapas, se desarrolló un sistema MCAC para aumentar y multiplicar el bajo voltaje de un sola CCM de aire y cátodo. El MCAC está compuesto por un MCV 16 basado en transistor auto-oscilante, un circuito multiplicador de voltaje CA / CC de múltiples etapas y una unidad de almacenamiento. En este estudio el sistema MCAC puede funcionar incluso a baja corriente de entrada (aproximadamente 1 mA) y voltaje (aproximadamente 0,4 V) sin ninguna entrada de energía

externa. La conexión de un circuito multiplicador de voltaje CA / CC de 8 etapas aumentó aún más el voltaje a  $35 \pm 2$  V. Además, cuando el número de circuito multiplicador de voltaje CA / CC se incrementó a 20 etapas, el voltaje aumentado alcanzó  $99 \pm 2$  V (un máximo voltaje era 101,24 V) y se mantuvo de forma estable en este nivel durante 50 h, que correspondía a una ganancia de voltaje de CC a CC de aproximadamente 243 retenciones. El rendimiento del CCM aire-cátodo, como la corriente producida, el voltaje de Salida y los potenciales de los electrodos (vs. SHE) fue muy estable durante todo el período. Después de 85 h de funcionamiento, el MCAC se desconectó de la CCM, pero el voltaje de salida del MCAC se mantuvo estable a  $81 \pm 0,6$  V durante 40 h. Este resultado demostró que, dado que el sistema MCAC compone de un circuito de la unidad de almacenamiento y 10 condensadores polarizados en serie apilados ( $10$  V /  $4,700$  mF)), que podría ser utilizado para almacenar energía suficiente para alimentar los dispositivos electrónicos cuando la fuente de voltaje CCM no está disponible temporalmente o fluctúa ampliamente debido a la actividad microbiana inestable y las cargas orgánicas influyentes.

## Capítulo II. Materiales y métodos

Esta investigación se llevó a cabo utilizando un enfoque cuantitativo basado en Sampieri (2014), donde se definen perspectivas gnoseológicas y modélicas, asimismo se detallan los métodos de investigación, el enfoque y las técnicas de investigación científica utilizadas para recolectar los datos.

Según Sampieri (2014), un enfoque cuantitativo es secuencial y determinista, sistemático, compuesto por una serie de fases no despreciables, tiene una tendencia rigurosa, y una vez establecidos se derivan objetivos y preguntas de investigación, se consultan referencias y un marco teórico es creado. A partir de preguntas se forman hipótesis, se establecen variables, se realizan sus procedimientos de validación, se validan las variables, se examinan las mediciones resultantes mediante métodos estadísticos y se extraen conclusiones en relación con las hipótesis.

Este estudio se encamina en la medición de potenciales de CCMPs *Torenia fournieri*, *Kalachoe blossfeldiana*, *Pentas lanceolata*, *Nephrolepis exaltata*, *Begonia semperflorens*, *Asplenium nidus* en el municipio de San Jacinto, Bolívar, Colombia, lo cual conlleva a una investigación de tipo descriptivo, como Sampieri (2014), están destinados únicamente a medir o recopilar información de forma independiente o colectiva sobre conceptos o variables relacionados. Para esta investigación se utilizaron las variables la tensión eléctrica (V), la corriente eléctrica (A), Potencia eléctrica Watt, densidad de corriente ( $A/m^2$ ), densidad de potencia ( $W/m^2$ ), potencia volumétrica  $W/m^3$ .

Se estudió holísticamente cómo funciona las celdas de combustibles microbianas y plantas con la simbiosis de las bacterias en la parte del rizoma, se tomó la decisión para la investigación del diseño lógico o razonamiento deductivo debido a que un razonamiento lógico o deductivo, se comienza con la teoría, a partir del cual un investigador deriva y prueba una

fórmula lógica llamada "hipótesis". En el enfoque cuantitativo deductivo, las hipótesis se enfrentan a la realidad para aceptarlas o rechazarlas en un contexto determinado (Hernández, 2014.)

Debido a que este texto cuyo propósito es la valoración de la actividad de las celdas de combustible microbianas y es un asunto poco estudiado, sus resultados serán importantes para investigaciones posteriores en las que se pueda innovar en tecnologías limpias que aumenten su eficiencia energética.

Las técnicas de investigación utilizadas en el proyecto son las técnicas documentales para recopilación de información como investigaciones científicas, libros, tesis, revistas científicas, informes científicos, cuyos temas deben estar relacionados con celdas de combustible microbianas, la fotosíntesis, microorganismos electrogénicos, microalgas, energías renovables y tecnologías electroquímicas. Otra técnica utilizada fue la observación en campo la cual fue necesaria para la recopilación de datos *in situ* por medio de aparatos de precisión en las celdas de combustible microbianas que fueron el estudio de medición del potencial eléctrico generado durante el día y noche, otra técnica manejada fue la experimental para definir el diseño de las celdas microbianas controlando el tipo de electrodo, área del ánodo ( $\text{cm}^2$ ), área del cátodo ( $\text{cm}^2$ ) y volumen de la celda microbiana en el módulo biológico que permita llevar un control de la cantidad de energía eléctrica renovable producida por día.

### **Instrumentos de medición o recolección de datos cuantitativos.**

Los instrumentos de medición para el proyecto incluyeron un Arduino UNO R3 que consiste en una placa basada en el microcontrolador ATmega328P. Posee 14 pines de entrada/salida digital (6 de los cuales se pueden usar para PWM), 6 entradas analógicas, un



cristal de 16 MHz, un conector USB, un conector de alimentación, un pin de conector ICSP y un botón de reinicio (Arduino UNO | Arduino.Cl - 2022) (Benítez-Pina, 2022a, b). En este aparato de medición se conectaron seis sensores de voltaje FZ0430 que es un módulo muy simple que consiste en un divisor de voltaje compuesto por dos resistencias, 7.5 k $\Omega$  y 30 k $\Omega$ . Esto permite reducir la tensión medida en un factor de 0,2. Por tanto, la tensión máxima que se puede medir es de 25 V con un procesador de 5 V y de 16,5 V con un procesador de 3,3 V (Arca Electrónica, 2017), estos dispositivos electrónicos recolectan la información del voltaje de las CCMPs. Una computadora donde se registran los valores de las variables recolectados diariamente y una cámara o teléfono móvil los cuales se utilizarán para tomar evidencias del comportamiento de la celda microbiana por medio de videos y fotografías. Un multímetro ANENG-botón Digital Q1 True-RMS, 9999 recuentos con barra analógica, gráfico, amperímetro de voltaje de CA/CC, corriente Ohm automática/Manual. Es simplemente un medidor electrónico para hacer mediciones eléctricas con la función de medir el voltaje de las células microbianas, un calibrador con lectura digital.

### **Diseño metodológico**

Este trabajo constó de cuatro fases relacionadas con los objetivos específicos y el objetivo general propuestos en este trabajo. Cada fase está construida por etapas.

En la primera fase se armó una celda de combustible microbiana utilizando plantas las cuales se les realizó seguimiento al tipo de indicadores de medición de la tensión eléctrica (V), cálculo de la intensidad eléctrica (A), densidad de corriente (A/m<sup>2</sup>), densidad de potencia (W/m<sup>2</sup>), densidad volumétrica (W/m<sup>3</sup>) teniendo en cuenta el tipo de electrodo, área del ánodo (cm<sup>2</sup>), área del cátodo (cm<sup>2</sup>) y volumen de la celda microbiana en el módulo biológico para

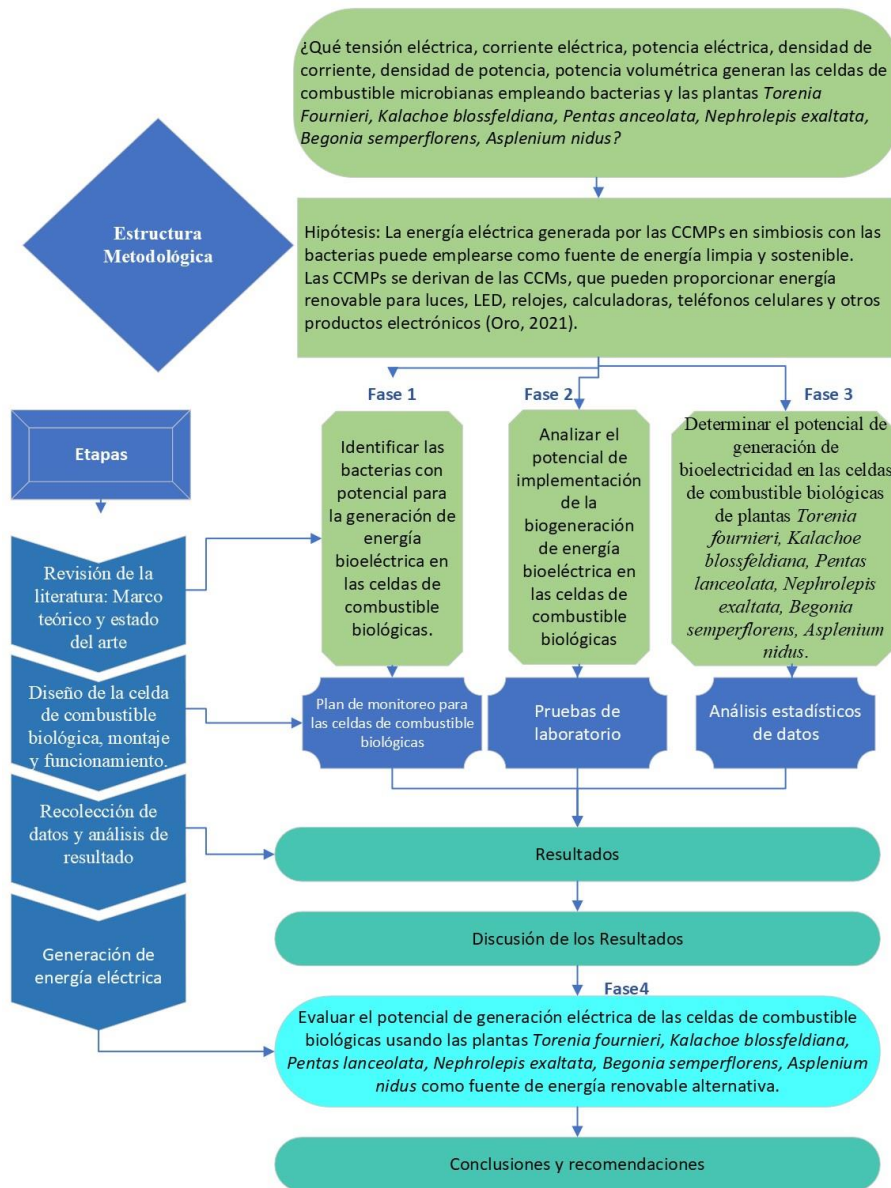
llevar un control de la cantidad de energía eléctrica producida por las plantas, como fuente de energía renovable por día. En la segunda fase, se identificaron las bacterias con potencial de generar energía eléctrica en las celdas de combustible microbianas que contenían plantas. En la fase tres se analizó el potencial de implementación de las celdas de combustible microbiana.

En la fase cuatro se valoraron todos los datos obtenidos en las celdas de combustible microbianas utilizando plantas y se evaluó el potencial de implementación en los posibles usos en los hogares. Finalmente, se obtuvieron las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación.

La Fig. 3 detalla la estructura metodológica llevada a cabo en el trabajo de investigación con sus respectivas fases y etapas.

Figura 3

Estructura metodológica de la investigación.



Nota. La Figura 3 presenta en detalle la metodología llevada a cabo en esta investigación.

Elaboración propia

A continuación, se detallan los pasos dados en cada etapa de este proceso.

### **Identificación y caracterización de las bacterias**

Para la identificación y caracterización de las bacterias con potencial para la generación de energía bioeléctrica se realizaron 3 análisis de suelos para la investigación, la primera muestra fue del suelo de la Finca la Campiña, localización los pirineos-San Jacinto, Bolívar, donde se recogió la muestra, la segunda fue para el sustrato de las plantas las cuales fue una preparación de 3 suelo, 2 de abono, 1 de arena, ½ de ceniza, la tercera fue después que se realizaron las mediciones y los cálculos de las celdas, para este análisis solo se utilizó la celda de combustible que contenía la planta No 2 el *Nephrolepis exaltata*, debido a que sobrevivió después de realizar las mediciones junto con la planta *Asplenium nidus*, 4 de las seis plantas *Begonia Semperflorens*, *Pentas Lanceolata*, *Kalanchoe Blossfeldiana*, *Torenia Fournieri* no sobrevivieron después de realizar la medición como puede verse en la Fig. 12, adicionalmente se realizaron análisis físico químico a las tres muestras suelo, mezcla y después de realizar las mediciones, para la toma de muestras se utilizó el instructivo toma de muestras para realizar análisis de suelos en laboratorio (Anexo 2).

**Figura 4**

**Sobrevivencia de plantas**



*Nota. Acervo personal del autor.*

En la Tabla 1 se muestran las bacterias que se caracterizaron en el suelo.

**Tabla 1**

**Bacterias analizadas**

<b>NOMBRE</b>	<b>MÉTODO ANALÍTICO</b>	
<b>CIENTÍFICO</b>		
<i>Escherichia coli.</i>	LBC 234	Número más probable (NMP) / Cuantificación por dilución seriada
<i>Pseudomonas sp.</i>	LBC 195	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada

NOMBRE	MÉTODO ANALÍTICO	
CIENTÍFICO		
<i>Erwinia sp</i>	LBC 232	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada
<i>Lactobacillus sp</i>	LBC 308	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada
<i>Enterococcus sp.</i>	LBC 395	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada
<i>Clostridium sp.</i>	LBC 276	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada

*Nota. Elaboración propia*

Para los análisis fisicoquímicos el laboratorio encargado fue Laboratorio Químico Ganacampo LTDA, donde se caracterizaron los parámetros presentados en la Tabla 2:

**Tabla 2**

**Parámetros analizados**

PARÁMETRO	METODOLOGÍA	NORMA ICONTEC
pH	pH-metro/Potenciométrico	NTC-5264

Materia orgánica	Walkey y Black-Colorimétrico	-
Fósforo Disponible	Bray II-Colorimétrico	NTC-5350
Bases intercambiables (calcio, magnesio, sodio y potasio)	Acetato de amonio 1N, Absorción Atómica	NTC-5349
Aluminio Intercambiable	KCl 1N-volumetrico	NTC-5263
Textura	Bouyoucos	-
Elementos Menores: Hierro, Manganeso, Cobre y Zinc	Extracción DTPA-Abs. Atómica	NTC-5526
Boro	Azometina H –Colorimétrico	NTC-5404
Azufre	Polivinilpirrolidona- Turbimétrico	NTC-5202
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de amonio 1N – Volumétrico	NTC-5268

*Fuente. Elaboración propia*

Se aplicó la prueba estadística coeficiente de correlación de Pearson para examinar la relación entre variables medidas, el signo indica la dirección de la relación (positiva o negativa), y el valor, la magnitud de la relación (Sampieri, 2014).

$r =$  (valor del coeficiente)

$s \text{ o } P =$  (significancia)

$N =$  (número de casos correlacionados)

El coeficiente  $r$  de Pearson oscila entre  $-1,00$  y  $1,00$ , donde:  $-1,00 =$  correlación negativa

perfecta. ("Cuanto mayor es X, menor es Y", proporcional. Lo que significa, cuando X aumenta en una unidad, Y siempre disminuye una cantidad constante.), lo cual se aplica también cuando "X más pequeño, Y más grande" (Sampieri, 2014.).

-0,90 = Correlación negativa muy fuerte.

-0,75 = Correlación negativa considerable.

-0,50 = Correlación negativa media.

-0,25 = Correlación negativa débil.

-0,10 = Correlación negativa muy débil.

0,00 = No existe correlación alguna entre las variables.

+0,10 = Correlación positiva muy débil.

+0,25 = Correlación positiva débil.

+0,50 = Correlación positiva media.

+0,75 = Correlación positiva considerable.

+0,90 = Correlación positiva muy fuerte.

+1,00 = Correlación positiva perfecta ("A mayor X, mayor Y" o "a menor X, menor Y", de manera proporcional. Cada vez que X aumenta, Y aumenta siempre una cantidad constante) (Sampieri, 2014).

### **Celda de combustible microbianas con plantas, montaje y funcionamiento**

Para la construcción de las CCMPs fueron seleccionadas macetas de barro porque son utilizadas como medio para el intercambio de protones y la fabricación de una cámara de ánodo (Behera et al., 2010), la maceta de plástico se utilizó por ser una de las comerciales, 6 plantas (*Torenia fournieri*, *Kalachoe blossfeldiana*, *Pentas lanceolata*, *Nephrolepis exaltata*, *Begonia*

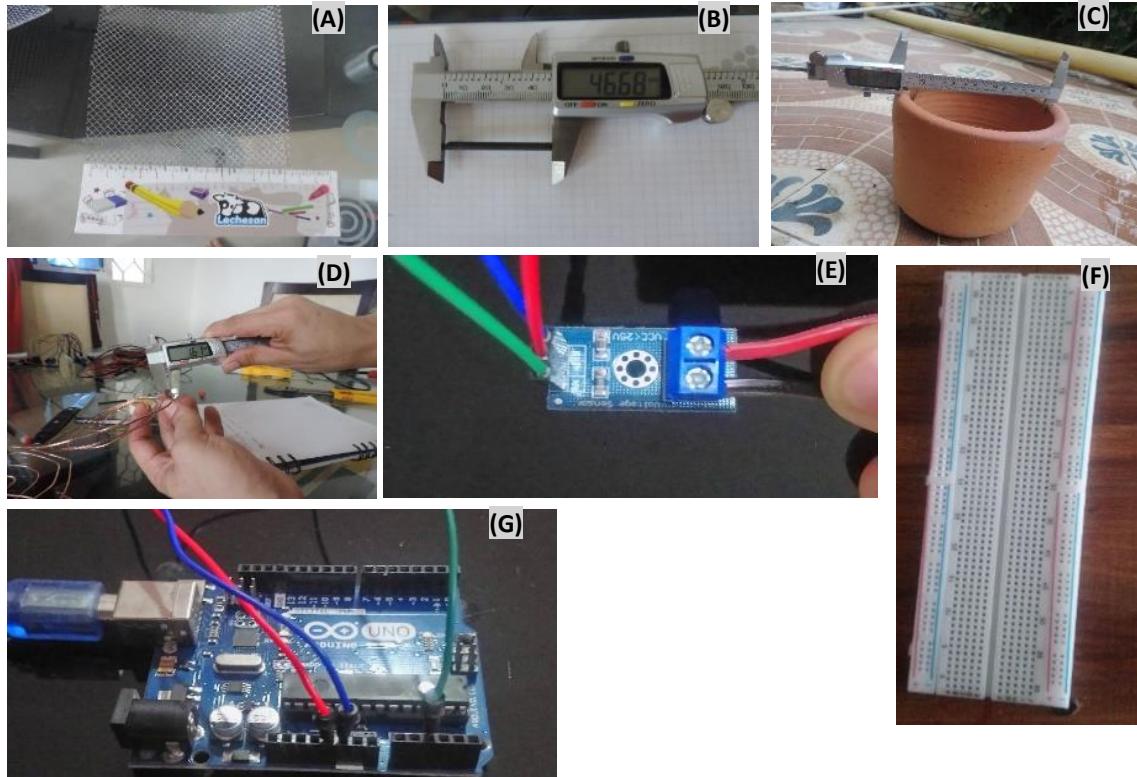


*semperflorens*, *Asplenium nidus*), estas plantas se escogieron por adquirirse fácilmente en la Región Caribe. El sustrato para las plantas compuestos por tierra, arena, abono orgánico y ceniza en una proporción de 3:2:1:1/2, materiales de los electrodos acero galvanizado, cobre, grafito, cables de conducción de los electrones, sistema de recolección de datos, indicadores de medición potenciales eléctrico, corriente, potencia eléctrica, densidad de corriente, densidad de potencia, potencia volumétrica para el estudio de las CCMPs.

Para el experimento se utilizaron 6 mallas zarandas cuadrada de 12 cm x 12 cm, área 0,0144 m<sup>2</sup> (estas mallas tienen espacios vacíos de 3 mm x 3 mm aproximadamente), 2 barras de grafito de aproximadamente 4 mm de diámetro y 46,68 mm de largo, 6 sensores de voltaje FZ0430, 6 m de alambre de cobre de diámetro 1,60 mm, un Arduino uno R3, una protoboard, un computador, un multímetro NENG Q1 9999 counts, un calibrador con lectura digital, una báscula, 2 cubas ver Fig 4.

**Figura 4**

**Materiales utilizados para el diseño y armado de las CCMPs.**



Nota. (A) malla 12cm x 12cm, (B) calibrador, barra de grafito, (C) maceta de barro, (D) alambre de cobre, (E) sensor de voltaje FZ0430, (F) protoboard, (G) Arduino UNO. Acervo personal del autor.

**Recolección de datos y análisis de resultados.**

En esta etapa se creó el código de lectura del Arduino UNO para que la información pudiese ser recopilada por medio de software Arduino y el sensor FZ0430, una vez recopilada los datos de tensión de las plantas se almacenan en el archivo PLX-DAQ-v2.11, posteriormente se estudian los resultados de las variables los cuales son analizados por el software estadístico

JASP.

### **Generación de energía**

En esta etapa se identifican los posibles usos de las CCMPs con los resultados y las nuevas tecnologías encontradas en la revisión sistemática.

El monitoreo se realizó por medio de los sensores FZ0430 que recopilaban los datos los transferían al Arduino UNO y este al computador donde se almacenaban.

### **Configuración de las celdas de combustible microbianas con plantas.**

El 25 de enero de 2021 se inició con una prueba con cinco CCMPs para conocer si las celdas generaban energía eléctrica, se preparó el sustrato y se seleccionaron cinco plantas entre las que se encontraban 3 plantas *Bougainvillea* conocida en la Región Caribe como trinitaria o veranera, 1 planta *Sansevieria trifasciata "Hahnii"* 1 planta *Carex morrowii.*, plantas comunes en los jardines de la Región Caribe de Colombia y se encuentran en viveros ver Fig. 5, después de realizar la prueba piloto con las 5 plantas se continuo realizando pruebas con diferentes plantas en las CCMPs hasta completar 17 CCMPs.

**Figura 5**

**Prueba piloto celdas de combustibles con plantas**



*Nota. Acervo personal del autor.*

Completado el armado de las CCMs se procedió a medir con un multímetro el voltaje de las celdas donde se evidenció la generación de energía eléctrica, posterior a la medición se realizó una conexión en serie de las CCMs donde se alcanzó un voltaje de 3,453 V ver Fig. 6.

**Figura 6**

**Prueba piloto celdas de combustible con plantas en serie.**



*Nota. Acervo personal del autor.*

Una vez obtenidos los resultados esperados en las pruebas con las CCMs se procedió a realizar las configuraciones de las nuevas celdas donde se prepararon 6 macetas para la realización del experimento con las plantas, 5 macetas de barro y una maceta de plástico.

Se inició con la preparación del sustrato de las plantas midiendo la proporción requerida 3 de suelo, 2 de abono, 1 arena, 1/2 de ceniza, medidas en una cuba de plástico de unos 8 litros de volumen por peso ver Fig. 7. Al añadir cenizas de la quema de madera al suelo, no solo contiene algunas sustancias alcalinas, sino que también contiene muchos nutrientes como potasio, calcio, magnesio, fósforo y oligoelementos lo que provoca una mayor producción (Shi et al., 2017).

### **Figura 7**

#### **Preparación del sustrato de las plantas**



*Nota. Acervo personal del autor.*

Se pesaron 3 cubas de suelo en un volumen de 8 litros y se dispusieron en el suelo para su preparación, después se pesaron 2 cubas de abono orgánico y se mezclaron para su uniformidad, a continuación, se adicionó una cuba de arena a la mezcla de suelo y se mezclan para su

homogeneidad, posteriormente se adiciona media cuba de ceniza a la mezcla de suelo, y se mezclan, todas las cubas se pesaron con los materiales para su mezcla ver Fig. 8.

### Figura 8

#### Mezcla de sustrato celdas de combustible microbiana



*Nota. Acervo personal del autor.*

Preparado el sustrato las macetas de barro y plástico se les agregó la primera capa de suelo de unos 3 cm de base para colocar el electrodo negativo compuesto por una malla de zinc de 12 cm x 12 cm con conectores para su medición, colocado el electrodo se le agregó otra capa de sustrato de 5 cm para colocar el electrodo positivo compuesto de un alambre de cobre enrollado en forma de espiral y con conectores para su medida, posterior se insertaron las planta en cada una de las macetas y se rellenaron los espacios vacíos con sustrato para cada maceta y se pesó cada una de plantas con el sistema montado ver Fig. 9. En cinco de las celdas de combustible microbianas se utilizaron electrodos de mallas de zaranda de acero galvanizado y cobre, en la celda de la planta *Asplenium nidus* se utilizaron electrodos de grafito. La interacción entre los microorganismos y la superficie del ánodo juega un papel importante en la captura de electrones para la respiración bacteriana en las pilas de combustible microbianas. El

comportamiento químico y electroquímico del material de carbono afecta el crecimiento de biopelículas y la transferencia directa de electrones a las CCMPs (Kim et al., 2023).

### Figura 9

#### Armado de celdas de combustible microbianas



*Nota. Acervo personal del autor.*

En una mesa se preparó un computador y un Arduino para las mediciones de las tensiones de las plantas, las cuales se conectan al Arduino por medio de un sensor FZ0430 y una protoboard al Arduino, del Arduino se conecta al computador por medio de cable USB ver Fig.

10.



**Figura 10****Conexión equipos de medición**

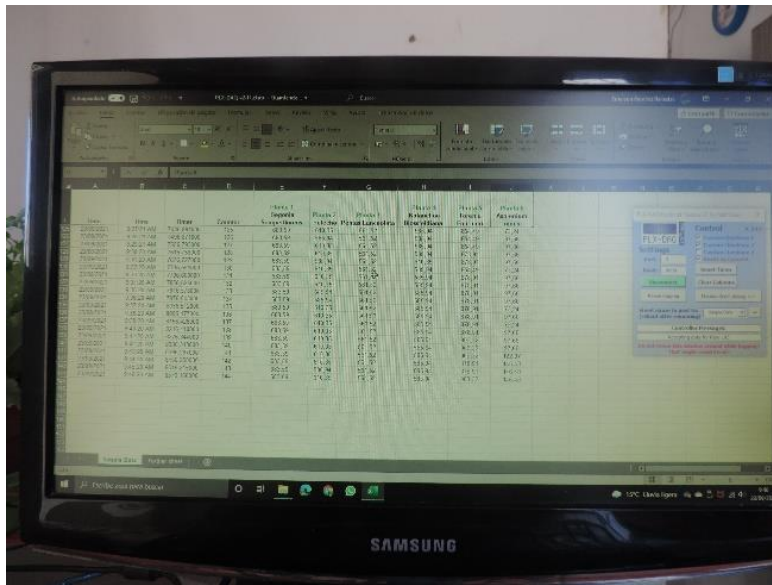
*Nota. Acervo personal del autor.*

En el computador se instaló el software Arduino para preparar el código que va a tomar las mediciones y recopilarlas en el computador por medio del archivo PLX-DAQ-v2.11.exe (Anexo 1), que es un método para enviar datos desde un Arduino o cualquier MCU relacionado con AVR a Excel ver Fig. 11. La recopilación de datos se llevó a cabo inicialmente cada 3 minutos, posterior de llevó cada minuto, la corriente se calculó por medio de la Ley de Ohm ya que los sensores poseen dos resistencias de  $30\text{ k}\Omega$  y  $7.5\text{ k}\Omega$  y despejando corriente de la fórmula se tiene ( $I=V/R$ ) y las variables potenciales eléctrico, densidad de corriente, densidad de potencia, potencia volumétrica.



**Figura 11**

**Recopilación de datos**



*Nota. Acervo personal del autor.*

Los montajes de las celdas de combustibles microbianas se realizaron a partir del día 15 de septiembre de 2021 donde se ensamblaron 6 CCMs con las plantas (*Begonia Semperflorens*, *Nephrolepis exaltata*, *Pentas Lanceolata*, *Kalanchoe Blossfeldiana*, *Torenia Fournieri*, *Asplenium nidus*), y funcionaron hasta el 19 de noviembre de 2021 durante esos días se almacenaron los resultados del potencial eléctrico en un computador, posterior a partir del 30 de noviembre se realizó la medición del potencial eléctrico con las plantas en serie hasta el 6 diciembre, las plantas fueron regadas con agua de lluvia almacenada durante la investigación.

Terminado la recopilación de datos individuales de cada celda se procedió a colocar las celdas en serie y hacer la recopilación de datos cada minuto por un periodo de 6 días para la medición de tensión, la corriente potencia eléctrica, densidad de corriente, densidad de potencia, potencia volumétrica.

Formulas utilizadas en la investigación

Intensidad (A):  $I = \frac{v}{R}$  Ecuación (1)

Potencia Eléctrica (Watt):  $P = v * I$  Ecuación (2)

Densidad de corriente (A/m<sup>2</sup>):  $J = \frac{I}{a}$  Ecuación (3)

Densidad de Potencia (W/m<sup>2</sup>):  $\phi = \frac{P}{a}$  Ecuación (4)

Potencia Volumétrica (W/m<sup>3</sup>):  $Pv = \frac{P}{v}$  Ecuación (5)

**Capítulo III. Resultados**

**Informe Analítico de Suelo Agrícola**

Los análisis arrojaron los siguientes datos, ver Tabla 9 (Anexo 3).

**Tabla 3**

*Resultados de los análisis Fisicoquímico de Suelos*

Propiedades Físicas	Suelo		Sustrato	Sustrato
	Experimental		antes del experimento	después del experimento
Arena (%)	32		80	56
Limo (%)	32		12	28
Arcilla (%)	36		8	16
Textura del suelo:	Franco		Franco	Franco
	Arcilloso		Arenoso	Arenoso
Propiedades Químicas				
Parámetro	Unidad			
pH	pH	6,89	8,62	7,71
Volumétrica:				
Materia Orgánica	%	7,88	3,13	7,3

<b>Propiedades Físicas</b>		<b>Suelo</b>	<b>Sustrato</b>	<b>Sustrato</b>
		<b>Experimental</b>	<b>antes del experimento</b>	<b>después del experimento</b>
Carbono	%	4,57	1,82	4,23
Nitrógeno	%	0,39	0,16	0,37
Aluminio (KCl 1N)	meq/100 g	0	0	0
Espectrofotometría				
Fósforo (Bray II)	ppm	14,7	356	184
Espectrofotometría A/E				
Atómica				
Extracción NH <sub>4</sub> OAc 1N				
Potasio	meq/100 g	1,65	4,71	2,99
Calcio	meq/100 g	27,3	22,9	36,4
Magnesio	meq/100 g	5,9	5,96	0,64
Sodio	meq/100 g	0,18	0,33	0,39
Extracción DTPA (Linsay)				

<b>Propiedades Físicas</b>		<b>Suelo</b>		
		<b>Experimental</b>	<b>Sustrato antes del experimento</b>	<b>Sustrato después del experimento</b>
Hierro ppm	ppm	283	86,4	29
Manganeso	ppm	1,63	1,62	2,69
Cobre	ppm	1,24	1,12	1,91
Zinc	ppm	1,61	5,37	9,25
Extracción Fosfato				
Monocalcico				
Espectrofometría				
Azufre (PVP)	ppm	6,65	51,8	17
Boro (Azometina-H)	ppm	0,38	1,04	0,36
Complejo De Cambio				
Extracción NH <sub>4</sub> OAc 1N				
Capacidad Efectiva	meq/100 g	29,5	12,8	18,5
Capacidad Calculada	meq/100 g	35	33,9	40,4
Relaciones Catiónicas				
Ca/Mg		4,63	3,84	56,9

<b>Propiedades Físicas</b>	<b>Suelo</b>	<b>Sustrato</b>	<b>Sustrato</b>
	<b>Experimental</b>	<b>antes del experimento</b>	<b>después del experimento</b>
Ca/K	16,5	4,86	12,2
Mg/K	3,58	1,27	0,21
Ca+Mg/K	20,1	6,13	12,4
Saturación de Bases	119	265	218
Saturación de Aluminio	0	0	0

*Nota. Elaboración propia*

Para los análisis microbiológicos se procedió a realizar de la misma manera que los análisis fisicoquímicos, el primer análisis del suelo de la Finca la Campiña, Localización los pirineos-San Jacinto Bolívar Número Registro: 7823-1, fecha: 18/08/2022, el segundo análisis fue para el sustrato de las plantas las cuales fue una preparación de 3 suelo, 2 de abono, 1 de arena, ½ de ceniza y el tercer análisis fue después que se realizaron las mediciones y los cálculos de las celdas, los cuales arrojaron los siguientes datos, ver Tabla 10, (Anexo 3).

**Tabla 4**

*Análisis microbiológico de suelos*

<b>Ent. No.</b>	<b>Nombre Científico</b>	<b>Suelo experimental</b>	<b>Sustrato antes del experimento</b>	<b>Sustrato después del experimento</b>	<b>Método Analítico</b>
1	<i>Escherichia coli.</i>	20 x 10 <sup>2</sup> UFC/g	77 x 10 <sup>3</sup> UFC/ g	< 10 UFC/g	LBC 234
2	<i>Pseudomonas sp.</i>	12 x 10 <sup>4</sup> UFC/g	20 x 10 <sup>4</sup> UFC/g	37 x 10 <sup>4</sup> UFC/g	LBC 195
3	<i>Erwinia sp</i>	61 x 10 <sup>3</sup> UFC/g	18 x 10 <sup>3</sup> UFC/g	53 x 10 <sup>3</sup> UFC/g	LBC 232
4	<i>Lactobacillus sp</i>	36 x 10 <sup>3</sup> UFC/g	11 x 10 <sup>4</sup> UFC/g	62 x 10 <sup>2</sup> UFC/g	LBC 308
5	<i>Enterococcus sp.</i>	< 10 UFC/g	10 x 10 <sup>1</sup> UFC/g	< 10 UFC/g	LBC 395
6	<i>Clostridium sp.</i>	11 x 10 <sup>2</sup> UFC/g	< 10 UFC/g	10 x 10 <sup>2</sup> UFC/g	LBC 276

*Nota. Elaboración propia.*

Se evidenció crecimiento de *Escherichia coli* en suelo experimental y sustrato antes del experimento.

Una vez realizado los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras de suelos se realizó una prueba de correlación de Pearson la cual arrojó como resultado una relación entre las bacterias electrogénicas y ciertos parámetros fisicoquímicos del suelo (Tabla 11).

**Tabla 53**

*Correlaciones de Pearson*

Microorganismo			R de Pearson	p
<i>Escherichia coli.</i>	-	<i>Erwinia sp</i>	-0,980	0,126
<i>Escherichia coli.</i>	-	<i>Lactobacillus sp</i>	0,966	0,165
<i>Escherichia coli.</i>	-	<i>Enterococcus sp.</i>	1,000 *	0,014
<i>Escherichia coli.</i>	-	<i>Clostridium sp.</i>	-0,994	0,067
<i>Escherichia coli.</i>	-	pH	0,870	0,329
<i>Escherichia coli.</i>	-	Materia Orgánica	-0,991	0,086
<i>Escherichia coli.</i>	-	Carbono	-0,991	0,087
<i>Escherichia coli.</i>	-	Nitrógeno	-0,995	0,064
<i>Escherichia coli.</i>	-	Fósforo (Bray II)	0,857	0,345
<i>Escherichia coli.</i>	-	Potasio	0,889	0,302
<i>Escherichia coli.</i>	-	Calcio	-0,765	0,445
<i>Escherichia coli.</i>	-	Azufre (PVP)	0,971	0,155
<i>Escherichia coli.</i>	-	Boro (Azometina-H)	1,000 **	0,002
<i>Escherichia coli.</i>	-	Capacidad Efectiva	-0,747	0,463
<i>Escherichia coli.</i>	-	Ca/K	-0,922	0,252
<i>Escherichia coli.</i>	-	Ca+Mg/K	-0,822	0,385
<i>Pseudomonas sp.</i>	-	Calcio	0,800	0,410
<i>Pseudomonas sp.</i>	-	Magnesio	-0,947	0,209
<i>Pseudomonas sp.</i>	-	Sodio	0,902	0,285



Microorganismo			R de Pearson	p
<i>Pseudomonas sp.</i>	-	Hierro ppm	-0,872	0,326
<i>Pseudomonas sp.</i>	-	Manganeso	0,947	0,208
<i>Pseudomonas sp.</i>	-	Cobre	0,896	0,293
<i>Pseudomonas sp.</i>	-	Zinc	0,981	0,125
<i>Pseudomonas sp.</i>	-	Capacidad Calculada	0,888	0,304
<i>Pseudomonas sp.</i>	-	Ca/Mg	0,946	0,211
<i>Pseudomonas sp.</i>	-	Mg/K	-0,915	0,265
<i>Erwinia sp</i>	-	<i>Lactobacillus sp</i>	-0,897	0,292
<i>Erwinia sp</i>	-	<i>Enterococcus sp.</i>	-0,985	0,112
<i>Erwinia sp</i>	-	<i>Clostridium sp.</i>	0,996	0,059
<i>Erwinia sp</i>	-	pH	-0,950	0,202
<i>Erwinia sp</i>	-	Materia Orgánica	0,998 *	0,041
<i>Erwinia sp</i>	-	Carbono	0,998 *	0,040
<i>Erwinia sp</i>	-	Nitrógeno	0,995	0,062
<i>Erwinia sp</i>	-	Fósforo (Bray II)	-0,942	0,219
<i>Erwinia sp</i>	-	Potasio	-0,962	0,176
<i>Erwinia sp</i>	-	Azufre (PVP)	-0,999 *	0,028
<i>Erwinia sp</i>	-	Boro (Azometina-H)	-0,980	0,128
<i>Erwinia sp</i>	-	Capacidad Efectiva	0,863	0,337
<i>Erwinia sp</i>	-	Ca/K	0,980	0,126
<i>Erwinia sp</i>	-	Ca+Mg/K	0,918	0,259
<i>Lactobacillus sp</i>	-	<i>Enterococcus sp.</i>	0,960	0,180

Microorganismo			R de Pearson	p
<i>Lactobacillus sp</i>	-	<i>Clostridium sp,</i>	-0,934	0,233
<i>Lactobacillus sp</i>	-	Materia Orgánica	-0,923	0,251
<i>Lactobacillus sp</i>	-	Carbono	-0,923	0,252
<i>Lactobacillus sp</i>	-	Nitrógeno	-0,936	0,230
<i>Lactobacillus sp</i>	-	Calcio	-0,905	0,280
<i>Lactobacillus sp</i>	-	Cobre	-0,812	0,397
<i>Lactobacillus sp</i>	-	Azufre (PVP)	0,876	0,320
<i>Lactobacillus sp</i>	-	Boro (Azometina-H)	0,967	0,163
<i>Lactobacillus sp</i>	-	Capacidad Calculada	-0,822	0,386
<i>Lactobacillus sp</i>	-	Ca/K	-0,792	0,418
<i>Enterococcus sp,</i>	-	<i>Clostridium sp,</i>	-0,997	0,053
<i>Enterococcus sp,</i>	-	pH	0,881	0,314
<i>Enterococcus sp,</i>	-	Materia Orgánica	-0,994	0,071
<i>Enterococcus sp,</i>	-	Carbono	-0,994	0,072
<i>Enterococcus sp,</i>	-	Nitrógeno	-0,997	0,050
<i>Enterococcus sp,</i>	-	Fósforo (Bray II)	0,868	0,330
<i>Enterococcus sp,</i>	-	Potasio	0,900	0,288
<i>Enterococcus sp,</i>	-	Calcio	-0,751	0,460
<i>Enterococcus sp,</i>	-	Azufre (PVP)	0,976	0,140
<i>Enterococcus sp,</i>	-	Boro (Azometina-H)	1,000 *	0,016
<i>Enterococcus sp,</i>	-	Capacidad Efectiva	-0,762	0,449
<i>Enterococcus sp,</i>	-	Ca/K	-0,931	0,238

Microorganismo			R de Pearson	p
<i>Enterococcus sp,</i>	-	Ca+Mg/K	-0,835	0,371
<i>Clostridium sp,</i>	-	pH	-0,917	0,261
<i>Clostridium sp,</i>	-	Materia Orgánica	1,000 *	0,019
<i>Clostridium sp,</i>	-	Carbono	1,000 *	0,019
<i>Clostridium sp,</i>	-	Nitrógeno	1,000 **	0,003
<i>Clostridium sp,</i>	-	Fósforo (Bray II)	-0,906	0,278
<i>Clostridium sp,</i>	-	Potasio	-0,933	0,235
<i>Clostridium sp,</i>	-	Azufre (PVP)	-0,991	0,088
<i>Clostridium sp,</i>	-	Boro (Azometina-H)	-0,994	0,069
<i>Clostridium sp,</i>	-	Capacidad Efectiva	0,813	0,396
<i>Clostridium sp,</i>	-	Ca/K	0,958	0,185
<i>Clostridium sp,</i>	-	Ca+Mg/K	0,878	0,318

\* p < ,05, \*\* p < ,01, \*\*\* p < ,001

Nota. Elaboración propia.

En el mapa de calor de las correlaciones de Pearson, las correlaciones positivas están indicadas por el color azul, mientras que las correlaciones negativas están indicadas por el color rojo, la saturación de colores refleja el valor absoluto del coeficiente de correlación (Fig, 19).



**Datos CCMP**

Una vez definido el diseño, armado y puesta en marcha de las CCMPs se recopilieron 43802 mediciones para cada una de las plantas *Torenia fournieri*, *Kalachoe blossfeldiana*, *Pentas lanceolata*, *Nephrolepis exaltata*, *Begonia semperflorens*, *Asplenium nidus*.

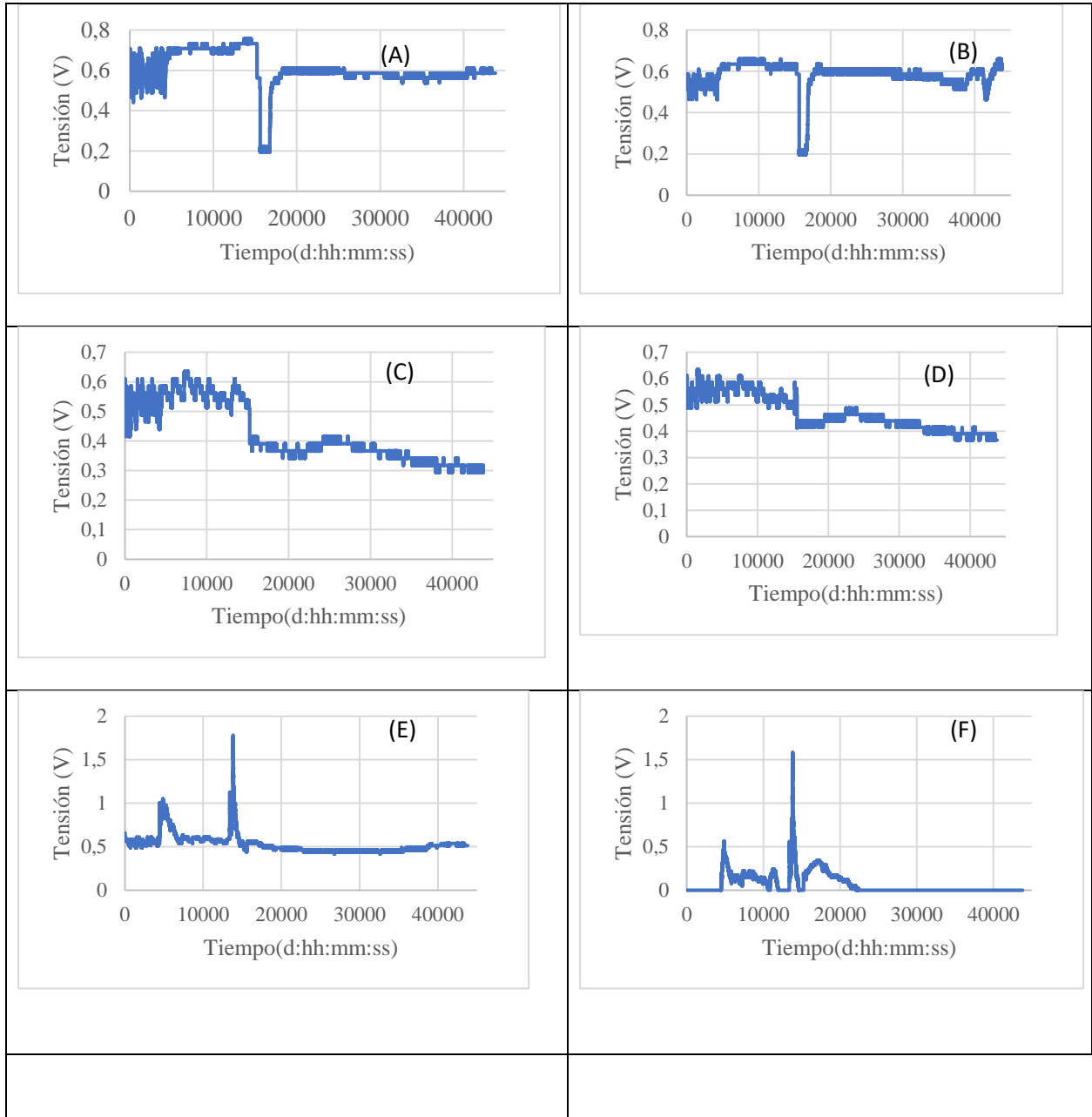
En las gráficas se evidencian las mediciones de cada celda para las variables, tensión, intensidad, potencial eléctrico, densidad de corriente eléctrica, densidad de potencial eléctrico, potencia volumétrica.

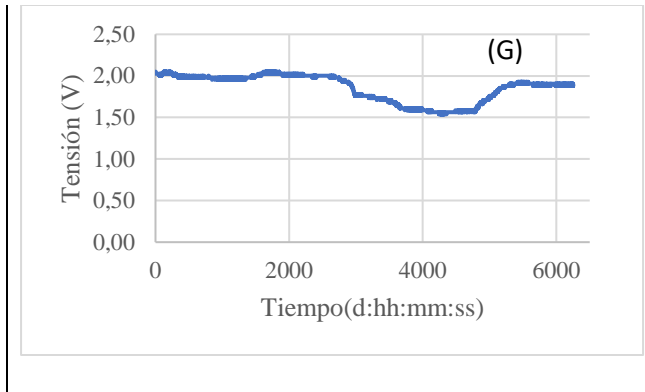
La variable de tensión se tomó la medición por medio del instrumento electrónico fz0430 conectado al Arduino y a un computador para el almacenamiento de los datos, para la variable intensidad se utilizó la fórmula de la ley de Ohm para calcularla, la potencia eléctrica se calcula multiplicando la tensión por la intensidad, la densidad de corriente se divide la intensidad entre el área del electrodo de ánodo, la densidad de potencia se calcula dividiendo el potencial eléctrico entre área del electrodo y la potencia volumétrica se divide la potencia entre el volumen de la celda de combustible microbiana.

Para las CCMPs se obtuvieron los datos presentados en las Figs. 13 a 18 y en la Tablas 3 a 7 los resultados del análisis estadístico.

**Figura 13**

**Resultados de Medidas de Tensión (V).**





Nota. (A) Planta 1 *Begonia semperflorens*; (B) Planta 2 *Nephrolepis exaltata*; (C) Planta 3 *Pentas lanceolata*; (D) Planta 4 *Kalanchoe blossfeldiana*; (E) Planta 5 *Torenia fournieri*; (F) Planta 6 *Asplenium nidus*; (G) Plantas en serie.

**Tabla 6**

*Estadísticos Descriptivos Medidas de Tensión (V).*

	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Plantas en Serie
Válido	43802	43802	43802	43802	43802	43802	6253
Ausente	0	0	0	0	0	0	0
Moda	0,586	0,586	0,366	0,439	0,439	0,000	1,980
Mediana	0,586	0,586	0,391	0,439	0,513	0,000	1,900
Media	0,609	0,579	0,422	0,467	0,528	0,069	1,856

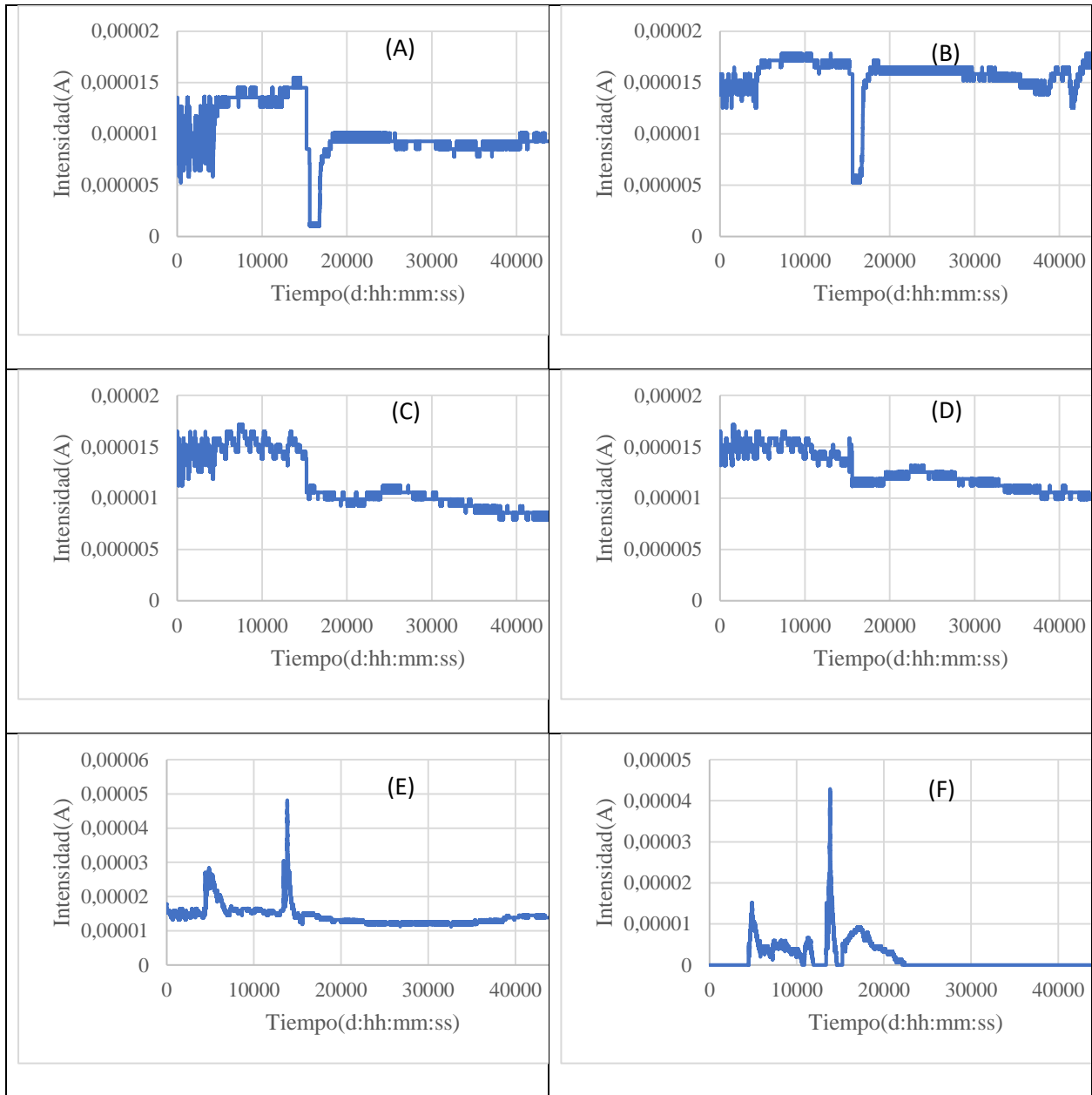
Error							
Típico	4,301×	3,411×	4,601×	3,124×	5,258×	6,065×	0,00
de la	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-4</sup>	2
Media							
Desviaci							
ón	0,090	0,071	0,096	0,065	0,110	0,127	0,16
Típica							5
Coeficie							
nte de							0,08
variación	0,148	0,123	0,228	0,140	0,209	1,839	9
n							
Varianza	0,008	0,005	0,009	0,004	0,012	0,016	0,02
							7
Mínimo	0,195	0,195	0,293	0,366	0,415	0,000	1,54
							0
Máximo	0,757	0,659	0,635	0,635	1,782	1,587	2,05
							0

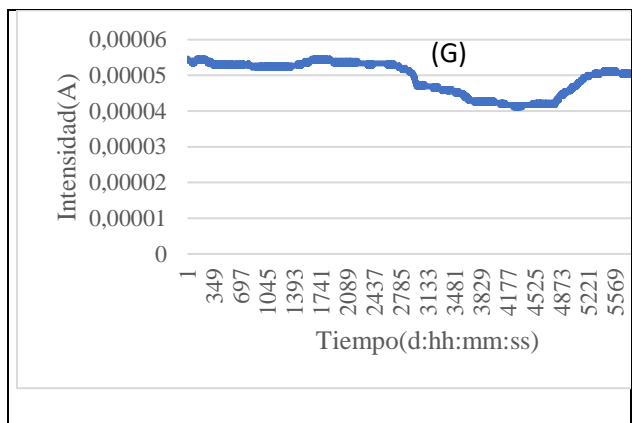
Nota. (A) Planta 1 *Begonia semperflorens*; (B) Planta 2 *Nephrolepis exaltata*; (C) Planta 3 *Pentas lanceolata*; (D) Planta 4 *Kalanchoe blossfeldiana*; (E) Planta 5 *Torenia fournieri*; (F) Planta 6 *Asplenium nidus*; (G) Plantas en serie.



**Figura 14**

**Resultados de Medidas de Intensidad (A).**





Nota. (A) Planta 1 *Begonia semperflorens*; (B) Planta 2 *Nephrolepis exaltata*; (C) Planta 3 *Pentas lanceolata*; (D) Planta 4 *Kalanchoe blossfeldiana*; (E) Planta 5 *Torenia fournieri*; (F) Planta 6 *Asplenium nidus*; (G) Plantas en serie.

**Tabla 7**

*Estadísticos Descriptivos Medidas de Intensidad (A).*

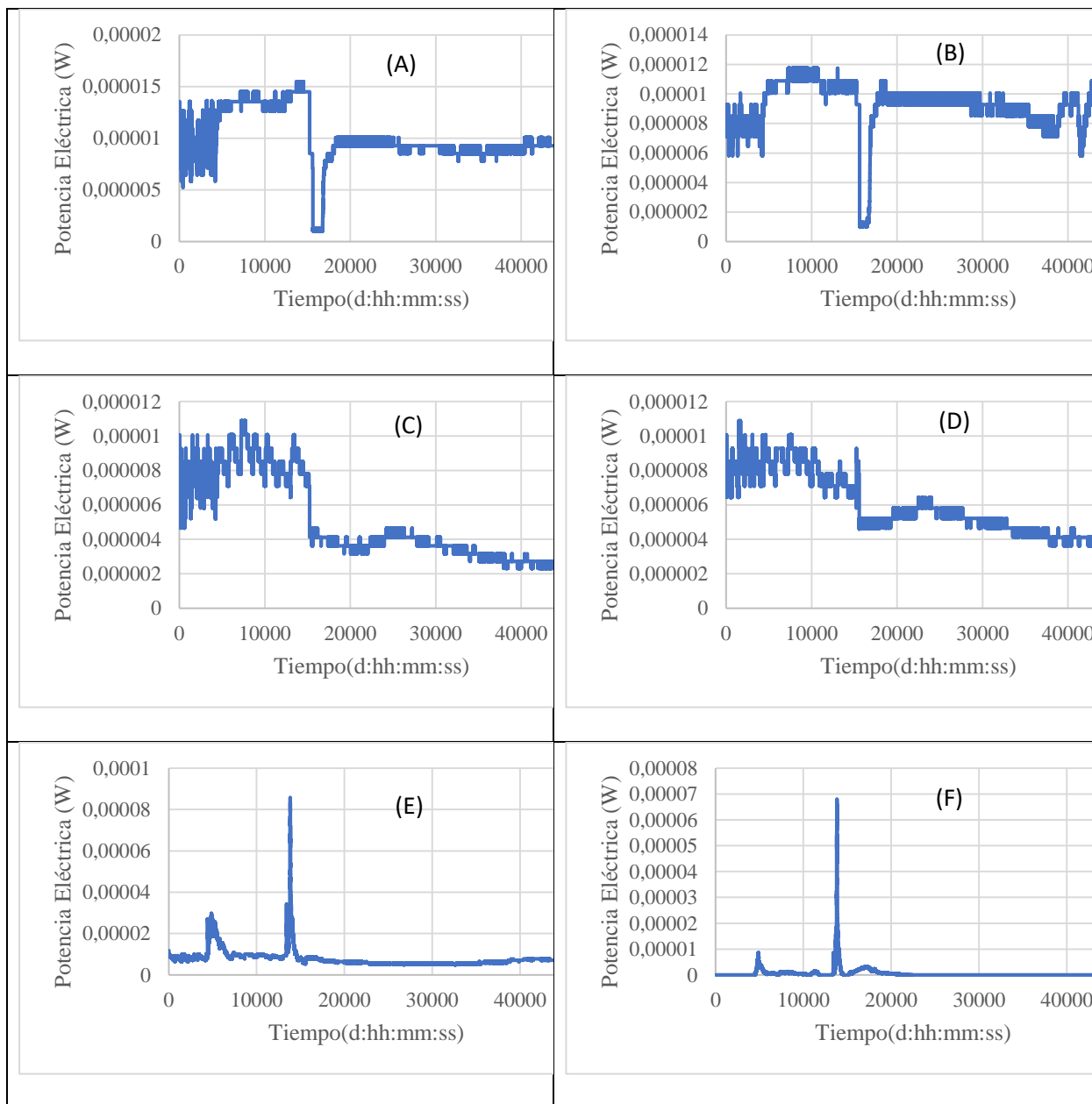
	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Plantas en Serie
Válido	43802	43802	43802	43802	43802	43802	6253
Ausente	0	0	0	0	0	0	37549
Moda	1,584×10 <sup>-5</sup> 5	1,584×10 <sup>-5</sup> 5	9,898×10 <sup>-5</sup> 6	1,188×10 <sup>-5</sup> 5	1,188×10 <sup>-5</sup> 5	0,000	5,273×10 <sup>-5</sup>
Mediana	1,584×10 <sup>-5</sup> 5	1,584×10 <sup>-5</sup> 5	1,056×10 <sup>-5</sup> 5	1,188×10 <sup>-5</sup> 5	1,386×10 <sup>-5</sup> 5	0,000	5,078×10 <sup>-5</sup>
Media	1,645×10 <sup>-5</sup> 5	1,565×10 <sup>-5</sup> 5	1,139×10 <sup>-5</sup> 5	1,263×10 <sup>-5</sup> 5	1,426×10 <sup>-5</sup> 5	1,865×10 <sup>-5</sup> 6	4,950×10 <sup>-5</sup>

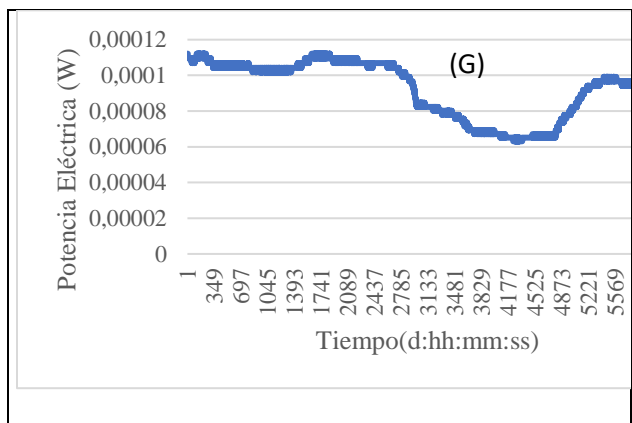
	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Plantas en Serie
Error Típico de la Media	$1,162 \times 10^{-8}$	$9,218 \times 10^{-8}$	$1,243 \times 10^{-8}$	$8,444 \times 10^{-8}$	$1,421 \times 10^{-8}$	$1,639 \times 10^{-8}$	$5,536 \times 10^{-8}$
Desviación Típica	$2,433 \times 10^{-6}$	$1,929 \times 10^{-6}$	$2,602 \times 10^{-6}$	$1,767 \times 10^{-6}$	$2,974 \times 10^{-6}$	$3,431 \times 10^{-6}$	$4,377 \times 10^{-6}$
Coefficiente de variación	0,148	0,123	0,228	0,140	0,209	1,839	0,088
Varianza	$5,918 \times 10^{-12}$	$3,722 \times 10^{-12}$	$6,773 \times 10^{-12}$	$3,123 \times 10^{-12}$	$8,845 \times 10^{-12}$	$1,177 \times 10^{-11}$	$1,916 \times 10^{-11}$
Mínimo	$5,279 \times 10^{-6}$	$5,279 \times 10^{-6}$	$7,918 \times 10^{-6}$	$9,898 \times 10^{-6}$	$1,122 \times 10^{-5}$	0,000	$4,102 \times 10^{-5}$
Máximo	$2,046 \times 10^{-5}$	$1,782 \times 10^{-5}$	$1,716 \times 10^{-5}$	$1,716 \times 10^{-5}$	$4,817 \times 10^{-5}$	$4,289 \times 10^{-5}$	$5,469 \times 10^{-5}$

Nota. (A) Planta 1 *Begonia semperflorens*; (B) Planta 2 *Nephrolepis exaltata*; (C) Planta 3 *Pentas lanceolata*; (D) Planta 4 *Kalanchoe blossfeldiana*; (E) Planta 5 *Torenia fournieri*; (F) Planta 6 *Asplenium nidus*; (G) Plantas en serie.

**Figura 15**

**Resultados de Medidas de Potencia Eléctrica (W).**





Nota. (A) Planta 1 *Begonia semperflorens*; (B) Planta 2 *Nephrolepis exaltata*; (C) Planta 3 *Pentas lanceolata*; (D) Planta 4 *Kalanchoe blossfeldiana*; (E) Planta 5 *Torenia fournieri*; (F) Planta 6 *Asplenium nidus*; (G) Plantas en serie.

**Tabla 8**

*Estadísticos Descriptivos Potencia Eléctrica (W)*

	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Plantas en Serie
Válido	43802	43802	43802	43802	43802	43802	6253
Ausente	0	0	0	0	0	0	37549
Moda	9,279×10 <sup>-6</sup>	9,279×10 <sup>-6</sup>	3,625×10 <sup>-6</sup>	5,219×10 <sup>-6</sup>	5,219×10 <sup>-6</sup>	0,000	1,043×10 <sup>-4</sup>
Mediana	9,279×10 <sup>-6</sup>	9,279×10 <sup>-6</sup>	4,124×10 <sup>-6</sup>	5,219×10 <sup>-6</sup>	7,104×10 <sup>-6</sup>	0,000	9,670×10 <sup>-5</sup>

**Tabla 8**

*Estadísticos Descriptivos Potencia Eléctrica (W)*

	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Plantas en Serie
Media	1,024×10 <sup>-5</sup>	9,195×10 <sup>-6</sup>	5,054×10 <sup>-6</sup>	6,021×10 <sup>-6</sup>	7,852×10 <sup>-6</sup>	5,642×10 <sup>-6</sup>	9,259×10 <sup>-5</sup>
Error Típico de la Media	2,215×10 <sup>-8</sup>	8,358×10 <sup>-9</sup>	1,125×10 <sup>-8</sup>	8,155×10 <sup>-9</sup>	2,118×10 <sup>-8</sup>	1,257×10 <sup>-8</sup>	1,994×10 <sup>-7</sup>
Desviación Típica	2,542×10 <sup>-6</sup>	1,749×10 <sup>-6</sup>	2,354×10 <sup>-6</sup>	1,707×10 <sup>-6</sup>	4,432×10 <sup>-6</sup>	2,630×10 <sup>-6</sup>	1,577×10 <sup>-5</sup>
Coefficiente de variación	0,248	0,190	0,466	0,283	0,565	4,662	0,170
Varianza	6,462×10 <sup>-12</sup>	3,060×10 <sup>-12</sup>	5,541×10 <sup>-12</sup>	2,913×10 <sup>-12</sup>	1,965×10 <sup>-11</sup>	6,918×10 <sup>-12</sup>	2,487×10 <sup>-10</sup>
Mínimo	1,031×10 <sup>-6</sup>	1,031×10 <sup>-6</sup>	2,320×10 <sup>-6</sup>	3,625×10 <sup>-6</sup>	4,656×10 <sup>-6</sup>	0,000	6,309×10 <sup>-5</sup>
Máximo	1,548×10 <sup>-5</sup>	1,174×10 <sup>-5</sup>	1,089×10 <sup>-5</sup>	1,089×10 <sup>-5</sup>	8,585×10 <sup>-5</sup>	6,806×10 <sup>-5</sup>	1,122×10 <sup>-4</sup>

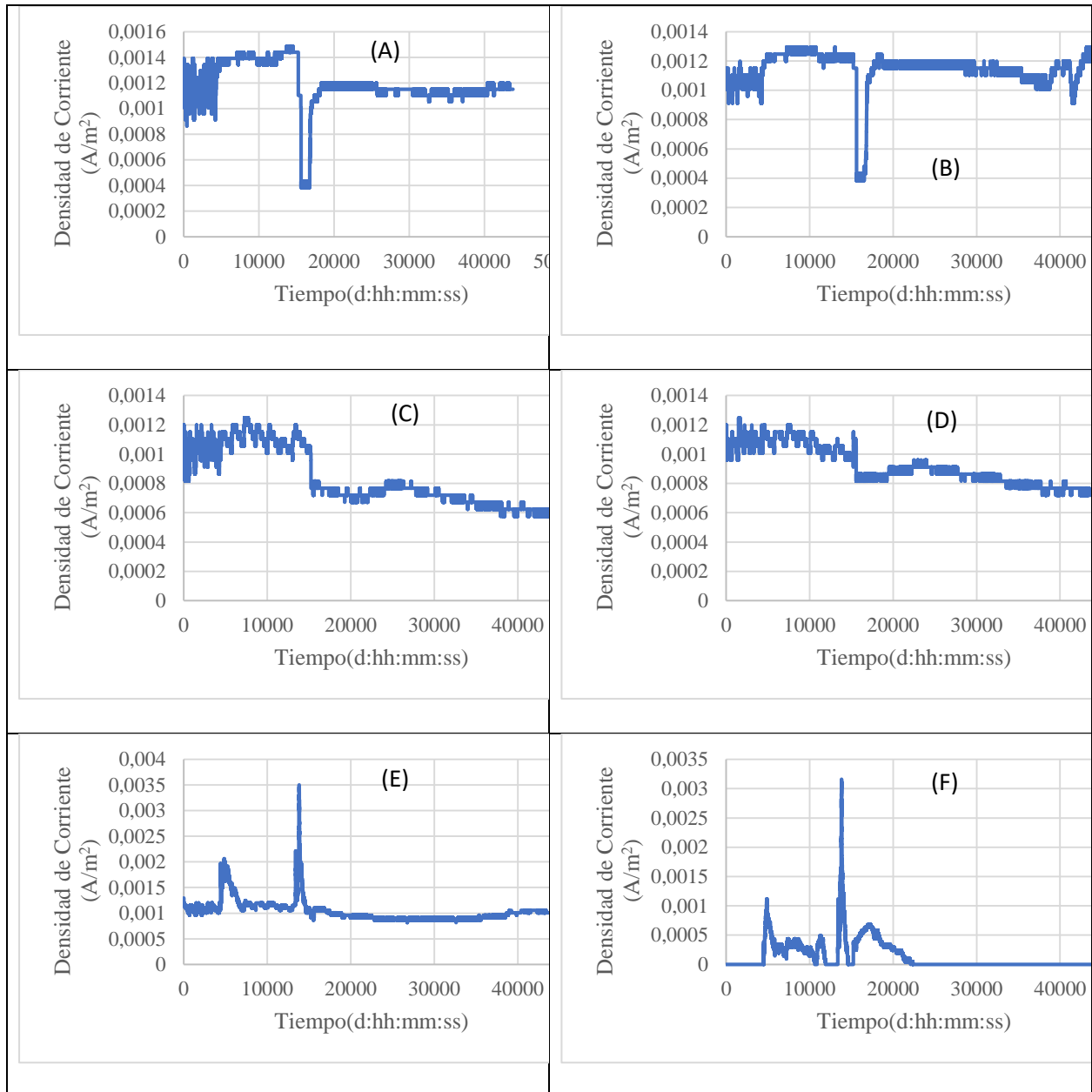
Nota. (A) Planta 1 *Begonia semperflorens*; (B) Planta 2 *Nephrolepis exaltata*; (C) Planta 3

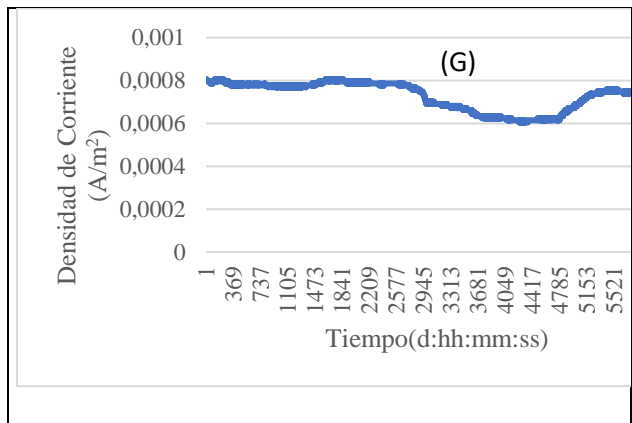
*Pentas lanceolata*; (D) Planta 4 *Kalanchoe blossfeldiana*; (E) Planta 5 *Torenia fournieri*; (F)

Planta 6 *Asplenium nidus*; (G) Plantas en serie.

**Figura 16**

**Resultados de Medidas de Densidad de Corriente ( $A/m^2$ ).**





Nota. (A) Planta 1 *Begonia semperflorens*; (B) Planta 2 *Nephrolepis exaltata*; (C) Planta 3 *Pentas lanceolata*; (D) Planta 4 *Kalanchoe blossfeldiana*; (E) Planta 5 *Torenia fournieri*; (F) Planta 6 *Asplenium nidus*; (G) Plantas en serie.

**Tabla 9**

*Estadísticos Descriptivos Densidad de Corriente (A/m<sup>2</sup>)*

	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Plantas en Serie
Válido	43802	43802	43802	43802	43802	43802	6253
Ausente	0	0	0	0	0	0	37549
Moda	0,001	0,001	$7,196 \times 10^{-4}$ 4	$8,635 \times 10^{-4}$ 4	$8,635 \times 10^{-4}$ 4	0,000	$7,771 \times 10^{-4}$
Mediana	0,001	0,001	$7,675 \times 10^{-4}$ 4	$8,635 \times 10^{-4}$ 4	0,001	0,000	$7,483 \times 10^{-4}$
Media	0,001	0,001	$8,284 \times 10^{-4}$ 4	$9,185 \times 10^{-4}$ 4	0,001	$1,374 \times 10^{-3}$ 4	$7,294 \times 10^{-4}$

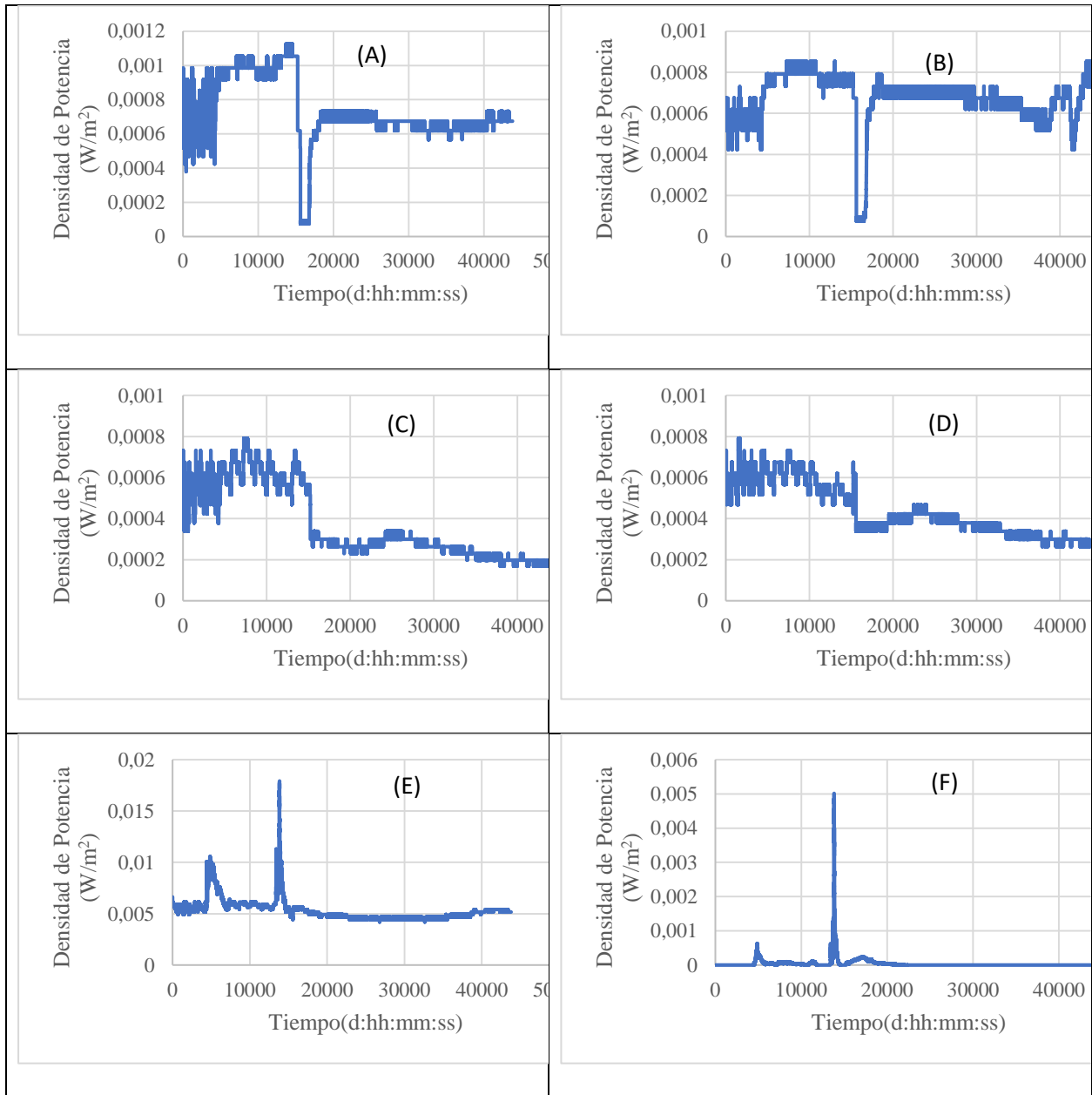


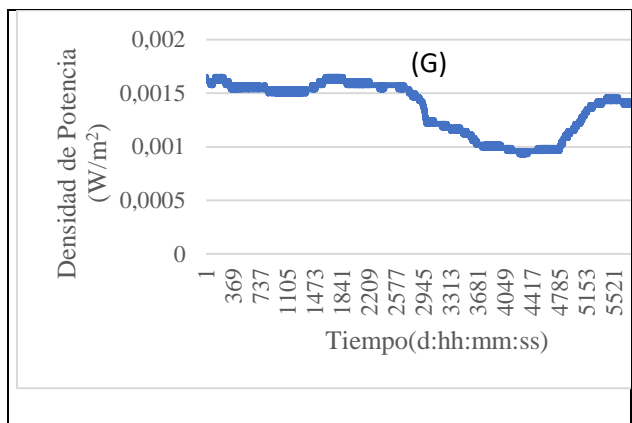
	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Plantas en Serie
Error Típico de la Media	$8,451 \times 10^{-7}$	$6,702 \times 10^{-7}$	$9,040 \times 10^{-7}$	$6,139 \times 10^{-7}$	$1,033 \times 10^{-6}$	$1,208 \times 10^{-6}$	$8,158 \times 10^{-7}$
Desviación Típica	$1,769 \times 10^{-4}$	$1,403 \times 10^{-4}$	$1,892 \times 10^{-4}$	$1,285 \times 10^{-4}$	$2,162 \times 10^{-4}$	$2,528 \times 10^{-4}$	$6,451 \times 10^{-5}$
Coefficiente de variación	0,148	0,123	0,228	0,140	0,209	1,839	0,088
Varianza	$3,128 \times 10^{-8}$	$1,967 \times 10^{-8}$	$3,580 \times 10^{-8}$	$1,651 \times 10^{-8}$	$4,675 \times 10^{-8}$	$6,390 \times 10^{-8}$	$4,161 \times 10^{-9}$
Mínimo	$3,838 \times 10^{-4}$	$3,838 \times 10^{-4}$	$5,756 \times 10^{-4}$	$7,196 \times 10^{-4}$	$8,155 \times 10^{-4}$	0,000	$6,044 \times 10^{-4}$
Máximo	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004	0,003	$8,059 \times 10^{-4}$

Nota. (A) Planta 1 *Begonia semperflorens*; (B) Planta 2 *Nephrolepis exaltata*; (C) Planta 3 *Pentas lanceolata*; (D) Planta 4 *Kalanchoe blossfeldiana*; (E) Planta 5 *Torenia fournieri*; (F) Planta 6 *Asplenium nidus*; (G) Plantas en serie.

**Figura 17**

**Resultados de Medidas de Densidad de Potencia ( $W/m^2$ ).**





Nota. (A) Planta 1 *Begonia semperflorens*; (B) Planta 2 *Nephrolepis exaltata*; (C) Planta 3 *Pentas lanceolata*; (D) Planta 4 *Kalanchoe blossfeldiana*; (E) Planta 5 *Torenia fournieri*; (F) Planta 6 *Asplenium nidus*; (G) Plantas en serie.

**Tabla 10**

*Estadísticos Descriptivos Densidad de Potencia (W/m²).*

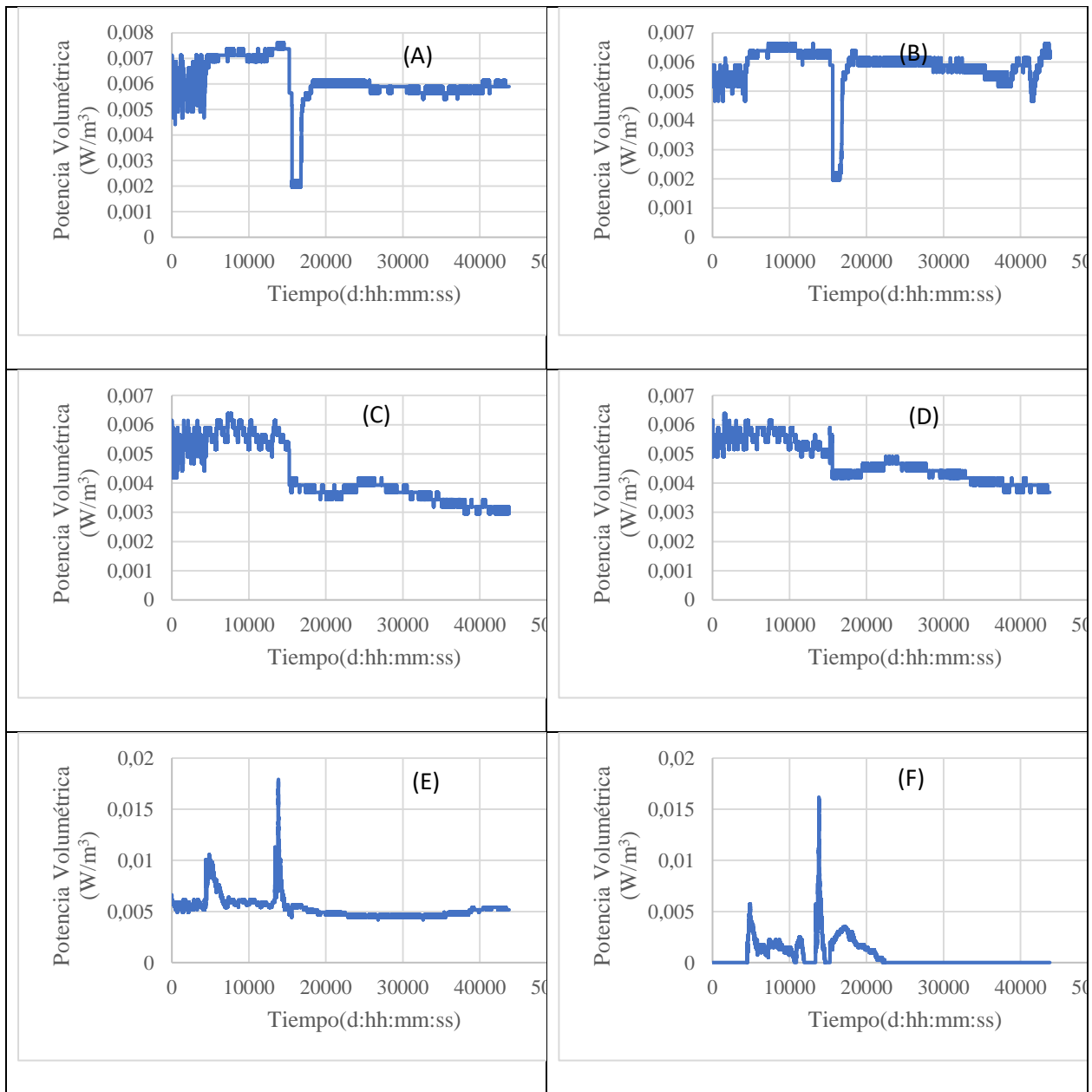
	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Plantas en Serie
Válido	43802	43802	43802	43802	43802	43802	6253
Ausente	0	0	0	0	0	0	37549
Moda	$6,746 \times 10^{-4}$	$6,746 \times 10^{-4}$ 4	$2,635 \times 10^{-4}$ 4	$3,794 \times 10^{-4}$ 4	$3,794 \times 10^{-4}$ 4	0,000	0,002
Mediana	$6,746 \times 10^{-4}$	$6,746 \times 10^{-4}$ 4	$2,998 \times 10^{-4}$ 4	$3,794 \times 10^{-4}$ 4	$5,165 \times 10^{-4}$ 4	0,000	0,001
Media	$7,442 \times 10^{-4}$	$6,685 \times 10^{-4}$ 4	$3,674 \times 10^{-4}$ 4	$4,378 \times 10^{-4}$ 4	$5,708 \times 10^{-4}$ 4	$4,157 \times 10^{-4}$ 5	0,001

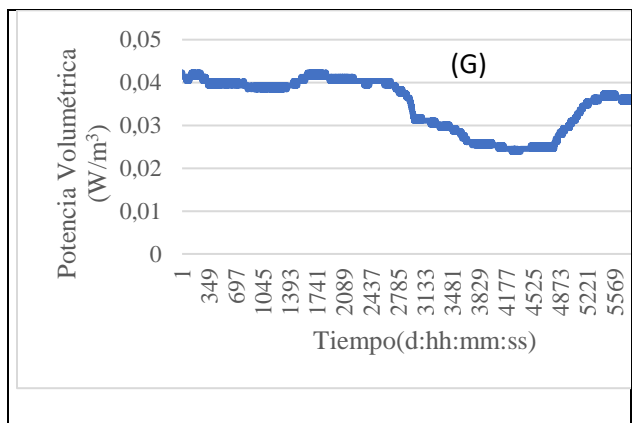
	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Plantas en Serie
Error Típico de la Media	$8,830 \times 10^{-7}$	$6,076 \times 10^{-7}$ 7	$8,177 \times 10^{-7}$ 7	$5,929 \times 10^{-7}$ 7	$1,540 \times 10^{-6}$ 6	$9,260 \times 10^{-7}$ 7	$2,939 \times 10^{-6}$
Desviación Típica	$1,848 \times 10^{-4}$	$1,272 \times 10^{-4}$ 4	$1,711 \times 10^{-4}$ 4	$1,241 \times 10^{-4}$ 4	$3,222 \times 10^{-4}$ 4	$1,938 \times 10^{-4}$ 4	$2,324 \times 10^{-4}$
Coefficiente de variación	0,248	0,190	0,466	0,283	0,565	4,662	0,170
Varianza	$3,415 \times 10^{-8}$	$1,617 \times 10^{-8}$ 8	$2,929 \times 10^{-8}$ 8	$1,540 \times 10^{-8}$ 8	$1,038 \times 10^{-7}$ 7	$3,756 \times 10^{-8}$ 8	$5,401 \times 10^{-8}$
Mínimo	$7,495 \times 10^{-5}$	$7,500 \times 10^{-5}$ 5	$1,686 \times 10^{-4}$ 4	$2,635 \times 10^{-4}$ 4	$3,385 \times 10^{-4}$ 4	0,000	$9,297 \times 10^{-4}$
Máximo	0,001	$8,538 \times 10^{-4}$ 4	$7,917 \times 10^{-4}$ 4	$7,917 \times 10^{-4}$ 4	0,006	0,005	0,002

Nota. (A) Planta 1 *Begonia semperflorens*; (B) Planta 2 *Nephrolepis exaltata*; (C) Planta 3 *Pentas lanceolata*; (D) Planta 4 *Kalanchoe blossfeldiana*; (E) Planta 5 *Torenia fournieri*; (F) Planta 6 *Asplenium nidus*; (G) Plantas en serie.

**Figura 18**

**Resultados de Medidas de Potencia Volumétrica ( $W/m^3$ ).**





Nota. (A) Planta 1 *Begonia semperflorens*; (B) Planta 2 *Nephrolepis exaltata*; (C) Planta 3 *Pentas lanceolata*; (D) Planta 4 *Kalanchoe blossfeldiana*; (E) Planta 5 *Torenia fournieri*; (F) Planta 6 *Asplenium nidus*; (G) Plantas en serie.

**Tabla 11**

*Estadísticos Descriptivos Potencia Volumétrica (W/m³).*

	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Plantas en Serie
Válido	43802	43802	43802	43802	43802	43802	6253
Ausente	0	0	0	0	0	0	37549
Moda	0,006	0,006	0,004	0,004	0,004	0,000	0,039
Mediana	0,006	0,006	0,004	0,004	0,005	0,000	0,036
Media	0,006	0,006	0,004	0,005	0,005	$7,037 \times 10^{-4}$	0,035
Error Típico de la Media	$4,327 \times 10^{-6}$	$3,431 \times 10^{-6}$	$4,629 \times 10^{-6}$	$3,143 \times 10^{-6}$	$5,290 \times 10^{-6}$	$6,184 \times 10^{-6}$	$7,524 \times 10^{-5}$
	6	6	6	6	6	6	

	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Planta 6	Plantas en Serie
Desviación	$9,055 \times 10^{-4}$	$7,181 \times 10^{-4}$	$9,687 \times 10^{-4}$	$6,578 \times 10^{-4}$			
Típica	4	4	4	4	0,001	0,001	0,006
Coefficiente de variación	0,148	0,123	0,228	0,140	0,209	1,839	0,170
Varianza	$8,200 \times 10^{-7}$	$5,157 \times 10^{-7}$	$9,384 \times 10^{-7}$	$4,327 \times 10^{-7}$	$1,226 \times 10^{-6}$	$1,675 \times 10^{-6}$	$3,539 \times 10^{-5}$
Mínimo	0,002	0,002	0,003	0,004	0,004	0,000	0,024
Máximo	0,008	0,007	0,006	0,006	0,018	0,016	0,042

Nota. (A) Planta 1 *Begonia semperflorens*; (B) Planta 2 *Nephrolepis exaltata*; (C) Planta 3 *Pentas lanceolata*; (D) Planta 4 *Kalanchoe blossfeldiana*; (E) Planta 5 *Torenia fournieri*; (F) Planta 6 *Asplenium nidus*; (G) Plantas en serie.

### Capítulo IV. Discusiones

#### Análisis de resultados microbiológicos

En los resultados de los análisis microbianos se evidenció crecimiento de *Escherichia coli* en las muestras de suelo experimental y sustrato antes del experimento pero, no en la muestra sustrato después del experimento, esta bacteria es considerada con electro actividad exógena (Potter, 1911b), además utilizada para la producción de energía en celdas de combustible microbiana (CCM) de membrana aireada de doble cámara como biocatalizador en diferentes cultivos (0,5 y 1,0 OD) (Masih & Zimik, 2012).

Estudios anteriores indicaron que *E. coli* sería una mejor opción para las CCMPs, ya que su voltaje de circuito abierto > 0,88 V y su límite de corriente de 10,1 mA proporcionarían una

excelente densidad de potencia de 547 mW/m (Wang et al., 2010).

El número de bacterias de *Escherichia coli* disminuyó cuando se tomó la muestra sustrato después del experimento de la CCMP, esto puede deberse a la falta de nutrientes para la actividad bacteriana. No hay duda de que las bacterias crecen rápidamente en un ambiente con abundante comida, la falta de nutrientes en el suelo es un factor que inhibe la actividad de las bacterias en la generación de energía eléctrica.

La presencia de la bacteria *Escherichia coli* es sinónimo de contaminación, para este estudio se priorizo su función en la generación de electricidad, estas bacterias también viven en el agua, entre las fuentes de contaminación, los principales huéspedes son los rumiantes, especialmente bovinos y ovinos, como lo demuestran las muestras de suelo tomadas cerca del potrero de la finca la Campiña, cabe mencionar que se ha informado que el tiempo de supervivencia de *E. coli* en suelo contaminado varía de 1 un mes a más de 7 meses (World Organization for Animal Health [OIE], 2010).

En el caso de las *Pseudomonas sp.* como se muestra en varios estudios, las cepas de los géneros anteriores se aislaron de biopelículas electroactivas y su actividad bioeléctrica se estudió utilizando los géneros *Pseudomonas*, *Aeromonas* y *Enterobacter*, que se utilizaron como una herramienta relacionada en CCM, biorremediación, crecimiento de plantas y biología molecular (Azri et al., 2018).

Las CCMs que usan cultivos bacterianos mixtos tienen varias ventajas sobre las CCMs que usan cultivos puros: tasas de consumo de sustrato más altas, mayor robustez ante las interrupciones del sistema, especificidad de sustrato reducida, procesamiento más fácil y mayor densidad de potencia (Sarma & Mohanty, 2019).

Las *Pseudomonas sp* tiene ciertas características que proporcionan un buen control



biológico: capacidad para adherirse a las partículas del suelo y reproducirse en la rizosfera, uso de exudados y prototrofia de raíces y semillas, rápida colonización de la rizosfera, capacidad para crecer rápidamente y sensibilidad a las reacciones químicas inducidas por la motilidad (Motta Escobar et al., 2022).

Las *Pseudomonas sp* se utiliza en la agricultura debido a su capacidad para promover el crecimiento vegetal (BPCV) y es una de las mejores opciones como inoculantes de plantas y suelos, para mejorar el crecimiento de las plantas y manejar la enfermedad utilizando la amplia gama de metabolitos que las cepas beneficiosas pueden producir (Sánchez & Guerra, 2022).

La bacteria *Erwinia sp.* se encontró presente en los sustratos de las plantas, la presencia de esta bacteria, caracterizada por un rendimiento coulombiano, indica un alto grado de conversión de energía en sistemas CCM, incluso superior al reportado en la literatura para *Escherichia coli* (Li et al., 2018).

Algunas bacterias y hongos productores de celulasa pueden hidrolizar y cambiar la estructura cristalina de la biomasa lignocelulósica y aumentar la producción de azúcar para mejorar el rendimiento de la CCM este es el caso de la bacteria *Erwinia sp.* (Moradian et al., 2021).

El *Lactobacillus* es otra bacteria electroactiva encontrada en el sustrato de las plantas, esta bacteria fue utilizada en CCM anteriormente y produjo una corriente de 0,287 mA, al igual que un voltaje de 200,7 mV y una densidad de potencia fue 39,04 mW/m<sup>2</sup> (Arbianti et al., 2013). La investigación de tres bacterias diferentes en celdas de combustible microbianas mostró que *Streptococcus thermophilus* arrojó un voltaje de 192,2 mV, mientras que otras dos bacterias arrojaron voltajes de 71,8 mV para *E. coli* y 187,9 mV para la bacteria *Lactobacillus* (Abdel-Gelel et al., 2021).

Estudios que utilizaron cultivos puros de *Lactobacillus pentosus* lograron una máxima densidad de potencia,  $8,09 \pm 1,52 \text{ mW/m}^2$ , (Vilas Boas et al., 2015), estos resultados son consistentes con el uso de estas especies bacterianas en células microbianas por otros autores.

Una celda de combustible microbiana que utilizó *Lactobacillus bulgaricus* en desechos de tofu produjo un voltaje potencial de hasta 282 mV, y el número de células bacterianas alcanzó  $12,4 \times 10^6 \text{ CFU/mL}$  durante 5 horas de incubación, mientras que una mezcla de tempeh y okara en la tercera hora de incubación produjo un biopotencial de 274 mV (Sulistiyawati et al., 2020).

En las condiciones utilizadas, la CCM con un cultivo puro de *Lactobacillus pentosus* operó con una densidad de potencia máxima de  $5,0 \pm 0,39 \text{ mW/m}$  (Vilas Boas et al., 2019).

Las medidas máximas de cambio de energía eléctrica para sustratos de fructosa, lactosa y almidón en el sistema CCM de *L. plantarum* fueron 10,26 mW, 63 mW y 27,47 mW, respectivamente. La potencia eléctrica máxima del sustrato de lactosa fue de 63 mW, 164,74 mW y 290,51 mW, equitativamente (Niessen et al., 2004).

Por otra parte, utilizan microorganismos para preparar biofertilizantes para las plantas, entre los cuales se encuentran *Bacillus*, *Pseudomonas*, bacterias *Lactobacillus*, bacterias fotosintéticas, bacterias fijadoras de nitrógeno, hongos *Trichoderma* y levaduras (Ritika & Utpal, 2014). *Lactobacillus spp*, inhibe los microorganismos nocivos y degrada la lignina y la celulosa (Al Bpapp, 2020), además son organismos importantes para la restauración geomorfológica.

Se ha verificado que el tratamiento de suelo a base de microorganismos que conviven entre sí ayuda a mejorar la calidad de este y a producir su propio alimento, para mencionar algunos se encuentran *Rhodopseudomonas*, *Lactobacillus* y *Saccharomyces*, estas bacterias añaden nutrientes como iones de nitrógeno ( $\text{NO}^{-3}$ ), dihidrógeno fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4$ ) Calcio ( $\text{Ca}_2$ ), potasio (K), magnesio ( $\text{Mg}_2$ ), hierro ( $\text{Fe}_2$ ), cobre ( $\text{Cu}_2$ ), zinc ( $\text{Zn}_2$ ), etc (Higa & Parr, 1994).

Para el caso de las bacterias *Enterococcus sp* que se lograron encontrar en las muestras de suelo de esta investigación, también es responsable al igual que las bacterias mencionadas anteriormente de generar energía eléctrica. *Enterococcus sp* contribuye a la degradación de la materia orgánica de sustratos fermentables, así como a la transferencia de electrones.

Se informó la actividad metabólica de las especies de *Enterococcus* con glucosa del lodo granular metanogénico inoculado en un reactor CCM y se observaron cambios significativos en la generación de potencial eléctrico en comparación con CCM botellas de suero (Ozkaya et al., 2012).

*Enterococcus* es una bacteria grampositiva que fermenta glucosa a lactato en condiciones anaeróbicas, además, se ha informado que los enterococos reducen el hierro férrico en condiciones anaeróbicas, (Kim et al., 2005). Estudios muestran que los microorganismos tienen el potencial de producir electricidad en CCM utilizando sustrato preparado, entre ellas se encuentran: *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Staphylococcus*, *Enterococcus* y *Micrococcus* (Adeleye & Okorodu, 2015).

Una ventaja adicional puede ser la presencia de microorganismos fermentadores y bacterias productoras de hidrógeno, como los *Clostridium spp*, que proporcionan un suministro de diversos compuestos orgánicos (Pokorna & Zabranska, 2015). Estos microorganismos pueden fermentar sustratos complejos en productos de fermentación simples, que luego se oxidan por la acción de microorganismos electroquímicamente activos presentes en la biopelícula (Kumar et al., 2020).

Dado que existe una correlación positiva significativa entre el nivel de generación de bioelectricidad y su abundancia alrededor del ánodo, probablemente se trate de microorganismos electrogénicos o estrechamente relacionados entre los *Clostridium sp*, *Geobacter*, *Bacillus*,

*Romboutsia*, y *Terrisporobacter sp*, (Li et al., 2018).

Los *Clostridium* asociados con la fermentación y la transferencia de electrones mediada por ferredoxina al electrodo lograron una densidad de potencia máxima de 9,15 W/m<sup>3</sup> y una densidad de corriente aparente de 16,17 A/m<sup>3</sup> después de enriquecer y estabilizar la comunidad en el ánodo (Kumar et al., 2017).

Se han aislado varias especies de *Clostridium* de varios CCM de suelos ricos en hierro ferroso y se ha informado sobre su capacidad de generación de energía. La especie *Clostridium butyricum* fue la primera bacteria Grampositiva que demostró tener un potencial electrogénico exógeno (Park et al., 2001; Jiang et al., 2016).

Por lo que se refiere a los coeficientes de correlación de Pearson la bacteria *Escherichia coli* tiene una correlación perfecta con *Enterococcus sp* y una correlación muy fuerte para la *Lactobacillus sp*, Azufre (PVP), Boro (Azometina-H), Ca/K, también se evidencio una correlación positiva considerable con otros elementos, asimismo se evidencio una correlación negativa muy fuerte para *Erwinia sp*, *Clostridium sp*, Materia Orgánica, Carbono, Nitrógeno, se evidencio una correlación negativa considerable con otros elementos.

Para la *Pseudomonas sp* se evidenció una correlación muy fuerte para Sodio, Manganeso, Zinc, Ca/Mg y una correlación negativa muy fuerte para Magnesio y Mg/K.

Para la bacteria *Erwinia sp* se observa una correlación positiva muy fuerte entre *Clostridium sp*, Materia Orgánica, Carbono, Nitrógeno, Ca/K, Ca+, Mg/K de la misma manera se evidencio una correlación negativa muy fuerte *Enterococcus sp*, pH, Fósforo (Bray II), Potasio, Azufre (PVP), Boro (Azometina-H).

Existe una correlación positiva muy fuerte entre *Lactobacillus sp*, *Enterococcus sp*, Boro (Azometina-H), de otra forma se evidencio una correlación negativa muy fuerte entre

*Clostridium sp.*, Materia Orgánica, Carbono, Nitrógeno, Calcio.

La bacteria *Enterococcus sp* arrojó una correlación perfecta entre el Boro (Azometina-H), una correlación muy fuerte entre Azufre (PVP), Potasio, se evidencio una correlación negativa muy fuerte entre *Clostridium sp.*, Materia Orgánica, Carbono, Nitrógeno, Ca/K.

*Clostridium sp* tiene una correlación perfecta entre Materia Orgánica, Carbono, Nitrógeno y una correlación muy fuerte entre Capacidad Efectiva, Ca/K, igualmente se evidencio una correlación negativa muy fuerte entre el pH, Fósforo (Bray II), Potasio, Azufre (PVP), Boro (Azometina-H).

En este estudio de datos se pudo demostrar que las pilas de combustible con plantas que producen energía eléctrica pueden ser utilizadas por dispositivos como sensores, lámparas, LED, relojes, calculadoras, teléfonos móviles, redes de sensores inalámbricos autosostenibles y otros productos electrónicos, una pila CCMP se ve afectada por las conexiones eléctricas y aumenta por las conexiones en paralelo. Las aplicaciones prácticas requieren combinaciones inteligentes de conexiones en serie y en paralelo (Mateo et al., 2018). Por lo tanto, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos para *Begonia semperflorens*, *Nephrolepis exaltata*, *Pentas lanceolata*, *Kalanchoe blossfeldiana*, *Torenia fournieri*, *Asplenium nidus* fueron positivos para la obtención de energía, se puede inferir que su combinación puede convertirse en una buena alternativa, teniendo en cuenta el material de los electrodos.

Mediante el uso de una combinación de diferentes conectores CCMP, el voltaje y la corriente de salida se pueden aumentar, incluso hasta 13,5 V constantes, que es suficiente para cargar las baterías. Dado que las celdas de biocombustible producen energía continua, se requiere una conversión de corriente continua (CC) a corriente alterna (CA) para hacer posible el cambio de corriente es necesario adaptar un circuito inversor multivibrador, convierte la

corriente continua en corriente alterna y es capaz de encender bombillas LED (7 W, 230 V, 50 Hz). Esta técnica es útil para aplicar CCM como fuentes de corriente a cargas de CA reales (Prasad & Tripathi, 2020).

Para habilitar el uso de CCMP como fuentes de energía eléctrica, se necesita un sistema de recolección de energía (SRE) que se conecte a la CCMP donde controla el estado operativo de la celda para consumir parte de la energía recolectada, además rastrea el punto de máxima potencia (PMP) en el que puede operar sin una fuente de alimentación externa (Alaraj & Park, 2019a).

La recolección de energía (RE) es primordial para acceder al uso de dispositivos electrónicos de bajo consumo que extraen energía de una fuente externa. Los circuitos EH se implementan en aplicaciones basadas en IoT WSN. El sistema CCMP-RE tiene un punto de máxima potencia de 0,71 V, una densidad de corriente de 5 mA cm<sup>-2</sup>, una densidad de potencia de 3,5 mW cm<sup>-2</sup> y una única instalación (de La Rosa et al., 2019).

Los resultados experimentales muestran que la eficiencia general del sistema propuesto en PMP es del 59,4 % con un consumo de energía del microcontrolador de 8,67 μW, (Alaraj & Park, 2019b).

Durante la investigación se presentaron inconvenientes con cortes de energía por diferentes factores en la zona donde se realizaba la investigación, por lo que conllevaba a reiniciar el proceso de medición del potencial de energía de las CCMPs, adicional a esto el hecho de que las plantas estaban dentro de un hogar, posiblemente llevaron a que varios de ellas no sobrevivieran a la investigación, porque por varios días permanecieron aisladas de la luz solar.

Las CCMPs se puede utilizar para interactuar eficazmente con los sistemas de control de redes y tecnologías inalámbricas como el diseño LPWAN para desarrollar aplicaciones de

comunicación inalámbrica sostenibles (de La Rosa et al., 2021). Otra forma de mejorar su rendimiento es combinarlos con condensadores electroquímicos, que a menudo se utilizan para almacenar carga (Caizán-Juanarena et al., 2020), los sistemas CCM LVBR son nuevos sistemas de administración de energía (SAE), con un multiplicador de refuerzo de bajo voltaje (MRBV) pueden aumentar  $V_{to}$ ,  $11,9 \pm 0,6$  V sin inversión de voltaje y pueden cargar baterías de iones de litio y bancos de energía basados en supercondensadores (Koffi & Okabe, 2022).

Para evitar fluctuaciones de voltaje, el supercapacitor se carga primero en serie con múltiples CCMP y el supercapacitor cargado se usa para alimentar la entrada del SAE (Prasad & Tripathi, 2021). De manera similar, el sistema de energía ultra baja (SEUB) tiene un capacitor UCC4700  $\mu$ F de 6,3 V para recolectar y almacenar corriente en paralelo desde una CCM. La gestión de energía se programa con un microcontrolador Atmega 328PB como se comprobó en el estudio de Prasad & Tripathi (2021).

Usando el sistema de administración de energía (SAE) para resolver los problemas de pérdida de energía y ondulación en las CCMs, se encontró que el SAE proporciona energía constante de 2,658 V con una eficiencia del 85,46 %. Esto es suficiente para dispositivos de pequeña potencia. Sensores ambientales remotos, sensores de temperatura, iluminación LED, receptores ultrasónicos submarinos, etc, (Prasad & Tripathi, 2019).

La energía recolectada se puede almacenar en un supercondensador mientras se evitaba la inversión de voltaje (IV) en la CCMP. La energía obtenida del supercondensador también se utiliza para alimentar sensores de temperatura inalámbricos basados en IoT. Esta integración permite la implementación de la tecnología CCMP para ejecutar aplicaciones especializadas en entornos con recursos y capacidad limitados (Veerubhotla et al., 2019).

Con la introducción de Q-learning un algoritmo codicioso basado en políticas, el tiempo

que requiere la CCM en estabilizarse por completo se reduce considerablemente al planificar cuidadosamente la tarea de Q-Learning de forma racional (Fan & Feng, 2020).

Un multiplicador de refuerzo de bajo voltaje (MRBV), que consiste en un refuerzo de bajo voltaje (RBV) automático y un multiplicador de voltaje de etapas múltiples (MVEM), aumenta efectivamente la potencia de la CCM a  $99 \pm 2$  V con una eficiencia de más del 80 %. Estos resultados confirman que el multiplicador de refuerzo de bajo voltaje (MRBV), propuesto es efectivo para el almacenamiento y conservación de energía de las CCMs de baja potencia (Koffi & Okabe, 2022).

Estos dispositivos se pueden usar en biosensores, como la tecnología WuR, una nueva solución de ahorro de energía que proporciona menos potencia que las radios convencionales que se usan en las WSN (Piyare et al., 2017), también son utilizados en la gestión del agua de los techos verdes utilizando CCMPs estos sistemas están emergiendo como una alternativa adecuada y factible para los techos verdes (Tapia et al., 2018).

### **Análisis de los resultados fisicoquímicos de suelos**

Como se puede ver en los resultados de la primera muestra de suelo de la finca la Campiña la textura es franco arcilloso, la textura del suelo muestra la relación entre partículas de diferentes tamaños en el suelo, como arena, limo y arcilla. La fertilidad del suelo está relacionada con la facilidad con la que se puede utilizar el suelo, la cantidad de agua y aire que contiene y la tasa de infiltración de agua en el suelo (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2006).

Entre sus características se encuentran el alto nivel de agua y nutrientes, tienen la mejor fertilidad natural, tienen buenas propiedades naturales, sin embargo, se debe tener cuidado en cuando combinan fácilmente cuando se cultivan en condiciones húmedas (Laboratorio de



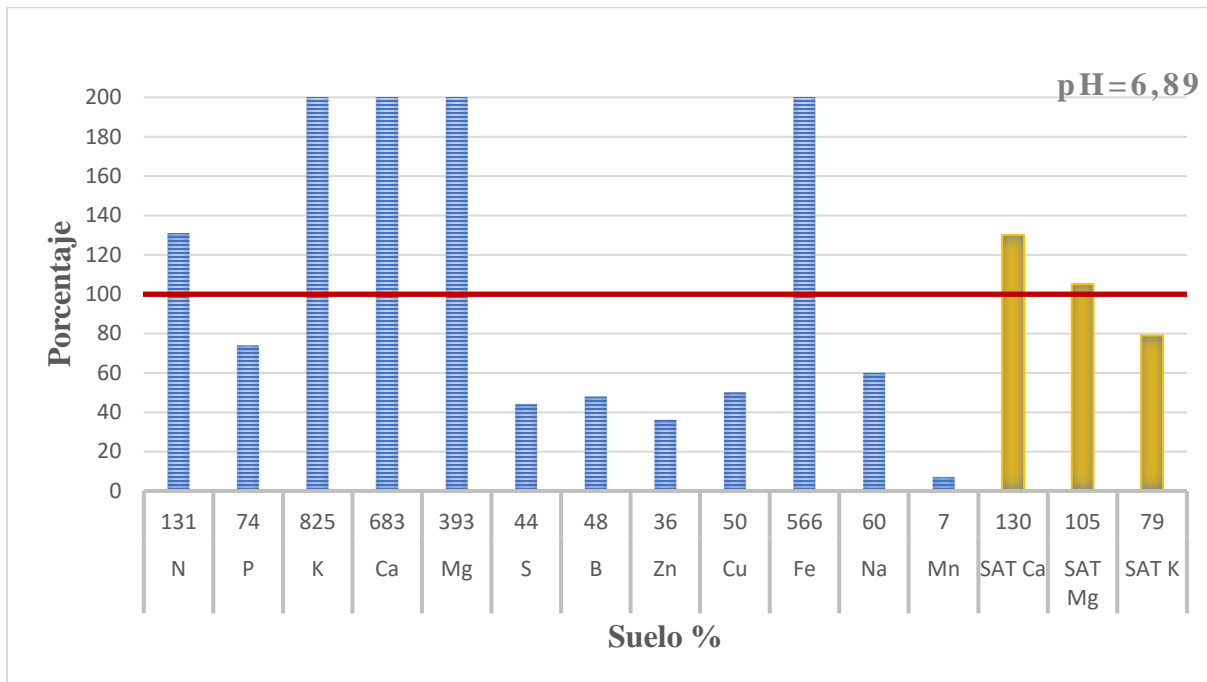
Análisis Agrícolas - Suelo, Agua, Planta [FERTILAB], 2023)

Desde un punto de vista estructural, los mejores suelos son los franco arenosos y francos con la proporción adecuada de arena, limo y arcilla. Se caracterizan por una buena retención de agua con una humedad útil entre el 7 % y el 12 % (Carrasco & Jorge et al., 2010).

Para la muestra de suelo experimental se encontró que el pH es neutro, el contenido de nutrientes mayores N, P, K está en rangos altos; los micronutrientes Mg, Cu, Zn en su mayoría están bajos. La saturación de las bases calcio, magnesio y potasio están en buenos niveles. La textura es Franco -Arcillosa, presenta buena condición física para el desarrollo del cultivo; se recomienda la aplicación generosa de materia orgánica compostada ver Fig. 20.

**Figura 19**

**Informe Analítico de Suelo Agrícola Muestra de Suelo Experimental**



*Nota. Tomado de las Recomendaciones de los Resultados del Análisis de los Parámetros del Suelo Muestra 1, del laboratorio GANACAMPO Ltda (Anexo 2).*

Se recomienda aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos para mejora la solubilidad de los nutrientes y lograr una buena absorción de estos por la planta. En este caso se puede disolver un litro de Humita en 200 litros de agua y aplicar en drench después de cada fertilización. También se recomienda la aplicación de 1 kg de materia orgánica compostada, 15 días antes de la siembra, para activar la condición biológica del suelo. Repetir al mes aplicación de fertilizantes con balance de nutrientes adecuado para el cultivo en su etapa de establecimiento, desarrollo y floración, aplicar en la zona de crecimiento activo de raíces y en condiciones de suelo húmedo, se puede utilizar la cantidad de 5 g de cada uno de los siguientes fertilizantes Rafos, Nitromag,

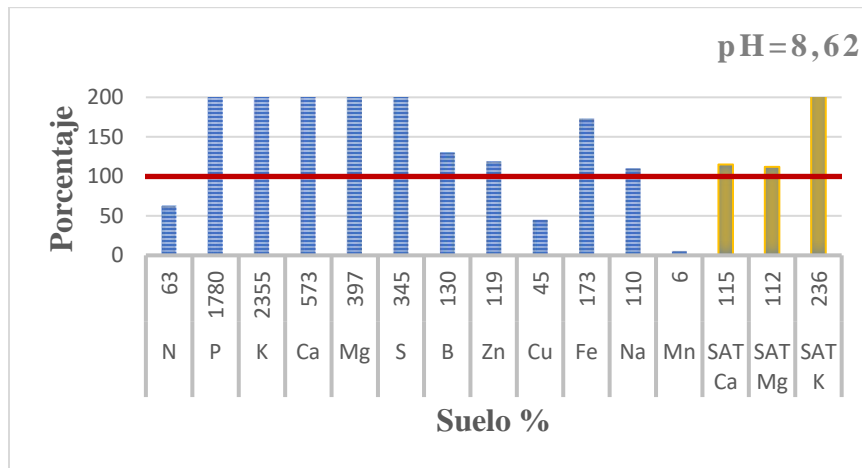
Agrimins, si se desea utilizar este tipo de suelo para el sustrato de las plantas en CCMP. Repetir la fertilización todos los meses.

Para la muestra sustrato antes del experimento que fue la mezcla de suelo, abono orgánico, arena y ceniza, en proporciones de 3, 2, 1,  $\frac{1}{2}$ , respectivamente, la textura del suelo cambio a franco arenoso, con un alto contenido de arena del 84%. En estas condiciones físicas, mantener la humedad es difícil; para un mejor aporte de nutrientes y humedad, se recomienda el uso de compost.

El pH es moderadamente alcalino y el contenido de los principales nutrientes y la mayoría de los micronutrientes se encuentran en niveles altos, excepto el nitrógeno en los macronutrientes, además el cobre y el manganeso en los micronutrientes se muestran en niveles bajos. La saturación básica representa un desequilibrio de potasio, que es muy alto en relación con el calcio y el magnesio. Para este caso es recomendable aplicar ácidos húmicos y fúlvicos para mejora la solubilidad de los nutrientes y lograr una buena absorción de estos por la planta (Fig. 21).

**Figura 20**

**Informe Analítico de Suelo Agrícola Muestra Sustrato antes del experimento.**



Nota. Tomado de las Recomendaciones de los Resultados del Análisis de los Parámetros del Suelo Muestra 2, del laboratorio GANACAMPO Ltda (Anexo 2).

Para este tipo de condiciones se recomienda utilizar 2 kg de materia orgánica compostada 15 días antes de la siembra para mejorar el estado natural del suelo. Repetir el abono mensual con una cantidad adecuada de nutrición vegetal en sus etapas de establecimiento, crecimiento y floración, utilizado en la zona de crecimiento radicular y en condiciones de suelo húmedo, se puede utilizar un máximo de 5 g cada uno de los siguientes abonos Raphos, Nitromag, Agrimins si desea utilizar este tipo de suelo para el sustrato de las plantas en las CCMPs. Fertilizar todos los meses.

Para la muestra sustrato después del experimento se analizó la planta con *Nephrolepis exaltata* posteriormente de hacer la recolección de datos, los resultados mostraron que la textura franco-arenosa se mantuvo como la muestra sustrato antes del experimento, se obtuvieron buenas condiciones físicas para el cultivo. Se recomienda un uso generoso de materia orgánica compostada para un mejor aprovechamiento de los nutrientes y el agua.

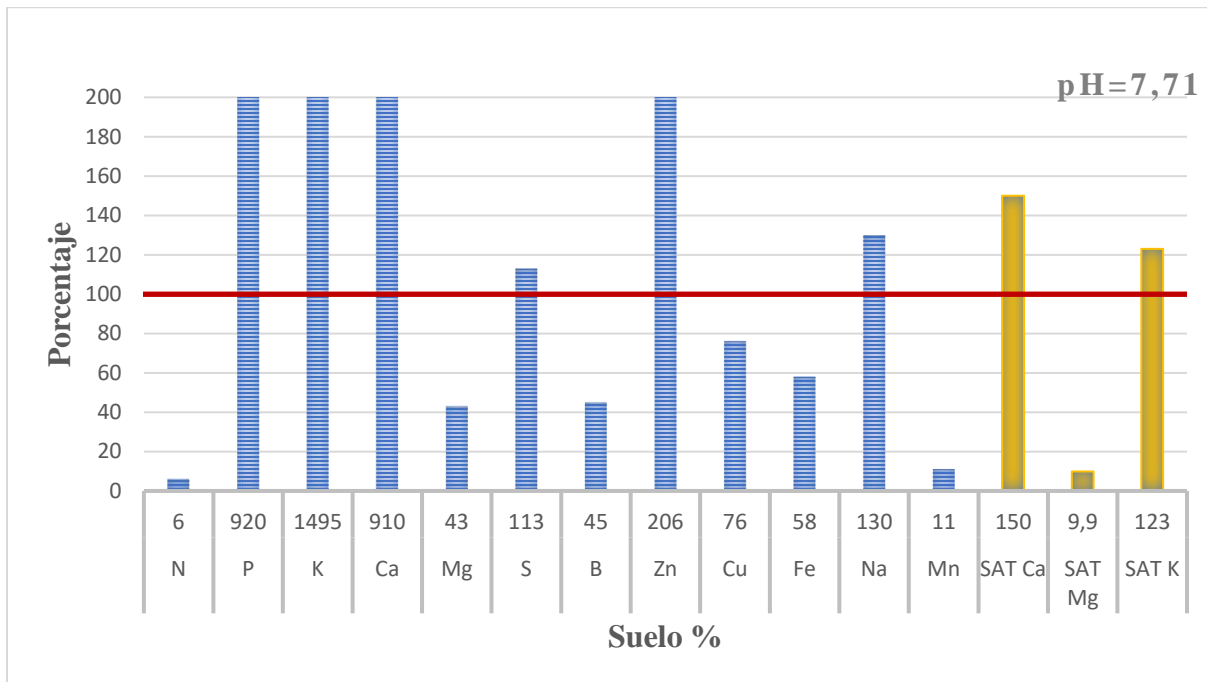
El pH es moderadamente alcalino, todos los nutrientes esenciales y muchos micronutrientes son altos y los micronutrientes son bajos. La saturación de bases representa un desequilibrio de potasio y calcio, que es demasiado alto en relación con el magnesio (Fig. 22).

A los 15 días antes de la siembra, se recomienda aplicar 2 kg de compost orgánico para activar las condiciones biológicas en el suelo. Durante las etapas de formación, desarrollo y floración del cultivo, se aplican fertilizantes balanceados en nutrientes y suficientes mensualmente en áreas de crecimiento activo de raíces y en condiciones de suelo húmedo con 5 g de cada fertilizante, se pueden usar los siguientes fertilizantes, Fertilizante Rafos, Nitromag, Agrimins y Borax 1 g si desea utilizar este tipo de suelo para sustratos vegetales en celdas de combustible microbianas vegetales. Repetir la fertilización mensual.

El ácido húmico y el ácido fúlvico se recomiendan para aumentar la solubilidad de los nutrientes y lograr una buena absorción por la planta. En este caso, 1 litro de Humita puede disolverse en 200 litros de agua y usarse para riego después de cada fertilización.

**Figura 21**

**Informe Analítico de Suelo Agrícola Muestra Sustrato después del experimento**

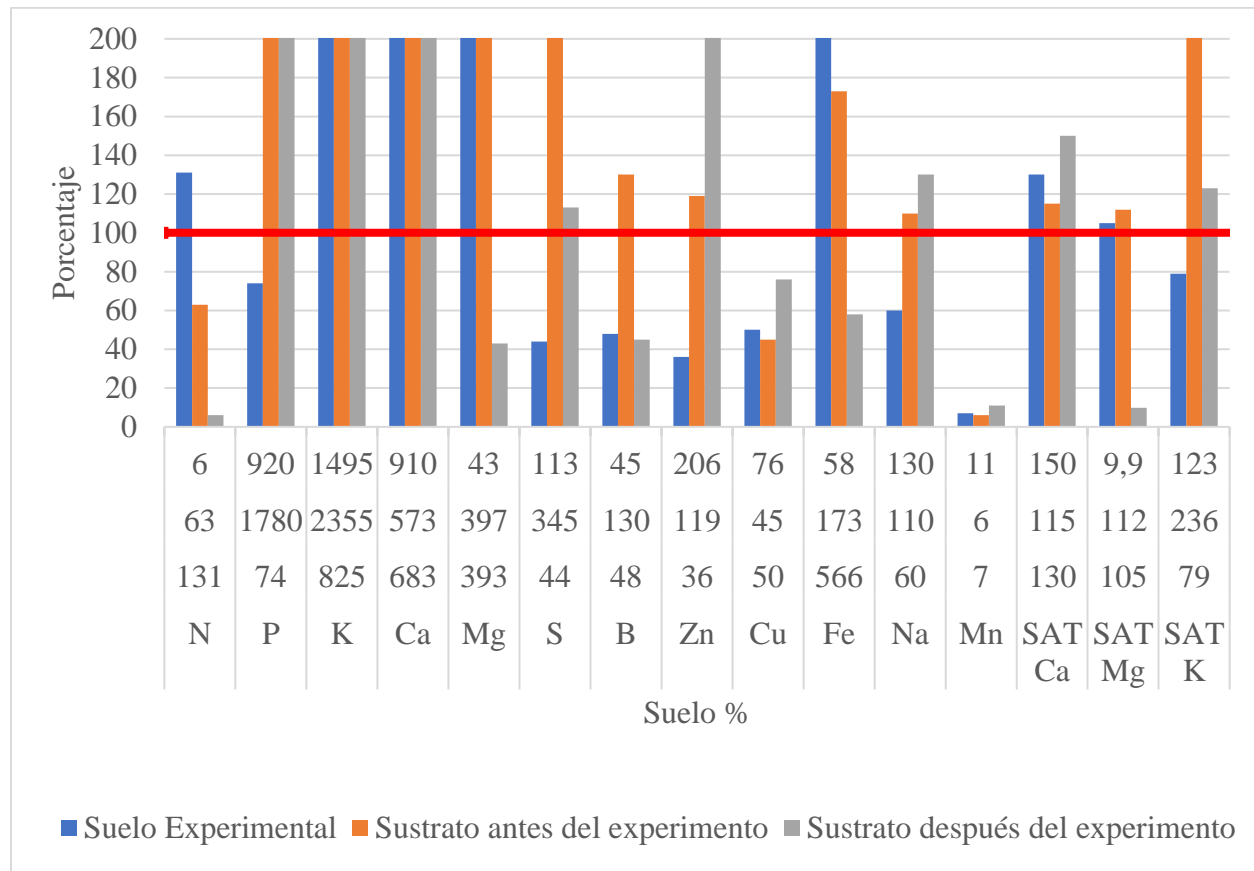


*Nota. Tomado de las Recomendaciones de los Resultados del Análisis de los Parámetros del Suelo Muestra 3, del laboratorio GANACAMPO Ltda (Anexo 2).*

A continuación, se representan los datos comparativos de los análisis fisicoquímicos de las 3 muestras de suelo de la investigación (Fig. 23).

**Figura 22**

**Datos comparativos de parámetros fisicoquímicos de las 3 muestras de suelo estudiadas.**



*Nota. Elaboración propia.*

**Análisis del potencial eléctrico de las CCMPs**

En el periodo inicial de las mediciones del potencial eléctrico las plantas *Begonia semperflorens*, *Nephrolepis exaltata*, *Pentas lanceolata*, *Kalanchoe blossfeldiana*, *Torenia fournieri*, comenzaron a generar energía eléctrica, excepto la planta *Asplenium nidus*, los días siguientes el comportamiento de las cinco CCMPs fue similar durante el periodo de arranque,

mostrando fluctuaciones de voltaje, la planta *Asplenium nidus* fue la más inestable a lo largo del tiempo de la toma de datos generando en ocasiones voltajes, en parte porque ambos electrodos utilizados eran con base de grafito, los materiales a base de carbono son inherentemente hidrofóbicos; por lo tanto, la formación de biopelículas en las superficies de los electrodos se retrasa, en general, el desempeño del ánodo requiere buena biocompatibilidad, excelente conductividad eléctrica, área de superficie específica alta, alta biocompatibilidad y bajo costo (Kim et al., 2023b).

La planta que generó más potencial eléctrico fue *Begonia semperflorens* y la que generó menos potencial eléctrico fue la *Asplenium nidus*, además, durante algunos días en que se realizó la medición las plantas experimentaron un descenso en la generación de voltajes, pero luego aumentaron la generación del potencial eléctrico. Cabe destacar que la oxidación abiótica influye en la generación de electrones inorgánicos lo que conduce a un aporte en la cuantificación del potencial eléctrico de las celdas de combustible con plantas al inicio del montaje.

En la medición del potencial eléctrico se presentaron los picos más altos en las celdas con las plantas *Torenia fournieri* y *Asplenium nidus* cuyos resultados arrojaron 1,782 V y 1,587 V respectivamente, comparando estos datos con otros experimentos, por ejemplo (Zhong et al., 2021), donde alcanzó voltajes máximos de 0,832 V y 0,671 V, al final de la reacción, en dicho experimento las salidas de voltaje disminuyeron a 0,348 y 0,332 V, respectivamente, podemos comparar que estas plantas superaron esos voltajes, en cambio las celdas con las plantas *Begonia semperflorens*, *Nephrolepis exaltata*, *Pentas lanceolata*, *Kalanchoe blossfeldiana*, obtuvieron menos potencial eléctrico comparados con el experimento de Zhong, pero a diferencia las celdas evaluadas en esta investigación se mantuvieron por encima de los valores obtenidos en comparación con las celdas de Zhong al finalizar el experimento.



Para los cálculos de la corriente en las celdas de combustible microbianas con plantas se utilizó la fórmula de la Ley de Ohm, como el sensor FZ0430 posee dos resistencias altas de 30 k $\Omega$  y 7,5 k $\Omega$ , los resultados de las corrientes en las seis celdas fueron muy bajos, lo que es recomendable utilizar resistencias con valores menores, lo que conlleva a que la corriente en las celdas aumente significativamente.

La potencia eléctrica calculada también fue muy baja debido que se calcula multiplicando la tensión por la corriente en cada una de las seis celdas, lo mismo ocurrió con la densidad de corriente que se divide entre el área del ánodo y la potencia eléctrica que se calcula de forma similar dividiendo entre el área del ánodo, para el caso de la potencia volumétrica la potencia se divide entre el volumen de la celda utilizada, en esta investigación todas estas variables dependen de la variable corriente lo que produjo los resultados muy bajos.

Para el caso de las mediciones de las CCMPs en serie, se conectaron las seis plantas, pero, no se encontraron los resultados deseados debido a que la planta *Asplenium nidus* era la más inestable en generar potencial eléctrico, lo que conllevó que no marcan valores de voltaje, posteriormente se decidió separar la CCMP con *Asplenium nidus* y dejar en serie las cinco CCMPs lo que inmediatamente se logró obtener mediciones de voltaje con una media de 1,856 V y un mínimo de 1,540 V y un máximo potencial eléctrico de 2,050 V.

Las CCMPs son una tecnología prometedora para generar electricidad a partir de materiales de desecho orgánicos además se puede aplicar para muchos propósitos, comparada con la tecnología fotovoltaica las CCMPs tiene una eficiencia de conversión de potencia máxima teórica del 0,92 %, y un máximo teórico de 1,38 Wm<sup>-2</sup> y salidas notificadas que van desde 2,6  $\mu$ W m<sup>-2</sup> hasta 679 mW m<sup>-2</sup> en la práctica (Van Limbergen et al., 2022).

Tomando como base que la CCMP produce una potencia máxima de 1,38 Wm<sup>-2</sup>,

utilizando como ejemplo el consumo promedio de una casa de 182 kW/h, se necesitaría un área de 131,884,05 m<sup>2</sup> o 13,19 ha, para suplir los kW/h mencionados, existen plataformas robóticas capaces de optimizar sistemas basados en fluidos por inteligencia artificial. EvoBot realiza operaciones de optimización complejas utilizando algoritmos evolutivos y también es capaz de interferir con los experimentos ajustando varios parámetros, como la inyección de nutrientes y la eliminación de productos metabólicos (European Commission, 2018).

Los cultivos microbianos alimentados por EvoBot mostraron un mayor rendimiento y evolucionaron para generar suficiente energía para alimentar otro robot. Los investigadores observaron que alimentar la celda de combustible microbiana en el momento adecuado aceleró significativamente el cultivo productor de energía. El tiempo de maduración del cultivo se redujo de 4 semanas a 6 días. EvoBot es el primer robot que adopta, monitorea e interactúa con sistemas en evolución, como organismos vivos utilizados para tareas específicas, utilizando inteligencia artificial (European Commission, 2018).

Las aplicaciones a gran escala de las CCMPs son limitadas, tienen otras ventajas importantes, como la simplicidad, la sostenibilidad y el costo, no hay componentes tóxicos, contaminantes, esto la convierte en una tecnología interesante para las comunidades (rurales), es una tecnología de secuestro de carbono y puede reducir las emisiones de metano en las circunstancias adecuadas, el costo de instalación de las CCMPs puede ser bajo, dependiendo de los materiales utilizados.

Se espera que el mercado mundial de CCM experimente un rápido crecimiento en los próximos años. Tuvo un valor de \$ 8,60 millones en 2017 y se espera que se triplique para 2026. El uso creciente por parte de varias industrias, como biosensores y tratamiento de aguas residuales, es una de las principales razones del crecimiento del mercado (Bose, 2020).

### Conclusiones

La resolución de este trabajo de investigación arrojó que todas las plantas utilizadas *Torenia fournieri*, *Kalachoe blossfeldiana*, *Pentas lanceolata*, *Nephrolepis exaltata*, *Begonia semperflorens*, *Asplenium nidus*, produjeron energía eléctrica durante el tiempo de operación, llegando a concluir que la hipótesis planteada se cumple.

La CCMP que tuvo la media más alta fue *Begonia Semperflorens*, con un valor de 0,607 V y la que menor tuvo la media en la medición fue la planta *Asplenium nidus* con 0,069 V, esta planta fue la más inestable y era la única con electrodos de grafitos. Al medir el voltaje, los picos más altos se presentaron en celdas con plantas de *Torenia fournieri* y *Asplenium nidus*, que arrojaron resultados de 1,782 V y 1,587 V respectivamente.

En los análisis de las tres muestras; suelo experimental, sustrato antes del experimento, sustrato después del experimento, los resultados microbiológicos identificaron seis bacterias electrogénicas las cuales fueron *Escherichia coli*, *Pseudomonas sp*, *Erwinia sp*, *Lactobacillus sp*, *Enterococcus sp*, *Clostridium sp*, cabe destacar que en la muestra de suelo después del experimento no se encontró la bacteria *Escherichia coli*, presente en las muestras del suelo experimental y sustrato antes del experimento.

Las bacterias electrogénicas que aumentaron la población durante la investigación fueron *Pseudomonas sp* y *Erwinia sp*, como se ve en los resultados de las muestras de suelos.

En cuanto a la nutrición de las plantas se recomienda el uso de ácidos húmicos y fúlvicos para mejorar la solubilidad de los nutrientes y lograr su mejor absorción por parte de ellas. Es conveniente proporcionar a los cultivos suficiente fertilizante balanceado en nutrientes durante sus fases de formación, desarrollo y floración, aplicando en las áreas de crecimiento activo de las raíces y en condiciones de suelo húmedo, se pueden emplear los siguientes fertilizantes Rafos:

Nitromag, Agrobacterin, en una cantidad de 5 gramos por cada planta aplicando cada 30 días.

Para el análisis del coeficiente de correlación de Pearson se evidenció una correlación positiva muy fuerte entre algunos nutrientes y bacterias los cuales se mencionan: *Escherichia coli*, *-Enterococcus sp*, *Escherichia coli*, *-Boro (Azometina-H)*, *Enterococcus sp*, *-Boro (Azometina-H)*, *Clostridium sp*, *-Materia Orgánica*, *Clostridium sp*, *-Carbono*, *Clostridium sp*, *-Nitrogeno*, *Erwinia sp*, *-Materia Orgánica*, *Erwinia sp*, *-Carbono*, *Erwinia sp*, *-Azufre (PVP)*.

La potencia de salida de la pila CCMP está restringida por las conexiones eléctricas, las aplicaciones prácticas requieren de diferentes configuraciones, esta es una señal de optimizar su rendimiento en combinación con condensadores electroquímicos.

Con el nuevo sistema de administración de energía (PMS) se logra incrementar el voltaje del sistema de recolección de energía (EHS) esto es de importancia para controlar el punto de operación de la CCMP y así solamente consumir una fracción de la energía.

El multiplicador de refuerzo de bajo voltaje (LVBM) que consta de un refuerzo de bajo voltaje auto oscilante y un circuito multiplicador de voltaje multietapa (VMC), acrecienta con éxito el voltaje y puede administrar la iluminación de lámparas LED, biosensores, carga de baterías de teléfonos móviles, etc.

A la postre, el estudio presentado contribuye a los tipos de sustratos utilizados en CCMP y las bacterias identificadas en el suelo que pueden ser utilizadas para generar energía eléctrica. Esto tiene como objetivo extender la afición de las CCMPs, emplearse en gran envergadura e integrarlo gradualmente como una tecnología viable y sostenible en la producción de energía eléctrica del país. Las CCMPs son una estrategia sostenible de bajo costo, viable, aporta al cumplimiento del ODS 7, y es una tecnología que puede ser reproducible en cualquier lugar de Colombia y el mundo.

### **Recomendaciones**

Una vez finalizada esta investigación, se propondrá para próximas exploraciones experimentales englobadas en el mismo tema de investigación aislar las bacterias electrogénicas encontradas en los suelos del Caribe colombiano y construir nuevas celdas de combustibles con cultivos puros, además de utilizar sistema de administración de energía (SAE), sistema de recolección de energía (SRE), multiplicador de refuerzo de bajo voltaje (MRBV) para crear prototipos que puedan alimentar aparatos electrónicos.

### Referencias

- Arca Electrónica*. (20). Retrieved November 18, 2022, from <http://arcaelectronica.blogspot.com/2017/>
- Abdel-Gelel, I. Y., Abdel-Mongy, M., Hamza, H. A., Abbas, R. N., & Abdelgelel, I. Y. (2021). *Bioelectricity Production from Different Types of Bacteria Using MFC Under Optimizing Factors and New Bacterial Strain Bioelectricity Production Isolated from Milk Sample in Egypt* (Vol. 25). <http://annalsofrscb.ro>
- Adeleye, S., & Okorundu, S. (2015). Bioelectricity from students' hostel waste water using microbial fuel cell. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(2), 1038. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v9i2.39>
- Ahn, Y., & Logan, B. E. (2010). Effectiveness of domestic wastewater treatment using microbial fuel cells at ambient and mesophilic temperatures. *Bioresource Technology*, 101(2), 469–475. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.039>
- Akbas, B., Kocaman, A. S., Nock, D., & Trotter, P. A. (2022). Rural electrification: An overview of optimization methods. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 156(October 2021). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111935>
- Al Bpapp, R. (n.d.). *Medida: Uso de microorganismos eficientes*.
- Alaraj, M., & Park, J. do. (2019a). Net power positive maximum power point tracking energy harvesting system for microbial fuel cell. *Journal of Power Sources*, 418, 225–232. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.02.042>
- Alaraj, M., & Park, J. do. (2019b). Net power positive maximum power point tracking energy harvesting system for microbial fuel cell. *Journal of Power Sources*, 418, 225–232. <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2019.02.042>

- Alberto Barreto Nieto, C., & Campo Robledo, J. (2012). *Relación a largo plazo entre consumo de energía y PIB en América Latina: Una evaluación empírica con datos panel.*
- Arbianti, R., Utami, T. S., Hermansyah, H., Novitasari, D., Kristin, E., & Trisnawati, I. (2013). Performance Optimization of Microbial Fuel Cell (MFC) Using *Lactobacillus bulgaricus*. *MAKARA Journal of Technology Series*, 17(1). <https://doi.org/10.7454/mst.v17i1.1925>
- Arduino UNO | *Arduino.cl* - Compra tu Arduino en Línea. (n.d.). Retrieved November 18, 2022, from <https://arduino.cl/arduino-uno/>
- Azri, Y. M., Tou, I., Sadi, M., & Benhabyles, L. (2018). Bioelectricity generation from three ornamental plants: *Chlorophytum comosum*, *Chasmanthe floribunda* and *Papyrus diffusus*. *International Journal of Green Energy*, 15(4), 254–263. <https://doi.org/10.1080/15435075.2018.1432487>
- Babu Arulmani, S. R., Jayaraj, V., & Jebakumar, S. R. D. (2016). Long-term electricity production from soil electrogenic bacteria and high-content screening of biofilm formation on the electrodes. *Journal of Soils and Sediments*, 16(3), 831–841. <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1287-z>
- Behera, M., Jana, P. S., & Ghangrekar, M. M. (2010). Performance evaluation of low cost microbial fuel cell fabricated using earthen pot with biotic and abiotic cathode. *Bioresource Technology*, 101(4), 1183–1189. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.089>
- Bilgili, M., Ozbek, A., Sahin, B., & Kahraman, A. (2015). An overview of renewable electric power capacity and progress in new technologies in the world. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 323–334. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.148>

- Benítez-Pina, I. F. (2022a). Diseño de un sistema de supervisión y control del centro de datos del Grupo Empresarial CUBANÍQUEL. *Latin American Developments in Energy Engineering*, 3(1), 1–24. <https://doi.org/10.17981/ladee.03.01.2022.1>.
- Benítez-Pina, I. F. (2022b). Sistema de uso doméstico para monitorear el consumo energético combinando el uso de las plataformas Arduino y Android. *Latin American Developments in Energy Engineering*, 3(1), 25–30. <https://doi.org/10.17981/ladee.03.01.2022.2>.
- Borah, D., & More, S. (2020). Construction of Double Chambered Microbial Fuel Cell (Mfc) Using Household Materials and Bacillus Megaterium Isolate From Tea Garden Soil. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 2020(vol. 10), 84–86.
- Bose P. (2020). *Desarrollos recientes en pilas de combustible microbianas (MFC)*. <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=1085>
- Caizán-Juanarena, L., Borsje, C., Sleutels, T., Yntema, D., Santoro, C., Ieropoulos, I., Soavi, F., & ter Heijne, A. (2020). Combination of bioelectrochemical systems and electrochemical capacitors: Principles, analysis and opportunities. In *Biotechnology Advances* (Vol. 39). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.107456>
- Carrasco J. Jorge, Antúnez B. Alejandro, & Lemus S. Gamalier. (2010). *EVITE PROBLEMAS: CONOZCA CÓMO ES EL SUELO ANTES DE ESTABLECER UN HUERTO FRUTAL*. 28–30.
- Chabert, N., Amin Ali, O., & Achouak, W. (2015). All ecosystems potentially host electrogenic bacteria. *Bioelectrochemistry*, 106, 88–96. <https://doi.org/10.1016/J.BIOELECHEM.2015.07.004>
- Chen, X. F., Wang, X. S., Liao, K. T., Zeng, L. Z., Xing, L. D., Zhou, X. W., Zheng, X. W., & Li, W. S. (2015). Improved power output by incorporating polyvinyl alcohol into the



- anode of a microbial fuel cell. *Journal of Materials Chemistry A*, 3(38), 19402–19409.  
<https://doi.org/10.1039/c5ta03318g>
- Claudia, V., Ramirez, J., & Angelino, D. (2022). The potential role of peace, justice, and strong institutions in Colombia's areas of limited statehood for energy diversification towards governance in energy democracy. *Energy Policy*, 168(June), 113135.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113135>
- de La Rosa, E. O., Castillo, J. V., Campos, M. C., Pool, G. R. B., Nuñez, G. B., Atoche, A. C., & Aguilar, J. O. (2019). Plant microbial fuel cells-based energy harvester system for self-powered IoT applications. *Sensors (Switzerland)*, 19(6).  
<https://doi.org/10.3390/S19061378>
- Deng, H., Chen, Z., & Zhao, F. (2012). Energy from Plants and Microorganisms: Progress in Plant–Microbial Fuel Cells. *ChemSusChem*, 5(6), 1006–1011.  
<https://doi.org/10.1002/CSSC.201100257>
- Dong, Y., Feng, Y., Qu, Y., Du, Y., Zhou, X., & Liu, J. (2015). A combined system of microbial fuel cell and intermittently aerated biological filter for energy self-sufficient wastewater treatment. *Scientific Reports*, 5(1), 18070. <https://doi.org/10.1038/srep18070>
- Energy Agency, I. (2020). *World Energy Outlook 2020*. [www.iea.org/weo](http://www.iea.org/weo)
- Esteve-Núñez, A. (2008). Bacterias productoras de electricidad. Del subsuelo a la pila de combustible. *Temas de Actualidad*, 45, 34–39. [www.genomatica.com](http://www.genomatica.com)
- Fan, L. P., & Feng, X. (2020). Q-Learning based maximum power point tracking control for microbial fuel cell. *International Journal of Electrochemical Science*, 15, 9917–9932.  
<https://doi.org/10.20964/2020.10.63>

- Fernie, A. R., Carrari, F., & Sweetlove, L. J. (2004). Respiratory metabolism: Glycolysis, the TCA cycle and mitochondrial electron transport. In *Current Opinion in Plant Biology* (Vol. 7, Issue 3, pp. 254–261). *Curr Opin Plant Biol*.  
<https://doi.org/10.1016/j.pbi.2004.03.007>
- Fertilab - Laboratorio de Análisis Agrícolas - Suelo, Agua, Planta*. (n.d.). Retrieved January 9, 2023, from <https://www.fertilab.com.mx/>
- Fragoso Altamirano, A. Y. (2020). México y su transición energética: un cambio en pro de la energía Renovable. *Latin American Developments in Energy Engineering*, 1(1), 26–42.  
<https://doi.org/10.17981/ladee.01.01.2020.3>.
- Ghangrekar, M. M., & Shinde, V. B. (2006). Microbial Fuel Cell : a New Approach of Wastewater Treatment With Power Generation. *Fuel Cells*, 283440(03222), 20–21.
- Goretti, M., Alejandra, D., Lluvia, A., & Soledad, M. (2017). Generación de Electricidad a Base de Fotosíntesis. *Ciencias Naturales y Agropecuarias*, 4(12).
- Gulamhussein, M., & Randall, D. G. (2020). Design and operation of plant microbial fuel cells using municipal sludge. *Journal of Water Process Engineering*, 38, 101653.  
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101653>
- Gunawardena, A., Fernando, S., & To, F. (2008). Performance of a Yeast-mediated Biological Fuel Cell. *Int. J. Mol. Sci*, 9, 1893–1907. <https://doi.org/10.3390/ijms9101893>
- Hernández, M., Aguado, L., & Duque, H. (2018). Índice De Pobreza Energética Multidimensional Por Regiones Para Colombia, Ipem\_Rc 2013. *Economía Coyuntural*, 3(3), 35–71.
- Higa, T., & Parr, J. F. (1994). *BENEFICIAL AND EFFECTIVE MICROORGANISMS for a SUSTAINABLE AGRICULTURE AND ENVIRONMENT*.

- Hubenova, Y., & Mitov, M. (2015). Extracellular electron transfer in yeast-based biofuel cells: A review. *Bioelectrochemistry*, *106*(Pt A), 177–185.  
<https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2015.04.001>
- Ieropoulos, I. A., Greenman, J., Melhuish, C., & Hart, J. (2005). Comparative study of three types of microbial fuel cell. *Enzyme and Microbial Technology*, *37*(2), 238–245.  
<https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2005.03.006>
- IES Río Caribe. (2016). La Fotosíntesis. *La Fotosíntesis*, 6.  
[http://mc142.uib.es:8080/rid=1Q4QJD886-1Y1YB11-3W7/T\\_205\\_Fotos\\_\\_ntesis.pdf](http://mc142.uib.es:8080/rid=1Q4QJD886-1Y1YB11-3W7/T_205_Fotos__ntesis.pdf)
- Jain, R., Tiwari, D. C., Sharma, S., & Mishra, P. (2015). Efficiency and stability of carbon cloth electrodes for electricity production from different types of waste water using dual chamber microbial fuel cell. *Journal of Scientific and Industrial Research*, *74*(5), 308–314.
- Jardine, O., Gough, J., Chothia, C., & Teichmann, S. A. (n.d.). *Comparison of the Small Molecule Metabolic Enzymes of Escherichia coli and Saccharomyces cerevisiae*.  
<https://doi.org/10.1101/gr.228002>
- Jiang, H., Halverson, L. J., & Dong, L. (2022). A miniaturized bioelectricity generation device using plant root exudates to feed electrogenic bacteria. *Sensors and Actuators A: Physical*, *342*(May), 113649. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2022.113649>
- Jiang, Y., Han, K., Chen, S., Wang, Y., & Zhang, Z. (2016). Characterization and expression analysis of Lc-Sox4 in large yellow croaker *Larimichthys crocea*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part - B: Biochemistry and Molecular Biology*, *196–197*, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2016.01.009>

- Jiménez Escamilla, M. G., Garibay Orijel, C., & Borja Salin, M. A. (2018). MODELO BIOQUÍMICAMENTE ESTRUCTURADO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANA. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2), 331–345.  
<https://doi.org/10.20937/RICA.2018.34.02.13>
- José, J., Rivera, R., & Arteta, A. L. (n.d.). *AVANCES Y DESAFÍOS DE COLOMBIA PARA EL ALCANCE DEL ODS-7 DE LA AGENDA 2030 DE LAS NACIONES UNIDAS* Asunción Lucía Rodríguez Vital Lainet María Nieto Ramos.  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.4758625>
- Jyoti Sarma, P., & Mohanty, K. (2022). A novel three-chamber modular PMFC with bentonite/flyash based clay membrane and oxygen reducing biocathode for long term sustainable bioelectricity generation. *Bioelectrochemistry*, 144, 107996.  
<https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2021.107996>
- Kalaichelvan, P. T. (2012). *Electricity generation from bacteria Staphylococcus aureus and Enterobacteriaceae bacterium using microbial fuel cell-an alternative source of energy and its use application.*
- Kim, G. T., Hyun, M. S., Chang, I. S., Kim, H. J., Park, H. S., Kim, B. H., Kim, S. D., Wimpenny, J. W. T., & Weightman, A. J. (2005). Dissimilatory Fe (III) reduction by an electrochemically active lactic acid bacterium phylogenetically related to *Enterococcus gallinarum* isolated from submerged soil. *Journal of Applied Microbiology*, 99(4), 978–987. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2004.02514.x>
- Kim, M., Li, S., Kong, D. S., Song, Y. E., Park, S. Y., Kim, H. il, Jae, J., Chung, I., & Kim, J. R. (2023a). Polydopamine/polypyrrole-modified graphite felt enhances biocompatibility for

electroactive bacteria and power density of microbial fuel cell. *Chemosphere*, 313.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137388>

Kim, M., Li, S., Kong, D. S., Song, Y. E., Park, S. Y., Kim, H. il, Jae, J., Chung, I., & Kim, J. R.

(2023b). Polydopamine/polypyrrole-modified graphite felt enhances biocompatibility for electroactive bacteria and power density of microbial fuel cell. *Chemosphere*, 313.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.137388>

Koffi, N. J., & Okabe, S. (2020). High voltage generation from wastewater by microbial fuel

cells equipped with a newly designed low voltage booster multiplier (LVBM). *Scientific Reports*, 10(1), 18985. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75916-7>

Koffi, N. J., & Okabe, S. (2022). High electrical energy harvesting performance of an integrated microbial fuel cell and low voltage booster-rectifier system treating domestic wastewater.

*Bioresource Technology*, 359. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127455>

Kuleshova, T. E., Ivanova, A. G., Galushko, A. S., Kruchinina, I. Y., Shilova, O. A., Udalova, O.

R., Zhestkov, A. S., Panova, G. G., & Gall, N. R. (2022). Influence of the electrode systems parameters on the electricity generation and the possibility of hydrogen

production in a plant-microbial fuel cell. *International Journal of Hydrogen Energy*, xxx, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.001>

Kumar, S. S., Kumar, V., Gnaneswar Gude, V., Malyan, S. K., & Pugazhendhi, A. (2020).

Alkalinity and salinity favor bioelectricity generation potential of *Clostridium*,

*Tetrathlobacter* and *Desulfovibrio* consortium in Microbial Fuel Cells (MFC) treating sulfate-laden wastewater. *Bioresource Technology*, 306, 123110.

<https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2020.123110>

- Kumar, S. S., Malyan, S. K., Basu, S., & Bishnoi, N. R. (2017). Syntrophic association and performance of *Clostridium*, *Desulfovibrio*, *Aeromonas* and *Tetrathiodibacter* as anodic biocatalysts for bioelectricity generation in dual chamber microbial fuel cell. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(19), 16019–16030. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9112-4>
- Li, M., Zhou, M., Tian, X., Tan, C., Mcdaniel, C. T., Hassett, D. J., & Gu, T. (2018). *Microbial fuel cell (MFC) power performance improvement through enhanced microbial electrogenicity*. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.04.010>
- Li, Y., Li, X., Sun, Y., Zhao, X., & Li, Y. (2018). Cathodic microbial community adaptation to the removal of chlorinated herbicide in soil microbial fuel cells. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(17), 16900–16912. <https://doi.org/10.1007/S11356-018-1871-Z>
- Logan, B. E., Hamelers, B., Rozendal, R., Schröder, U., Keller, J., Freguia, S., Aelterman, P., Verstraete, W., & Rabaey, K. (2006). Microbial fuel cells: Methodology and technology. In *Environmental Science and Technology* (Vol. 40, Issue 17, pp. 5181–5192). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/es0605016>
- Logan, B. E., Murano, C., Scott, K., Gray, N. D., & Head, I. M. (2005). Electricity generation from cysteine in a microbial fuel cell. *Water Research*, 39(5), 942–952. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.11.019>
- López-Hincapié, J. D., Picos-Benítez, A. R., Cercado, B., Rodríguez, F., & Rodríguez-García, A. (2020). Improving the configuration and architecture of a small-scale air-cathode single chamber microbial fuel cell (MFC) for biosensing organic matter in wastewater samples.

- Journal of Water Process Engineering*, 38, 101671.  
<https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101671>
- Lovley, D. R. (2006a). Bug juice: Harvesting electricity with microorganisms. In *Nature Reviews Microbiology* (Vol. 4, Issue 7, pp. 497–508). Nature Publishing Group.  
<https://doi.org/10.1038/nrmicro1442>
- Lovley, D. R. (2006b). Microbial fuel cells: novel microbial physiologies and engineering approaches. In *Current Opinion in Biotechnology* (Vol. 17, Issue 3, pp. 327–332). Elsevier Current Trends. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2006.04.006>
- Lu, Z., Yin, D., Chen, P., Wang, H., Yang, Y., Huang, G., Cai, L., & Zhang, L. (2020). Power-generating trees: Direct bioelectricity production from plants with microbial fuel cells. *Applied Energy*, 268, 115040. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115040>
- Mardiana, U., Innocent, C., Cretin, M., Buchari, B., & Gandasasmita, S. (2016). Yeast fuel cell: Application for desalination. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 107(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/107/1/012049>
- Mardiana, U., Innocent, C., Jarrar, H., Cretin, M., Buchari, & Gandasasmita, S. (2015). Electropolymerized neutral red as redox mediator for yeast fuel cell. *International Journal of Electrochemical Science*, 10(11), 8886–8898.
- Masih, S. A., & Zimik, M. (2012). Optimization of power generation in a dual chambered aerated membrane microbial fuel cell with E. coli as biocatalyst “Genomics assisted tagging of restorer-of-male-fertility (Ms) locus for hybrid development in short day Indian onion (*Allium cepa* L.)” View project. In *Article in Journal of Scientific and Industrial Research*. <https://www.researchgate.net/publication/334612978>

- Mastropietro, P., Rodilla, P., Rangel, L. E., & Batlle, C. (2020). Reforming the colombian electricity market for an efficient integration of renewables: A proposal. *Energy Policy*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111346>
- Mateo, S., Cantone, A., Cañizares, P., Fernández-Morales, F. J., Scialdone, O., & Rodrigo, M. A. (2018). Development of a module of stacks of air-breathing microbial fuel cells to light-up a strip of LEDs. *Electrochimica Acta*, 274, 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2018.04.095>
- Menezes, H. (n.d.). *Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável e as Relações Internacionais* Cite this paper.
- Merle, G., Wessling, M., & Nijmeijer, K. (2011). Anion exchange membranes for alkaline fuel cells: A review. In *Journal of Membrane Science* (Vol. 377, Issues 1–2, pp. 1–35). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2011.04.043>
- Mohyudin, S., Farooq, R., Jubeen, F., Rasheed, T., Fatima, M., & Sher, F. (2022). Microbial fuel cells a state-of-the-art technology for wastewater treatment and bioelectricity generation. *Environmental Research*, 204. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112387>
- Moradian, J. M., Fang, Z., & Yong, Y.-C. (2021). Recent advances on biomass-fueled microbial fuel cell. *Bioresour. Bioprocess*, 8, 14. <https://doi.org/10.1186/s40643-021-00365-7>
- Motta Escobar, S., Salazar Cabezas, L. D., & Sánchez Leal, L. C. (2022). Perspectiva del uso de *Pseudomonas* spp. como biocontrol de fitopatógenos en cultivos de hortalizas en Colombia: una revisión sistemática. *Revista Mutis*, 12(2). <https://doi.org/10.21789/22561498.1862>
- Nguyen, H. T. H., & Min, B. (2020). Using multiple carbon brush cathode in a novel tubular photosynthetic microbial fuel cell for enhancing bioenergy generation and advanced



- wastewater treatment. *Bioresource Technology*, 316, 123928.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123928>
- Niessen, J., Schröder, U., & Scholz, F. (2004). Exploiting complex carbohydrates for microbial electricity generation - A bacterial fuel cell operating on starch. *Electrochemistry Communications*, 6(9), 955–958. <https://doi.org/10.1016/j.elecom.2004.07.010>
- Oro, P. D. el. (2021). *Jorge Luis Lecaro-Zambrano*. 6(12), 670–685.  
<https://doi.org/10.23857/pc.v6i12.3397>
- Osorio-De-La-Rosa, E., Vazquez-Castillo, J., Castillo-Atoche, A., Heredia-Lozano, J., Castillo-Atoche, A., Becerra-Nunez, G., & Barbosa, R. (2021). Arrays of Plant Microbial Fuel Cells for Implementing Self-Sustainable Wireless Sensor Networks. *IEEE Sensors Journal*, 21(2), 1965–1974. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3019986>
- Ozkaya, B., Akoglu, B., Karadag, D., Acı, G., Taskan, E., & Hasar, H. (2012). Bioelectricity production using a new electrode in a microbial fuel cell. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 35(7), 1219–1227. <https://doi.org/10.1007/s00449-012-0709-1>
- Park, H. S., Kim, B. H., Kim, H. S., Kim, H. J., Kim, G. T., Kim, M., Chang, I. S., Park, Y. K., & Chang, H. I. (2001). A Novel Electrochemically Active and Fe (III)-reducing Bacterium Phylogenetically Related to *Clostridium butyricum* Isolated from a Microbial Fuel Cell. *Anaerobe*, 7(6), 297–306. <https://doi.org/10.1006/ANAE.2001.0399>
- Pereira-Blanco M. J. y Turizo-Pereira, L. A. (2020). Medidas para la implementación del uso racional y eficiente de la energía. Caso de las energías renovables en Colombia: Estado del Arte, avances y retos. *Revista Jurídica*, 17, 43–72.

- Perez, A., & Garcia-Rendon, J. J. (2021). Integration of non-conventional renewable energy and spot price of electricity: A counterfactual analysis for Colombia. *Renewable Energy*, 167, 146–161. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.067>
- Peter H. Raven, Ray Franklin Evert, S. E. E. (1992). *Biología de las plantas*. Bogotá.  
[https://books.google.com.co/books?id=xvNd3udrh1YC&pg=PA521&dq=Componentes+para+la+Transferencia+de+Electrones&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwixpdj4wLfvAhXIsIkKHbO\\_D9IQ6AEwAHoECAAQA#v=onepage&q=Componentes+para+la+Transferencia+de+Electrones&f=false](https://books.google.com.co/books?id=xvNd3udrh1YC&pg=PA521&dq=Componentes+para+la+Transferencia+de+Electrones&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwixpdj4wLfvAhXIsIkKHbO_D9IQ6AEwAHoECAAQA#v=onepage&q=Componentes+para+la+Transferencia+de+Electrones&f=false)
- Petrovič, U. (2015). Next-generation biofuels: A new challenge for yeast. *Yeast*, 32(9), 583–593. <https://doi.org/10.1002/yea.3082>
- Piyare, R., Murphy, A. L., Tosato, P., & Brunelli, D. (2017). Plug into a Plant: Using a Plant Microbial Fuel Cell and a Wake-Up Radio for an Energy Neutral Sensing System. *Proceedings - 2017 IEEE 42nd Conference on Local Computer Networks Workshops, LCN Workshops 2017*, 18–25. <https://doi.org/10.1109/LCN.Workshops.2017.60>
- Pokorna, D., & Zabranska, J. (2015). Sulfur-oxidizing bacteria in environmental technology. In *Biotechnology Advances* (Vol. 33, Issue 6, pp. 1246–1259). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.02.007>
- Potter, M. C. (1911a). Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 84(571), 260–276. <https://doi.org/10.1098/rspb.1911.0073>
- Potter, M. C. (1911b). Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Containing Papers of a Biological Character*, 84(571), 260–276. <https://doi.org/10.1098/rspb.1911.0073>

- Prasad, J., & Tripathi, R. K. (2019). Energy harvesting from sediment microbial fuel cell to supply uninterruptible regulated power for small devices. *International Journal of Energy Research*, 43(7), 2821–2831. <https://doi.org/10.1002/ER.4370>
- Prasad, J., & Tripathi, R. K. (2020). Voltage control of sediment microbial fuel cell to power the AC load. *Journal of Power Sources*, 450. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.227721>
- Prasad, J., & Tripathi, R. K. (2021). Scale-up and control the voltage of sediment microbial fuel cell for charging a cell phone. *Biosensors and Bioelectronics*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2020.112767>
- Prathiba, S., Kumar, P. S., & Vo, D. V. N. (2022). Recent advancements in microbial fuel cells: A review on its electron transfer mechanisms, microbial community, types of substrates and design for bio-electrochemical treatment. *Chemosphere*, 286(P3), 131856. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.131856>
- Programa Naciones Unidas para el desarrollo. (2019). Objetivo 7: Energía asequible y No contaminante | PNUD. In *Objetivos del desarrollo sostenible*. <https://www1.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-7-affordable-and-clean-energy.html>
- Rabaey, K., Lissens, G., Siciliano, S. D., & Verstraete, W. (2003). A microbial fuel cell capable of converting glucose to electricity at high rate and efficiency. *Biotechnology Letters*, 25(18), 1531–1535. <https://doi.org/10.1023/A:1025484009367>
- Rabaey, K., & Verstraete, W. (2005). Microbial fuel cells: Novel biotechnology for energy generation. In *Trends in Biotechnology* (Vol. 23, Issue 6, pp. 291–298). Elsevier Current Trends. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2005.04.008>

- Rahimnejad, M., Bakeri, G., Najafpour, G., Ghasemi, M., & Oh, S. E. (2014). A review on the effect of proton exchange membranes in microbial fuel cells. In *Biofuel Research Journal* (Vol. 1, Issue 1, pp. 7–15). Green Wave Publishing of Canada.  
<https://doi.org/10.18331/BRJ2015.1.1.4>
- Raj, B.S, Solomon, R.D, Solomon, J., Prathipa. R, & Kumar.M, A. (2013). Production of Electricity From Agricultural Soil and Dye Industrial Effluent Soil Using Microbial Fuel Cell. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 02(10), 140–148.  
<https://doi.org/10.15623/ijret.2013.0210019>
- Ramirez, J., Angelino Velázquez, D., & Vélez-Zapata, C. (2022). The potential role of peace, justice, and strong institutions in Colombia's areas of limited statehood for energy diversification towards governance in energy democracy. *Energy Policy*, 168, 113135.  
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.113135>
- Reddy, L., Kumar, S. P., & Wee, Y. (2010). Microbial Fuel Cells (MFCs) - a novel source of energy for new millennium. *Undefined*.
- Ritika, B., & Utpal, D. (2014). Biofertilizer, a way towards organic agriculture: A review. *African Journal of Microbiology Research*, 8(24), 2332–2343.  
<https://doi.org/10.5897/ajmr2013.6374>
- Rojas Flores, S., Aburto Custodio, A., Espilco Soriano, N., Minchola Gallardo, J., Rodríguez Yupanqui, M., Fernando Ugaz, O., & Mendoza Villanueva, K. (2018). Electricidad a partir de plantas vivas. *REVISTA CIENTIFI-K*, 6(1). <https://doi.org/10.18050/cientifi-k.v6n1a4.2018>
- Rudra, R., Kumar, V., & Kundu, P. P. (2015). Acid catalysed cross-linking of poly vinyl alcohol (PVA) by glutaraldehyde: effect of crosslink density on the characteristics of PVA

- membranes used in single chambered microbial fuel cells. *RSC Advances*, 5(101), 83436–83447. <https://doi.org/10.1039/c5ra16068e>
- Rusyn, I. (2021). Role of microbial community and plant species in performance of plant microbial fuel cells. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 152). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111697>
- Sampieri Roberto Hernández. (n.d.). *Metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.Sampieri et al.*
- Sánchez R., & Guerra P. (2022). *Pseudomonas spp. benéficas en la agricultura*. 715–725.
- Santoro, C., Arbizzani, C., Erable, B., & Ieropoulos, I. (2017). Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review. *Journal of Power Sources*, 356, 225–244. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.03.109>
- Santos, A. M., Martín-Sastre, C., & González-Arechavala, Y. (2014). Uso y aplicaciones potenciales de las microalgas. *Anales de Mecanica y Electricidad*, 91(1), 20–28.
- Sarma, P. J., & Mohanty, K. (2019). An insight into plant microbial fuel cells. In *Bioelectrochemical Interface Engineering* (pp. 137–148). wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119611103.ch8>
- Sayed, E. T., Barakat, N. A. M., Abdelkareem, M. A., Fouad, H., & Nakagawa, N. (2015). Yeast extract as an effective and safe mediator for the baker's-yeast-based microbial fuel cell. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 54(12), 3116–3122. <https://doi.org/10.1021/ie5042325>
- Schiffer, H.-W., Kober, T., & Panos, E. (2018). World Energy Council's Global Energy Scenarios to 2060. *Zeitschrift Für Energiewirtschaft*, 42(2), 91–102. <https://doi.org/10.1007/s12398-018-0225-3>

- Shaikh, R., Rizvi, A., Quraishi, M., Pandit, S., Mathuriya, A. S., Gupta, P. K., Singh, J., & Prasad, R. (2021). Bioelectricity production using plant-microbial fuel cell: Present state of art. *South African Journal of Botany*, *140*, 393–408.  
<https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.09.025>
- Shi, R., Li, J., Jiang, J., Mehmood, K., Liu, Y., Xu, R., & Qian, W. (2017). Characteristics of biomass ashes from different materials and their ameliorative effects on acid soils. *Journal of Environmental Sciences (China)*, *55*, 294–302.  
<https://doi.org/10.1016/j.jes.2016.07.015>
- Shyu, C.-W. (2021). A framework for ‘right to energy’ to meet UN SDG7: Policy implications to meet basic human energy needs, eradicate energy poverty, enhance energy justice, and uphold energy democracy.’ *Energy Research & Social Science*, *79*(July), 102199.  
<https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102199>
- Srivastava, R. K., Boddula, R., & Pothu, R. (2022). Microbial fuel cells: Technologically advanced devices and approach for sustainable/renewable energy development. *Energy Conversion and Management: X*, *13*. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2021.100160>
- Sulistiyawati, I., Laila Rahayu, N., & Septiana Purwitaningrum, F. (2020). *Produksi Biolistrik menggunakan Microbial Fuel Cell (MFC) Lactobacillus bulgaricus dengan Substrat Limbah Tempe dan Tahu*. <https://doi.org/10.20884/1.mib.2020.37.2.1147>
- Tang, L., Su, C., Chen, Y., Xian, Y., Hui, X., Ye, Z., Chen, M., Zhu, F., & Zhong, H. (2021). Influence of biodegradable polybutylene succinate and non-biodegradable polyvinyl chloride microplastics on anammox sludge: Performance evaluation, suppression effect and metagenomic analysis. *Journal of Hazardous Materials*, *401*(May 2020), 123337.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123337>

- Tapia, N. F., Rojas, C., Bonilla, C. A., & Vargas, I. T. (2018). A new method for sensing soil water content in green roofs using plant microbial fuel cells. *Sensors (Switzerland)*, *18*(1), 1–9. <https://doi.org/10.3390/s18010071>
- Taşkan, B. (2020). Increased power generation from a new sandwich-type microbial fuel cell (ST-MFC) with a membrane-aerated cathode. *Biomass and Bioenergy*, *142*, 105781. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105781>
- Thapa, B. sen, Kim, T., Pandit, S., Song, Y. E., Afsharian, Y. P., Rahimnejad, M., Kim, J. R., & Oh, S. E. (2022). Overview of electroactive microorganisms and electron transfer mechanisms in microbial electrochemistry. *Bioresource Technology*, *347*(December 2021), 126579. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126579>
- The next generation of microbial fuel cells | EVOBLISS Project | Results in brief | FP7 | CORDIS | European Commission.* (2018). <https://cordis.europa.eu/article/id/241030-the-next-generation-of-microbial-fuel-cells>
- Tommasi, T., & Lombardelli, G. (2017). *Energy sustainability of Microbial Fuel Cell (MFC): A case study.* <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2017.03.122>
- Tyagi, A., Dwivedi, S. P., Mishra, S., & Srivastav, A. (2012). Studies on the optimization of bioelectricity production from industrial and domestic waste using immobilization of microbial cells. *ISABB Journal of Biotechnology and Bioinformatics*, *2*(2), 18–25. <https://doi.org/10.5897/ISAAB-JBB11.019>
- Unidad de Planeación Minero-Energética UPME. (2021). *UPME\_Proyeccion\_Demanda\_Energia\_Junio\_2021.*
- Unidas, N. (2022). *Temas estadísticos de la CEPAL No 5. La energía de América Latina y el Caribe: acceso renovabilidad y eficiencia.*

- UPME. (2015). Plan Energetico Nacional Colombia: Ideario Energético 2050. *Unidad de Planeación Minero-Energética, Republica de Colombia*, 184.  
[http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN\\_IdearioEnergetico2050.pdf](http://www.upme.gov.co/Docs/PEN/PEN_IdearioEnergetico2050.pdf)
- Vaghari, H., Jafarizadeh-Malmiri, H., Berenjian, A., & Anarjan, N. (2013). Recent advances in application of chitosan in fuel cells. *Sustainable Chemical Processes*, 1(1).  
<https://doi.org/10.1186/2043-7129-1-16>
- Van Limbergen, T., Bonn e, R., Hustings, J., Valcke, R., Thijs, S., Vangronsveld, J., & Manca, J. v. (2022). Plant microbial fuel cells from the perspective of photovoltaics: Efficiency, power, and applications. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 169). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112953>
- Veerubhotla, R., Nag, S., & Das, D. (2019). Internet of Things temperature sensor powered by bacterial fuel cells on paper. *Journal of Power Sources*, 438.  
<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.226947>
- Vilas Boas, J., Oliveira, V. B., Marcon, L. R. C., Pinto, D. P., Sim oes, M., & Pinto, A. M. F. R. (2015). Effect of operating and design parameters on the performance of a microbial fuel cell with *Lactobacillus pentosus*. *Biochemical Engineering Journal*, 104, 34–40.  
<https://doi.org/10.1016/j.bej.2015.05.009>
- Vilas Boas, J., Oliveira, V. B., Marcon, L. R. C., Sim oes, M., & Pinto, A. M. F. R. (2019). Optimization of a single chamber microbial fuel cell using *Lactobacillus pentosus*: Influence of design and operating parameters. *Science of The Total Environment*, 648, 263–270. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.08.061>



- Viteri, J. P., Henao, F., Cherni, J., & Dyner, I. (2019). Optimizing the insertion of renewable energy in the off-grid regions of Colombia. *Journal of Cleaner Production*, 235, 535–548. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2019.06.327>
- Wang, C.-T., Chen, W.-J., & Huang, R.-Y. (2010). Influence of growth curve phase on electricity performance of microbial fuel cell by *Escherichia coli*. *International Journal of Hydrogen Energy*, 35(13), 7217–7223. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2010.01.038>
- Widharyanti, I. D., Hendrawan, M. A., & Christwardana, M. (2020). Membraneless plant microbial fuel cell using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) for green energy generation and biomass production. *International Journal of Renewable Energy Development*, 10(1), 71–78. <https://doi.org/10.14710/ijred.2021.32403>
- World Organization for Animal Health [OIE]. (2010). *E. Coli enterohemorrágica*.
- Yadav, G., Sharma, I., Ghangrekar, M., & Sen, R. (2020). A live bio-cathode to enhance power output steered by bacteria-microalgae synergistic metabolism in microbial fuel cell. *Journal of Power Sources*, 449(October 2019), 227560. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2019.227560>
- Yee, M. O., Deutzmann, J., & Spormann, A. (2020). *Cultivating electroactive microbes — from field to bench*.
- Zhang, T., Cui, C., Chen, S., Ai, X., Yang, H., Shen, P., & Peng, Z. (2006). A novel mediatorless microbial fuel cell based on direct biocatalysis of *Escherichia coli*. *Chemical Communications*, 21, 2257–2259. <https://doi.org/10.1039/b600876c>
- Zhong, H., Liu, X., Tian, Y., Zhang, Y., & Liu, C. (2021). Biological power generation and earthworm assisted sludge treatment wetland to remove organic matter in sludge and

synchronous power generation. *Science of the Total Environment*, 776.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145909>



## Anexo 2

24/12/22, 9:02

Instructivo Toma de Muestras para realizar análisis de suelos | Laboratorio de suelos GanaCampo



## INSTRUCTIVO TOMA DE MUESTRAS PARA REALIZAR ANÁLISIS DE SUELOS

[Inicio \(inicio\) / Servicios](#)

(fotospages/mac\_instructivo\_toma\_de\_muestras\_para\_realizar\_analisis\_de\_suelos\_1574300378.jpg)

Instrucciones para tomar una muestra de suelos para la realización de un análisis de suelos:

1. Utilice las herramientas adecuadas y limpias para tomar la muestra del suelo
2. Raspe bien la superficie del suelo donde tomará la muestra del suelo.
3. Cave un hueco del ancho de la pala a 25 cm de profundidad.
4. Saque una taja del hueco.
5. Elimine los bordes.
6. Repite los pasos del 3 al 6 en zig zag en el lote a analizar.
7. Guarde un kilo de muestra en una bolsa limpia
8. Llene una hoja con todos los datos de la muestra.

Lleve la muestra o envíela por correo al laboratorio de suelos GanaCampo.



<https://www.ganacampo.com/servicios/instructivo-toma-de-muestras-para-realizar-analisis-de-suelos>

1/4

24/12/22, 9:02

Instructivo Toma de Muestras para realizar análisis de suelos | Laboratorio de suelos GanaCampo

(<https://api.whatsapp.com/send?phone=573158740887&text=Hola quisiera mayor información...>)



## ¿CÓMO TOMAR UNA BUENA MUESTRA PARA ANÁLISIS DE SUELO?

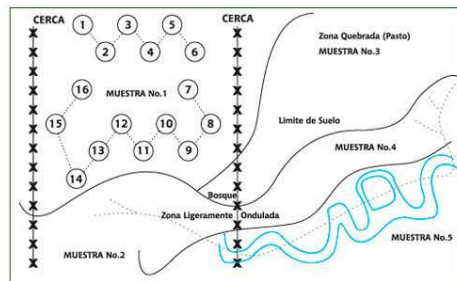
Lo más importante es tomar una buena muestra representativa. Para lograr esto usted deberá seguir los siguientes pasos:

### 01 DIBUJE UN MAPA DE LA FINCA CON SUS LOTES, ELABORADO A MANO, PARA UNA MEJOR ORIENTACIÓN EN EL MUESTREO.

Incluya en este dibujo:

- Construcciones
- Carreteras y caminos
- Quebradas y camino
- Quebradas y ríos
- Cercas que delimitan potreros o cultivos

Realice una división de los lotes teniendo en cuenta diferentes características como color, erosión, topografía, producción, drenaje, textura, tratamiento agrícola, etc.



### 02 UTILICE HERRAMIENTAS

### 05 SAQUE UNA TAJA

Con la misma pala saque una taja del hueco de 2 a 3 cm.



### 06 TOME UNA FAJA

Con el machete, elimine los bordes de la taja, la porción sobrante colóquela en el balde (3 a 5 cm de ancho).



### 07 RECORDAR PASOS DEL 3 AL 6

Repita los pasos desde el 3 al 6 teniendo en cuenta un recorrido en "zig-zag" o en "X" como se muestra en el paso 1 (muestra 1), adicionando las submuestras en un balde para posteriormente revolverlos muy bien dentro del balde.

Para un lote entre 5 y 10 hectáreas hacerlo en 15 lugares diferentes.

### 08 REVOLVER

Revuelva muy bien el balde todas las submuestras, quiebren los terrones y sólo coja aproximadamente 1 kilogramo y guarde en bolsas plásticas (deseche el sobrante).

### 09 INDIQUE LA MUESTRA LLENANDO LA HOJA DE INFORMACIÓN CON



24/12/22, 9:02 Instructivo Toma de Muestras para realizar análisis de suelos | Laboratorio de suelos GanaCampo  
 (https://api.whatsapp.com/send?phone=573158740887&text=Hola quisiera mayor información...)

- ¡ADECUADAS!**
- Azadón o pala (para limpiar la superficie).
  - Pala recta (para abrir el hoyo).
  - Machete o cuchillo (cortar tajada del suelo).
  - Balde limpio (muestras submuestras).
  - Guantes.
  - Bolsa plástica sin usar (almacenar muestra).
  - Hojas de información.



- ¡ADECUADOS!** LOS SIGUIENTES DATOS:
- Nombre de la finca.
  - Nombre del propietario.
  - Localización.
  - Número del Lote.
  - Topografía.
  - Cultivo
  - Hectáreas.

**GANACAMPO ANÁLISIS DE SUELOS EN 15 DÍAS HÁBILES**



¡Solicita tu análisis ya!  
 (contacto)

**RASPE LA SUPERFICIE**

Con la pala o el azadón, raspe bien la superficie del suelo donde va a tomar la muestra (aproximadamente 1 cm).

**OBSERVACIONES**

No tome muestra de los siguientes lugares: corrales, donde haya cenizas, caminos y carreteras, junto a cercas, bandas de fertilizantes, canales, donde existan residuos de paja o quemas.

Las muestras deben tomarse dos (2) meses antes de la preparación del terreno, de esta forma se obtiene la información con tiempo suficiente para adquirir los fertilizantes y hacer las aplicaciones oportunamente. En cultivos perennes, un (1) mes antes de la cosecha. En pastos ya establecidos, después del corte o en época de pastoreo.

**ATENCIÓN PERSONALIZADA PARA LOS AGRICULTORES COLOMBIANOS**

Cra. 33 #30a-49 Bucaramanga Santander Piso 2 [En Frente del Hospital Universitario de Santander]

+57 7 (tel:037)

+57 3158740887 (tel:573158740887)

contactenos@ganacampo.com (mailto:contactenos@ganacampo.com)

**SÍGUENOS EN FACEBOOK Y EN INSTAGRAM**

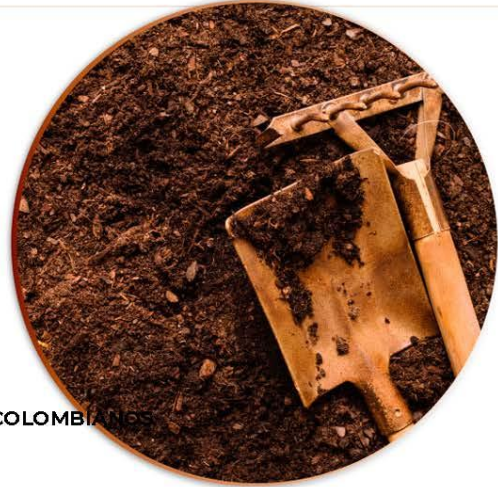
Haga un hueco del ancho de la pala y de una profundidad de 25 cm aproximadamente.



Seguir página  **UNIVERSIDAD**  **Asesorías**  **Compartir**

**SERVICIOS EXCLUSIVOS PARA LOS AGRICULTORES COLOMBIANOS**

- ▶ Análisis de suelos (servicios/analisis-de-suelos-en-15-dias-habiles)
- ▶ Análisis de tejidos vegetales (servicios/analisis-foliares-o-de-tejidos-vegetales-en-15-dias-habiles)
- ▶ Recomendación de abonado (servicios/recomendacion-de-abonado-con-su-analisis-de-suelo-completo)
- ▶ Instructivo toma de muestras (servicios/instructivo-toma-de-muestras-para-realizar-analisis-de-suelos)
- ▶ Solicitud de análisis (servicios/solicitud-de-analisis)





**ANEXO DE COTIZACIONES**

Anexo del FAD-19 Versión 1

**CONDICIONES TÉCNICAS Y COMERCIALES**

1. Al aprobar esta cotización, favor enviar carta remisoría, orden de compra u orden de servicio. Citar el No. de la cotización.
2. La aceptación de esta oferta implica que el cliente conoce y está de acuerdo con las observaciones y condiciones aquí descritas.
3. Al momento de enviar o traer la muestra al laboratorio debe indicar un correo electrónico donde se enviarán los resultados en formato digital. En caso de requerirlos de forma física debe comunicarlo oportunamente.
4. En caso de requerir alguna modificación a esta cotización deberá solicitarla a través del correo [stella@drcalderonlabs.com](mailto:stella@drcalderonlabs.com)
5. El laboratorio no se hace responsable del muestreo y embalaje de las muestras, esto es responsabilidad del cliente. Se le suministrará información cuando este lo requiera.
6. Cuando el laboratorio realice el muestreo, el laboratorio asumirá la responsabilidad en cuanto a los procedimientos establecidos para realizar el muestreo.
7. Si el cliente lo requiere, el laboratorio suministrará los empaques para las muestras de suelo.
8. Si el cliente lo requiere, el laboratorio suministrará los instructivos para la toma de muestras según la matriz a analizar.
9. Favor diligenciar el formato FCA -34 "Cadena de custodia", si tiene alguna duda acerca de su diligenciamiento favor comunicarse con el laboratorio.
10. Todas las muestras de agua deben remitirse al laboratorio en un envase plástico debidamente sellado y rotulado, donde se identifique: Fecha de muestreo, uso del agua, fuente, municipio, finca, responsable del muestreo y otros datos que usted considere necesarios.
11. Las muestras de agua para consumo humano (análisis fisicoquímico) deben remitirse al laboratorio refrigeradas entre 2 a 6 °C y en un tiempo menor a 24 horas después de realizado el muestreo; en caso de no cumplir con las condiciones anteriores se debe comunicar con el laboratorio.
12. Las muestras de aguas para análisis de potabilidad, SST, DQO, DBO5 y parámetros microbiológicos deben remitirse al laboratorio refrigeradas (2 a 6 °C) y en un tiempo menor a 9 horas después de realizado el muestreo; en caso de no cumplir con las condiciones anteriores se debe comunicar con el laboratorio.
13. Las muestras de suelo deben remitirse al laboratorio en una bolsa plástica o en la bolsa suministrada por el laboratorio, debidamente sellada y rotulada donde se identifique: Fecha de muestreo, tipo de cultivo, variedad del cultivo, edad del cultivo, municipio, finca, lote, densidad de siembra y otros datos que se consideren necesarios.
14. Las muestras de material vegetal deben remitirse al laboratorio en bolsas de papel, debidamente selladas y rotuladas, donde se identifique: Fecha de muestreo, tipo de cultivo, variedad del cultivo, edad del cultivo, municipio, finca, lote, densidad de siembra y otros datos que se consideren necesarios.
15. Las muestras para análisis de control de calidad (abonos orgánicos, fertilizantes líquidos, fertilizantes sólidos, plaguicidas, materias primas, coadyuvantes entre otras) deberán remitirse al laboratorio en el empaque que el cliente considere, siempre asegurando que se encuentre debidamente sellado y rotulado donde se identifique: Fecha de muestreo, producto o material, municipio o país, identificación y otros datos que se consideren necesarios.
16. Las muestras para análisis microbiológico deben remitirse al laboratorio refrigeradas (4 a 10 °C) y en un tiempo menor de 12 horas o de acuerdo a lo indicado en el FAD-15 Tiempo de análisis, retención, almacenamiento y recepción de muestras, deben venir debidamente selladas garantizando la integridad de la muestra y rotuladas donde se identifique: Fecha del muestreo, producto o material, municipio o país, identificación, finca y otros datos que se consideren necesarios; en caso de no cumplir con las condiciones anteriores se debe comunicar con el laboratorio.
17. Cuando el cliente así lo requiera, se le prestará orientación en cuanto a las referencias de los análisis.
18. En caso de que el cliente requiera condiciones adicionales de almacenamiento y/o conservación, manipulación y disposición final de la muestra debe informarle a la persona encargada de la recepción de muestras para que quede consignado en el formato de solicitud de ensayo.
19. Cuando la muestra presente anomalías o no cumplan con las condiciones de recepción, se solicitará al cliente instrucciones adicionales antes de proceder.
20. **Quejas:** recuerde que a partir de la fecha de reporte usted dispone de los siguientes días calendario para realizar cualquier reclamación, pasado este tiempo se desechará la contramuestra y deberá asumir el costo en caso de repetición: microbiología – fitopatología y aguas: 5 días; control de calidad: 10 días hábiles; suelos, físicos, material vegetal y bromatología: 30 días.
21. Todas las quejas serán tratadas conforme a lo establecido en la compañía y se notificará en un plazo no mayor a (10) diez días hábiles acusando el recibido de la queja y se generarán las comunicaciones pertinentes al estado, progreso y resultados del tratamiento.
22. Siempre que sea posible el laboratorio notificará el cierre de la queja a quien la reporta notificando formalmente el cierre de la queja.
23. Si tiene alguna queja puede enviar un correo electrónico a la dirección [gestiondecualidad@drcalderonlabs.com](mailto:gestiondecualidad@drcalderonlabs.com) o en nuestras líneas de atención.
24. **Declaración de conformidad:** Se aplica la declaración de conformidad cuando el cliente la solicite diligenciando el formato FCA-113 "Declaración de conformidad y regla de decisión", el cliente debe definir bajo cual especificación o norma se realiza dicha declaración.



25. **Confidencialidad:** El laboratorio informara al cliente con antelación acerca de la información que pretende poner al alcance del público, Excepto por la información que el cliente pone a disposición del público o cuando lo acuerdan el laboratorio y el cliente (por ejemplo con el propósito de responder una queja), toda otra información se considera propiedad del cliente y es confidencial.
26. Mediante la contratación de nuestros servicios, garantizamos a nuestros clientes la confidencialidad, imparcialidad y protección de la información suministrada, manteniendo el control de los registros y en caso de ser necesario la aplicación de cláusulas de confidencialidad existentes en los contratos del personal.
27. Cuando el laboratorio sea requerido por ley o autorizado por las disposiciones contractuales, para revelar información confidencial, se notificará al cliente o a la persona interesada la información proporcionada, salvo que esté prohibido por la ley.
28. La información acerca del cliente, obtenida de fuentes diferentes del cliente (por ejemplo, una persona que presenta una queja, los organismos reglamentarios) debe ser confidencial entre el cliente y el laboratorio. El proveedor (fuente) de esta información debe mantenerse como confidencial entre el cliente y el laboratorio y no debe compartirse con el cliente, a menos que se haya acordado con la Fuente.
29. Todo el personal del laboratorio incluido miembros del comité, contratistas y/o personal de organismos externos individuos que actúen en nombre del laboratorio mantendrán confidencialidad de toda la información obtenido o creada durante la realización de las actividades de laboratorio excepto lo requerido por ley.
30. Por políticas de protección de la información confidencial del cliente, NO se informarán resultados de análisis telefónicamente.





**ANEXO DE COTIZACIONES**

Anexo del FAD-19 Versión 1

**MÉTODOS DE ANÁLISIS**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>REFERENCIA</b>
Coliformes Totales	Número más probable (NMP) / Cuantificación por dilución seriada	LBC 134 / EPA; Method 1680 / Método 9221 B y 9221 E In Estándar Methods For The Examination Of Water And Waster.
Coliformes Fecales	Número más probable (NMP) / Cuantificación por dilución seriada	LBC 133 / EPA; Method 1680. Método 9221 B y 9221 E In Estándar Methods For The Examination Of Water And Waster.
Coliformes Totales	Filtración por Membrana	Análisis de agua para consumo humano. Laboratorio red salud ambiental.
Escherichia coli	Filtración por Membrana	Análisis de agua para consumo humano. Laboratorio red salud ambiental.
Recuento de bacterias Mesófilas aeróbicas	Filtración por Membrana	Análisis de Agua para consumo Humano. Laboratorio red salud ambiental.
Coliformes Fecales	Filtración por Membrana	Análisis de Agua para consumo Humano. Laboratorio red salud ambiental.
Escherichia coli	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	LBC 234
Coliformes Totales	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	LBC 234
Recuento De Bacteria Mesófilas	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Técnicas en microbiología de suelos y lodos. NTC 5167.
Recuento de Mohos ( la identificación de estos hongos se realizan hasta género )	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Técnicas en microbiología de suelos y lodos. NTC 5167.
Recuento De Levaduras	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Técnicas en microbiología de suelos y lodos. NTC 5167.
Huevos de Helmintos	Filtración, flotación y sedimentación	NOM-004-SEMARNAT-002. NTC 5167
Protozoos Parásitos Humanos	Filtración, flotación y sedimentación	NOM-004-SEMARNAT-002. NTC 5167. Atlas de parasitología. Directrices OMS. Aures y Duncan.
Recuento e identificación de Nematodos	Flotación – Microscopia	Keys to Nematodes, Colembolos, Sinfilidos. University of Nebraska / LBC-200
Recuento Lombrices – Oligoquetos	Macroscopia	Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, Grisel
Recuento Colémbolos	Flotación – Macroscopia	Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, Grisel
Recuento Sinfilidos	Flotación – Macroscopia	Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, Grisel

	<b>ANEXO DE COTIZACIONES</b>	Anexo del FAD-19 Versión 1
---	------------------------------	----------------------------

Análisis entomológico. Recuento Insectos (Formicidos, Coleópteros, Isóptera, Quilópodos, Dipluros, Miriápodos, Himenóptera, Proturos, Pauropodo)	Macroscopia	Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, Grisel
Microbiota (Recuento e identificación de Hongos y Bacterias)	Recuento en placa	LBC 235 / Técnicas en microbiología de suelos y lodos
Microbiota (Recuento e identificación de Nematodos)	Flotación – Microscopia	Keys to Nematodes, Colembolos, Sinfílicos. University of Nebraska LBC-200
Macrobiota - Recuento Insectos (Macrofauna, Mesofauna) (Formicidos, Coleópteros, Isóptera, Quilópodos, Dipluros, Miriápodos, Himenóptera, Proturos, Pauropodo, Oligoquetos, Isópodos, Sinfílicos, Colémbolos)	Flotación – Macroscopia	Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, Grisel
Cuantificación de bacterias nitrificantes	Número más probable (NMP) / Cuantificación por dilución seriada	APHA, 9245. Estandarización del tiempo de incubación y concentración de CaCO <sub>3</sub> , SO <sub>4</sub> (NH <sub>4</sub> ) y KNO <sub>3</sub> para la prueba del NMP. Métodos analíticos del laboratorio, IGAC.
Cuantificación de bacterias desnitrificantes	Número más probable (NMP) / Cuantificación por dilución seriada	Métodos analíticos del laboratorio de suelos, IGAC. 6ta Edición
Cuantificación de bacterias amonificantes	Número más probable (NMP) / Cuantificación por dilución seriada	Métodos analíticos del laboratorio de suelos, IGAC. 6ta Edición
Recuento de bacterias fijadoras de nitrógeno Azotobacter sp y Azospirillum sp	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Técnicas en microbiología de suelos y lodos. M. Martínez. Métodos analíticos del laboratorio, IGAC.
Recuento de Rhizobium sp	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Manual de laboratorio ambiental, Javeriana. Métodos analíticos del laboratorio, IGAC.
Recuento de bacterias fosfato solubilizadoras	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Manual de técnica de análisis para el control de calidad microbiológico. Técnicas en microbiología de suelos y lodos. M. Martínez.
Bacterias sulfato reductoras	Ausencia-Presencia	Manual de laboratorio ambiental Javeriana. Técnicas en Microbiología de suelos y lodos. M. Martínez. Métodos analíticos del laboratorio, IGAC.
Bacterias sulfato reductoras	Cuantificación	NACE STANDARD TM0194-94
Bacterias productoras de ácido	Cuantificación	NACE STANDARD TM0194-94
Recuento de bacterias solubilizadoras de potasio.	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Aislamiento e identificación de microorganismos solubilizadores de potasio a partir de muestras de suelo y raíces de cultivos de alcachofa. Métodos analíticos del laboratorio, IGAC.



**ANEXO DE COTIZACIONES**

Anexo del FAD-19 Versión 1

Recuento de Actinomicetos	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	INVIMA - Métodos analíticos del laboratorio, IGAC.
Recuento en Proteolíticos en suelos	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Técnicas en microbiología de suelos y lodos. M. Martínez Manual de laboratorio ambiental, Javeriana. Métodos analíticos del laboratorio, IGAC.
Recuento de bacterias Celulolíticos en suelos	Ausencia - Presencia	Manual de laboratorio ambiental, Javeriana. Métodos analíticos del laboratorio, IGAC.
Recuento de Hongos ligninolítico	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Técnicas en microbiología de suelos y lodos. M. Martínez Manual de laboratorio ambiental, Javeriana. Métodos analíticos del laboratorio, IGAC.
Recuento de bacterias ligninolíticas	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Técnicas en microbiología de suelos y lodos. M. Martínez Manual de laboratorio ambiental, Javeriana. Métodos analíticos del laboratorio, IGAC.
Cuantificación de esporas de micorrizas	Flotación y filtración	Identificación de esporas de micorrizas arbusculares en suelos de la zona cafetera colombiana. CENICAFE
Recuento de bacterias ácido lácticas (Lactobacillus sp)	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Técnicas en microbiología de suelos y lodos. M. Martínez Manual de laboratorio ambiental, Javeriana. Métodos analíticos del laboratorio, IGAC.
Recuento de bacterias amilolíticas	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Técnicas en microbiología de suelos y lodos. M. Martínez Manual de laboratorio ambiental, Javeriana. Métodos analíticos del laboratorio, IGAC.
Recuento de Staphylococcus aureus cuagulasa positiva	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Manual de técnicas de análisis para control de calidad microbiológico en alimentos para consumo, INVIMA.
Recuento de espora de Clostridium sulfito reductor	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Manual de técnicas de análisis para control de calidad microbiológico en alimentos para consumo, INVIMA.
Recuento de Bacillus sp	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Isolation of Bacillus. Cuba journal of agricultural science.
Recuento de bacterias del género Agrobacterium sp	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Plant Patology Methods
Recuento de bacterias del género Erwinia sp	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Plant Patology Methods
Identificación de bacterias del género nthonomas sp.	Ausencia / Presencia	Basic Plant pathology methods
Análisis de Salmonella sp.	Ausencia – Presencia	NTC 5167

	<b>ANEXO DE COTIZACIONES</b>	Anexo del FAD-19 Versión 1
---	------------------------------	----------------------------



Recuento de bacterias del género Enterococcus sp y Streptococcus	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Manual of clinical microbiology. Manual de técnicas de análisis para control de calidad microbiológico en alimentos para consumo, INVIMA.
Recuento de algas	Recuento en cámara de Neubauer	LBC 370
Recuento de bacterias termófilos aeróbicas	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Manual de técnicas de análisis microbiológicos de alimentos - INS
Recuento de bacterias heterótrofas	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Técnicas en microbiología de suelos y lodos. M. Martínez
Bacterias de Hierro	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	Standard Methods 9240
Recuento e identificación de Hongos y Bacterias	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	LBC 235 / Técnicas en microbiología de suelos y lodos. M. Martínez
Recuento de Bacterias Oxidantes de Amonio	Cuantificación por dilución seriada	APHA, 9245. Estandarización del tiempo de incubación y concentración de CaCO3, SO4 (NH4) y KNO3 para la prueba del NMP. Métodos analíticos del laboratorio, IGAC.
Recuento de Bacterias Oxidantes de Nitrito	Cuantificación por dilución seriada	APHA, 9245. Estandarización del tiempo de incubación y concentración de CaCO3, SO4 (NH4) y KNO3 para la prueba del NMP. Métodos analíticos del laboratorio, IGAC.
Viabilidad de Conidias	Recuento y siembra	LBC 393
Conteo Conidias	Neubauer	
Recuento de Enterobacterias	Ausencia - presencia	ISO 7401:1993. NTC 5167
Salmonella sp	Detección por siembra directa	NTC 4574 / NOM-004-SEMARNAT-002
Helmintos Parásitos Humanos	Filtración, flotación y sedimentación	NOM-004-SEMARNAT-002.NTC 5167
Protozoos Parásitos Humanos	Filtración, flotación y sedimentación	NOM-004-SEMARNAT-002.NTC 5167. Atlas de parasitología. Directrices OMS. Aures y Duncan.
Pseudomonas aeuroginosa	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	LBC 195
Prueba de Biodegradabilidad	Respirométrico - Manométrico	OECD 301 F
Prueba de Biodegradabilidad	Pérdida de carbono orgánico disuelto	OECD 301 A
Demanda Béntica	Electrométrico	LBC 389
Respiración del suelo (Respiración Bacial)	Volumetría	LBC 410



	<b>ANEXO DE COTIZACIONES</b>	Anexo del FAD-19 Versión 1
---	------------------------------	----------------------------

Listeria Monocytogenes	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	LBC 399
Bacillus sp	Recuento en placa / Cuantificación por dilución seriada	LBC 390
Pseudomonas sp.	Impronta en placa	Basic plant pathology methods. 2 ed.
Bacterias.	Impronta en placa	Basic plant pathology methods. 2 ed.
Hongos fitopatógenos	Impronta en placa	Basic plant pathology methods. 2 ed.
Benton	Microscopia	SM 10300, SM 10500
Perifiton		
Plancton		
Micrófitos		

LBC - Referencia a método interno de Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola LTDA.  
 SM - Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater, APHA – AWWA – WEF. 22<sup>nd</sup> edition. 2012  
 NTC - Norma Técnica Colombiana  
 EPA - Environmental Protection Agency  
 OECD - Organización para la cooperación y el desarrollo económico.  
 NOM - Norma oficial mexicana  
 INS – Instituto Nacional de Salud



		<b>CADENA DE CUSTODIA</b>		Identificación del documento FCA - 34 VERSION 4															
Cliente: Emerson Ramirez Ballestas			Remitente: Emerson Ramirez Ballestas		Fecha de muestreo: 02/09/2022														
Lugar de muestreo (nombre de la finca o el predio): La Campiña																			
Departamento/municipio/vereda: Bolivar/ San Jacinto Bolivar/ Los Pirineos																			
Número de muestra	Identificación de la muestra (nombre dado por el cliente)	Coordenadas y/o Punto de muestreo (Ej. Uave, rio, lote, potrero, lago)	Hora de la toma	Tipo de muestra						Tipo de análisis		Tipo de muestra			Tipo de recipiente		Espacio exclusivo para el laboratorio		
				Agua	Suelo	Lodo	Mat. Vegetal	Abono, Composi, fertilizante	Otro:	Microbiológico	Físico	Químico	Simple	Compuesta	Plástico	Vidrio	Bolsa plástica	Bolsa de papel	Número de muestra
1	Muestra de suelo 1	Lote	10:45	X						X		X				X		1	0016
2	Muestra de suelo 3 MFC	Lote	10:50	X						X		X				X		2	0016
Muestra simple: cuando es tomada en un solo punto			Muestra compuesta: cuando es tomada en varios punto conformando una muestra																
Método de muestreo: Responsable muestreo: Laboratorio <input type="checkbox"/> Cliente <input checked="" type="checkbox"/>			Equipos utilizados:			Envío y entrega de muestra													
Nombre del muestreador:			Envío por el muestreador: <input type="checkbox"/>			Entrega por mensajería: <input type="checkbox"/>													
Análisis adicionales: Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			Responsable de entrega: _____			Empresa responsable: _____													
Temperatura (Nevera) _____ Almacenamiento °C _____ Entrega °C _____			Firma: _____			Firma: _____													
Observaciones:			Fecha: _____			Recepción de muestra													
Firma del cliente: 			Responsable de recepción: _____			Cumple con las condiciones de envío de muestra. Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>						En caso de incumplimiento, autoriza el cliente el ingreso de la muestra. Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>							
Firma: _____			Firma: _____			Motivo de incumplimiento:													

		<b>CADENA DE CUSTODIA</b>		Identificación del documento FCA-34 VERSION 4															
Cliente: EMERSON RAMIREZ BALLESTAS			Remitente:		Fecha de muestreo: 03/08/2022														
Lugar de muestreo (nombre de la finca o el predio): La Campiña																			
Departamento/municipio/vereda: Bolívar/ San Jacinto Bolívar/ Los Pirineos																			
Número de muestra	Identificación de la muestra (nombre dado por el cliente)	Coordenadas y/o Punto de muestreo (Ej. Uave, rio, lote, potrero, lago)	Hora de la toma	Tipo de muestra						Tipo de análisis		Tipo de muestra			Tipo de recipiente		Espacio exclusivo para el laboratorio		
				Agua	Suelo	Lodo	Mat. Vegetal	Abono, Composi, fertilizante	Otro:	Microbiológico	Físico	Químico	Simple	Compuesta	Plástico	Vidrio	Bolsa plástica	Bolsa de papel	Número de muestra
1	Muestra Preparada	Lote	13:08	X						X	X				X			1	0016
Muestra simple: cuando es tomada en un solo punto				Muestra compuesta: cuando es tomada en varios punto conformando una muestra															
Método de muestreo: Responsable muestreo: Laboratorio <input type="checkbox"/> Cliente <input type="checkbox"/>			Equipos utilizados:			<b>Envío y entrega de muestra</b>													
Nombre del muestreador:			Envío por el muestreador: <input type="checkbox"/>			Entrega por mensajería: <input type="checkbox"/>													
Análisis adicionales: Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			Responsable de entrega: _____			Empresa responsable: _____													
Temperatura (Nevera) _____ Almacenamiento °C _____ Entrega °C _____			Firma: _____			Firma: _____													
Observaciones:			<b>Recepción de muestra</b>																
			Fecha: _____			Cumple con las condiciones de envío de muestra. Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			En caso de incumplimiento, autoriza el cliente el ingreso de la muestra. Sí <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>										
Firma del cliente: 			Responsable de recepción: _____			Motivo de incumplimiento:													
			Firma: _____																

Anexo 3



✉ lab@ganacampo.com 🌐 www.ganacampo.com  
 📍 CARRERA 33 #30A-49 PISO 2  
 BUCARAMANGA | SANTANDER | COLOMBIA  
 📞 3158740887 | 6179211

INFORME ANALÍTICO DE SUELO AGRÍCOLA -

Número Registro:	7823-1	Fecha:	18/08/2022
Muestra:	1	Cliente:	EMERSON RAMIREZ
Finca:	LA CAMPINA	Localización:	LOS PIRINEOS - SAN JACINTO - BOLIVAR

		RESULTADO	VALORES DE REFERENCIA
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>			
Arena (%)		32	
Limo (%)		32	
Arcilla(%)		36	
Textura del suelo:		FRANCO ARCILLOSO	
<b>PROPIEDADES QUÍMICAS</b>			
Parámetro	Unidad		
pH	pH	6,89	
Volumétrica:			
Materia Orgánica	%	7,88	
Carbono	%	4,57	
Nitrógeno	%	0,39	
Aluminio (KCl 1N)	meq/100g	0,00	
Espectrofotometría			
Fósforo (Bray II)	ppm	14,7	
Espectrofotometría A/E Atómica			
Extracción NH4OAc 1N			
Potasio	meq/100g	1,65	
Calcio	meq/100g	27,3	
Magnesio	meq/100g	5,90	
Sodio	meq/100g	0,18	
Extracción DTPA (Linsay)			
Hierro	ppm	283	
Manganeso	ppm	1,63	
Cobre	ppm	1,24	
Zinc	ppm	1,61	

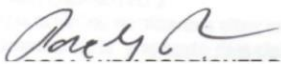




✉ lab@ganacampo.com 🌐 www.ganacampo.com  
 📍 CARRERA 33 #30A-49 PISO 2  
 BUCARAMANGA | SANTANDER | COLOMBIA  
 📞 3158740887 | 6179211

INFORME ANALÍTICO DE SUELO AGRÍCOLA -

Número Registro:	7823-1	Fecha:	18/08/2022
Muestra:	1	Cliente:	EMERSON RAMIREZ
Finca:	LA CAMPINA	Localización:	

	RESULTADO	VALORES DE REFERENCIA
<b>EXTRACCIÓN FOSFATO MONOCÁLCICO</b>		
Espectrofometría		
Azufre (PVP) ppm		6,65
Boro (Azometina-H) ppm		0,38
<b>COMPLEJO DE CAMBIO</b>		
Extracción NH <sub>4</sub> OAc 1N		
Capacidad Efectiva meq/100g		29,5
Capacidad Calculada meq/100g		35,0
RELACIONES CATIONICAS		
Ca/Mg		4,63
Ca/K		16,5
Mg/K		3,58
Ca+Mg/K		20,1
Saturación de Bases		119
Saturación de Aluminio		0,00
Nota: Resultados validos para la muestra analizada		
C.I.C: Capacidad de intercambio catiónico		
N.D no detectable		
		
<b>ROSA LUDY RODRÍGUEZ R.</b> Química UIS P.Q 1734 Magister en Química UIS Máster en Fertilizantes y Medio Ambiente UAM-España		



✉ lab@ganacampo.com 🌐 www.ganacampo.com  
 📍 CARRERA 33 #30A-49 PISO 2  
 BUCARAMANGA | SANTANDER | COLOMBIA  
 📞 3158740887 | 6179211

**INFORME ANALÍTICO DE SUELO AGRÍCOLA - TRINITARIOS**

Número Registro:	7823-1	Fecha:	18/08/2022		
Muestra:	1	Cliete:	<b>EMERSON RAMIREZ</b>		
Finca:	LA CAMPINA	Localización:	LOS PIRINEOS - SAN JACINTO - BOLIVAR		
<b>OBSERVACIONES</b>					
<b>MACROELEMENTOS</b>	NITRÓGENO		FOSFORO		POTASIO
	Alto		Optimo		Alto
<b>ELEMENTOS SECUNDARIOS:</b>	Calcio	Magnesio	Sodio	Azufre	Boro
niveles	Alto	Alto	Bajo	Bajo	Bajo
<b>MICROELEMENTOS:</b>	Hierro		Manganeso	Cobre	Zinc
niveles	Alto		Bajo	Bajo	Bajo
<b>RECOMENDACIÓN ABONADO</b>					
El pH es Neutro, el contenido de nutrientes mayores están en rangos altos; los micronutrientes en su mayoría están bajos. La saturación de las bases calcio, magnesio y potasio están en buenos niveles.					
La textura es Franco -Arcillosa, presenta buena condición física para el desarrollo del cultivo; se recomienda la aplicación generosa de materia orgánica compostada.					
<b>Enmienda 1</b>	<b>Producto</b>		<b>CANTIDAD /Planta</b>		
Aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos para mejora la solubilidad de los nutrientes y lograr una buena absorción de los mismos por la planta. Disolver un litro de Humita en 200 litros de agua. Aplicar en drench después de cada fertilización.	Humita		100 cc de la solución		
<b>Enmienda 2</b>	<b>Producto</b>		<b>CANTIDAD /SITIO</b>		
Aplicación de materia orgánica compostada, 15 días antes de la siembra, para activar la condición biológica del suelo.	Materia Orgánica compostada		1 kilo		
<b>FERTILIZACIÓN</b>	<b>Producto</b>		<b>CANTIDAD /PLANTA</b>		
Aplicación de fertilizantes con balance de nutrientes adecuado para el cultivo en su etapa de establecimiento, aplicar en la zona de crecimiento activo de raíces y en condiciones de suelo húmedo. Repetir al mes	Nitromag		5	gramos	
	Agrimins		5	gramos	



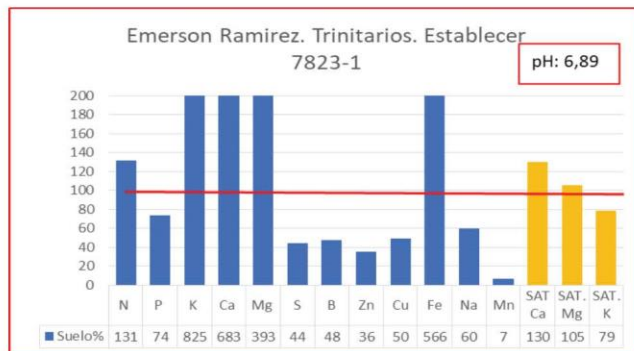
✉ lab@ganacampo.com 🌐 www.ganacampo.com  
 📍 CARRERA 33 #30A-49 PISO 2  
 BUCARAMANGA | SANTANDER | COLOMBIA  
 📞 3158740887 | 6179211

**INFORME ANALÍTICO DE SUELO AGRÍCOLA - TRINITARIOS**

Número Registro:	7823-1	Fecha:	18/08/2022
Muestra:	1	Cliente:	<b>EMERSON RAMIREZ</b>
Finca:	LA CAMPINA	Localización:	LOS PIRINEOS - SAN JACINTO - BOLIVAR

FERTILIZACIÓN	Producto	CANTIDAD /PLANTA
Aplicación de fertilizantes con balance de nutrientes adecuado para el cultivo en su etapa de desarrollo y floración aplicar en la zona de crecimiento activo de raíces y en condiciones de suelo húmedo. Aplicar cada 30 días	Rafos	5 gramos
	Nitromag	5 gramos
	Agrimins	5 gramos

  
**Libardo Villamarín Ibañez**  
 Ingeniero Agrónomo  
 Esp. Implementación en BPA





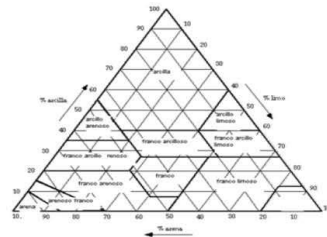
✉ lab@ganacampo.com 🌐 www.ganacampo.com  
 📍 CARRERA 33 #30A-49 PISO 2  
 BUCARAMANGA | SANTANDER | COLOMBIA  
 📞 3158740887 | 6179211

**INFORME ANALÍTICO DE SUELO AGRÍCOLA - TRINITARIOS**

Número Registro:	7823-2	Fecha:	18/08/2022
Muestra:	2	Cliente:	EMERSON RAMIREZ
Finca:	LA CAMPINA	Localización:	LOS PIRINEOS - SAN JACINTO - BOLIVAR

	RESULTADO	VALORES DE REFERENCIA
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>		
Arena (%)	80	
Limo (%)	12	
Arcilla(%)	8	
Textura del suelo:	<b>FRANCO ARENOSO</b>	
<b>PROPIEDADES QUÍMICAS</b>		
Parámetro	Unidad	
pH	pH	8,62
Volumétrica:		
Materia Orgánica	%	3,13
Carbono	%	1,82
Nitrógeno	%	0,16
Aluminio (KCl 1N)	meq/100g	0,00
Espectrofotometría		
Fósforo (Bray II)	ppm	356
Espectrofotometría A/E Atómica		
Extracción NH <sub>4</sub> OAc 1N		
Potasio	meq/100g	4,71
Calcio	meq/100g	22,9
Magnesio	meq/100g	5,96
Sodio	meq/100g	0,33
Extracción DTPA (Linsay)		
Hierro	ppm	86,4
Manganeso	ppm	1,62
Cobre	ppm	1,12
Zinc	ppm	5,37



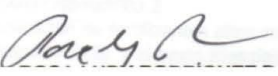


✉ lab@ganacampo.com 🌐 www.ganacampo.com  
 📍 CARRERA 33 #30A-49 PISO 2  
 BUCARAMANGA | SANTANDER | COLOMBIA  
 📞 3158740887 | 6179211

INFORME ANALÍTICO DE SUELO AGRÍCOLA - TRINITARIOS

Número Registro:	7794	Fecha:	1/08/2022
Muestra:	11	Cliete:	ABIMGRA LTDA
Finca:	LA CAMPINA	Localización:	

	RESULTADO	VALORES DE REFERENCIA
<b>EXTRACCIÓN FOSFATO MONOCÁLCICO</b>		
Espectrofometría		
Azufre (PVP) ppm	51,8	15
Boro (Azometina-H) ppm	1,04	0,8
<b>COMPLEJO DE CAMBIO</b>		
Extracción NH <sub>4</sub> OAc 1N		
Capacidad Efectiva meq/100g	12,8	
Capacidad Calculada meq/100g	33,9	
RELACIONES CATIONICAS		
Ca/Mg	3,84	
Ca/K	4,86	
Mg/K	1,27	
Ca+Mg/K	6,13	
Saturación de Bases	265	
Saturación de Aluminio	0,00	
Nota: Resultados validos para la muestra analizada		
C.I.C: Capacidad de intercambio catiónico		
N.D no detectable		
 <b>ROSA LUDY RODRÍGUEZ R.</b> Química UIS P.Q 1734 Magister en Química UIS Máster en Fertilizantes y Medio Ambiente UAM-España		



✉ lab@ganacampo.com 🌐 www.ganacampo.com  
 📍 CARRERA 33 #30A-49 PISO 2  
 BUCARAMANGA | SANTANDER | COLOMBIA  
 📞 3158740887 | 6179211

**INFORME ANALÍTICO DE SUELO AGRÍCOLA - TRINITARIOS**

Número Registro:	7823-2	Fecha:	18/08/2022			
Muestra:	2	Cliete:	<b>EMERSON RAMIREZ</b>			
Finca:	LA CAMPINA	Localización:	LOS PIRINEOS - SAN JACINTO - BOLIVAR			
<b>OBSERVACIONES</b>						
<b>MACROELEMENTOS</b>	NITRÓGENO		FOSFORO		POTASIO	
	Bajo		Alto		Alto	
<b>ELEMENTOS SECUNDARIOS:</b>	niveles	CALCIO	MAGNESIO	SODIO	AZUFRE	BORO
	niveles	Alto	Alto	Alto	Alto	Alto
<b>MICROELEMENTOS:</b>	niveles	HIERRO	MANGANESO	COBRE	ZINC	
	niveles	Alto	Bajo	Bajo	Alto	
<b>RECOMENDACIÓN ABONADO</b>						
<p>El pH es Moderadamente Alcalino, el contenido de nutrientes tanto mayores como la mayoría de micronutrientes están en niveles altos, la excepción son el nitrógeno, en los mayores, el cobre y manganeso en los micronutrientes, los que presenta niveles bajos. la saturación de las bases presenta un desbalance con el potasio que esta muy alta con respecto al calcio y magnesio.</p>						
<p>La textura es Franco -Arenosa, con alto contenido de arena del 84%, con esta condición física se dificulta la retención de humedad; para una mejor disponibilidad de nutrientes y de humedad se recomienda la aplicación generosa de materia orgánica compostada.</p>						
<b>Enmienda 1</b>		<b>Producto</b>		<b>CANTIDAD /Planta</b>		
Aplicación de ácidos húmicos y fulvicos para mejora la solubilidad de los nutrientes y lograr una buena absorción de los mismos por la planta. Disolver un litro de Humita en 200 litros de agua. Aplicar en drench despues de cada fertilización.		Humita		100 cc de la solución		
<b>Enmienda 2</b>		<b>Producto</b>		<b>CANTIDAD /SITIO</b>		
Aplicación de materia orgánica compostada, 15 días antes de la siembra, para activar la condición biológica del suelo.		Materia Orgánica compostada		2 kilos		
<b>FERTILIZACIÓN</b>		<b>Producto</b>		<b>CANTIDAD /PLANTA</b>		
Aplicación de fertilizantes con balance de nutrientes adecuado para el cultivo en su etapa de establecimiento, aplicar en la zona de crecimiento activo de raíces y en condiciones de suelo húmedo. Repetir al mes		Nitromag		10	gramos	
		Agrimins		10	gramos	





✉ lab@ganacampo.com 🌐 www.ganacampo.com

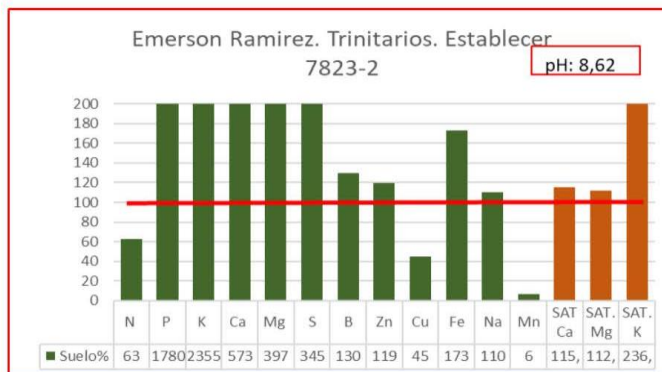
📍 **CARRERA 33 #30A-49 PISO 2**  
 BUCARAMANGA | SANTANDER | COLOMBIA  
 📞 3158740887 | 6179211

**INFORME ANALÍTICO DE SUELO AGRÍCOLA - TRINITARIOS**

Número Registro:	7823-2	Fecha:	18/08/2022
Muestra:	2	Cliente:	<b>EMERSON RAMIREZ</b>
Finca:	LA CAMPINA	Localización:	LOS PIRINEOS - SAN JACINTO - BOLIVAR

FERTILIZACIÓN	Producto	CANTIDAD /PLANTA
Aplicación de fertilizantes con balance de nutrientes adecuado para el cultivo en su etapa de desarrollo y floracion aplicar en la zona de crecimiento activo de raíces y en condiciones de suelo húmedo. Aplicar cada 30 días	Rafos	5 gramos
	Nitromag	5 gramos
	Agrimins	5 gramos

*Libardo Villamarin Ibañez*  
**Libardo Villamarin Ibañez**  
 Ingeniero Agrónomo  
 Esp. Implementación en BPA





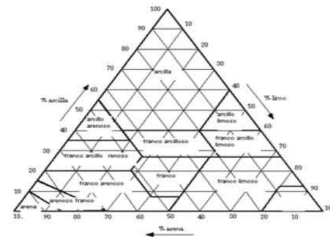
✉ lab@ganacampo.com 🌐 www.ganacampo.com  
 📍 CARRERA 33 #30A-49 PISO 2  
 BUCARAMANGA | SANTANDER | COLOMBIA  
 📞 3158740887 | 6179211

**INFORME ANALÍTICO DE SUELO AGRÍCOLA - TRINITARIOS**

Número Registro:	7864	Fecha:	22/09/2022
Muestra:	1	Cliente:	EMERSON RAMIREZ
Finca:	LA CAMPINA	Localización:	LOS PIRINEOS - SAN JACINTO - BOLIVAR

	RESULTADO	VALORES DE REFERENCIA
<b>PROPIEDADES FÍSICAS</b>		
Arena (%)	56	
Limo (%)	28	
Arcilla(%)	16	
Textura del suelo:	<b>FRANCO ARENOSO</b>	
<b>PROPIEDADES QUÍMICAS</b>		
Parámetro	Unidad	
pH	pH	7,71
Volumétrica:		
Materia Orgánica	%	7,30
Carbono	%	4,23
Nitrógeno	%	0,37
Aluminio (KCl 1N)	meq/100g	0,00
Espectrofotometría		
Fósforo (Bray II)	ppm	184
Espectrofotometría A/E Atómica		
Extracción NH <sub>4</sub> OAc 1N		
Potasio	meq/100g	2,99
Calcio	meq/100g	36,4
Magnesio	meq/100g	0,64
Sodio	meq/100g	0,39
Extracción DTPA (Linsay)		
Hierro	ppm	29,0
Manganeso	ppm	2,69
Cobre	ppm	1,91
Zinc	ppm	9,25

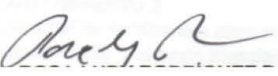






✉ lab@ganacampo.com 🌐 www.ganacampo.com  
 📍 CARRERA 33 #30A-49 PISO 2  
 BUCARAMANGA | SANTANDER | COLOMBIA  
 📞 3158740887 | 6179211

INFORME ANALÍTICO DE SUELO AGRÍCOLA - TRINITARIOS

Número Registro:	7864	Fecha:	22/09/22
Muestra:	1	Cliente:	EMERSON RAMIREZ
Finca:	LA CAMPINA	Localización:	LOS PIRINEOS - SAN JACINTO - BOLIVAR
<b>RESULTADO</b> <b>VALORES DE REFERENCIA</b>			
<b>EXTRACCIÓN FOSFATO MONOCÁLCICO</b>			
Espectrofometría			
Azufre (PVP)	ppm	<b>17,0</b>	15
Boro (Azometina-H)	ppm	<b>0,36</b>	0,8
<b>COMPLEJO DE CAMBIO</b>			
Extracción NH <sub>4</sub> OAc 1N			
Capacidad Efectiva	meq/100g	<b>18,5</b>	
Capacidad Calculada	meq/100g	<b>40,4</b>	
RELACIONES CATIONICAS			
Ca/Mg		<b>56,9</b>	
Ca/K		<b>12,2</b>	
Mg/K		<b>0,21</b>	
Ca+Mg/K		<b>12,4</b>	
Saturación de Bases		<b>218</b>	
Saturación de Aluminio		<b>0,00</b>	
Nota: Resultados validos para la muestra analizada			
C.I.C: Capacidad de intercambio catiónico			
N.D no detectable			
 <b>ROSA LUDY RODRÍGUEZ R.</b> Química UIS P.Q 1734 Magister en Química UIS Máster en Fertilizantes y Medio Ambiente UAM-España			



✉ lab@ganacampo.com 🌐 www.ganacampo.com  
 📍 CARRERA 33 #30A-49 PISO 2  
 BUCARAMANGA | SANTANDER | COLOMBIA  
 📞 3158740887 | 6179211

**INFORME ANALÍTICO DE SUELO AGRÍCOLA - TRINITARIOS**

Número Registro:	7864	Fecha:	22/09/2022		
Muestra:	1	Ciente:	EMERSON RAMIREZ		
Finca:	LA CAMPINA	Localización:	LOS PIRINEOS - SAN JACINTO - BOLIVAR		
<b>OBSERVACIONES</b>					
<b>MACROELEMENTOS</b>	NITRÓGENO	FOSFORO		POTASIO	
	Bajo	Alto		Alto	
<b>ELEMENTOS SECUNDARIOS:</b>	CALCIO	MAGNESIO	SODIO	AZUFRE	BORO
niveles	Alto	Bajo	Alto	Alto	Bajo
<b>MICROELEMENTOS:</b>	HIERRO		MANGANESO	COBRE	ZINC
niveles	Alto		Alto	Alto	Alto
<b>RECOMENDACIÓN ABONADO</b>					
<p>El pH es Medianamente Alcalino, el contenido de nutrientes tanto mayores como la mayoría de micronutrientes están en niveles altos, en los micronutrientes, que presenta niveles bajos. la saturación de las bases presenta un desbalance con el potasio y calcio que esta muy alta con respecto al magnesio.</p>					
<p>La textura es Franco -Arenosa, buena condición física para el desarrollo del cultivo; para una mejor disponibilidad de nutrientes y de humedad se recomienda la aplicación generosa de materia orgánica compostada.</p>					
<b>Enmienda 1</b>		Producto	CANTIDAD /Planta		
<p>Aplicación de ácidos húmicos y fúlvicos para mejora la solubilidad de los nutrientes y lograr una buena absorción de los mismos por la planta. Disolver un litro de Humita en 200 litros de agua. Aplicar en drench después de cada fertilización.</p>		Humita	100 cc de la solución		
<b>Enmienda 2</b>		Producto	CANTIDAD /SITIO		
<p>Aplicación de materia orgánica compostada, 15 días antes de la siembra, para activar la condición biológica del suelo.</p>		Materia Orgánica compostada	2 kilos		
<b>FERTILIZACIÓN</b>		Producto	CANTIDAD /PLANTA		
<p>Aplicación de fertilizantes con balance de nutrientes adecuado para el cultivo en su etapa de establecimiento, aplicar en la zona de crecimiento activo de raíces y en condiciones de suelo húmedo.</p>		Nitromag	5	gramos	
		Agrimins	5	gramos	



✉ lab@ganacampo.com 🌐 www.ganacampo.com

📍 **CARRERA 33 #30A-49 PISO 2**  
BUCARAMANGA | SANTANDER | COLOMBIA

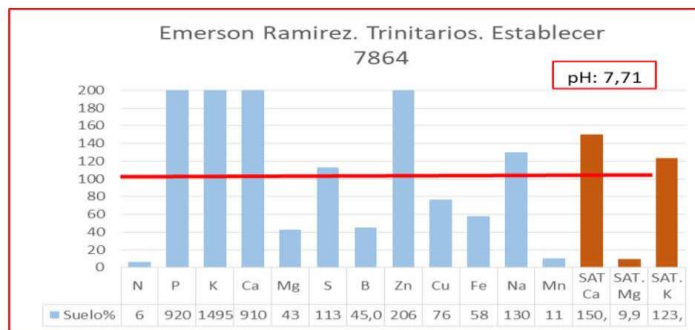
☎ 3158740887 | 6179211

**INFORME ANALÍTICO DE SUELO AGRÍCOLA - TRINITARIOS**

Número Registro:	7864	Fecha:	22/09/2022
Muestra:	1	Cliente:	<b>EMERSON RAMIREZ</b>
Finca:	<b>LA CAMPINA</b>	Localización:	LOS PIRINEOS - SAN JACINTO - BOLIVAR

FERTILIZACIÓN	Producto	CANTIDAD /PLANTA
Aplicación de fertilizantes con balance de nutrientes adecuado para el cultivo en su etapa de desarrollo y floración aplicar en la zona de crecimiento activo de raíces y en condiciones de suelo húmedo.	Rafos	5 gramos
	Nitromag	5 gramos
	Agrimins	5 gramos
	Borax	1 gramos

  
**Libardo Villamarin Ibañez**  
Ingeniero Agrónomo  
Esp. Implementación en BPA



Anexo 4



ASISTENCIA TÉCNICA AGRÍCOLA  
CONTROL DE CALIDAD  
FOUAR  
SUELOS  
AGUAS

Identificación del documento  
SIG-F-AD 26 - Versión 2

**INFORME DE ENSAYO  
MICROBIOLÓGICO**  
Muestra No. AMB-22700

<b>++Empresa:</b>	Emerson Ramirez Ballestas	<b>++Fecha Muestreo:</b>	2022-09-02
<b>++Dirección:</b>	Cra 38 No. 23 - 37	<b>Fecha Recepción:</b>	2022-09-08
<b>++Ciudad:</b>	San Jacinto-Bolivar	<b>Fecha Análisis:</b>	2022-09-08
<b>++Análisis:</b>	Análisis Microbiológico Solicitado	<b>Fecha Reporte:</b>	2022-09-21
<b>++Identificación:</b>	Suelo - Muestra de Suelo 1	<b>Fecha Emisión:</b>	2022-09-22
<b>Características:</b>	Suelo color café	<b>Orden Trabajo:</b>	75810
<b>++Otros Datos:</b>	Punto Lote	<b>++Procedencia:</b>	SAN JACINTO
<b>++Finca:</b>	La Campiña - Vereda Los Pirineos		

**RESULTADOS DEL ANALISIS**

ENT. No.	NOMBRE CIENTIFICO	POBLACION	METODO ANALITICO
1	<i>Escherichia coli.</i>	20 x 10 E 2 UFC/g	LBC 234
2	<i>Pseudomonas sp.</i>	12 x 10 E 4 UFC/g	LBC 195
3	<i>Erwinia sp</i>	61 x 10 E 3 UFC/g	LBC 232
4	<i>Lactobacillus sp</i>	36 x 10 E 3 UFC/g	LBC 308
5	<i>Enterococcus sp.</i>	< 10 UFC/g	LBC 395
6	<i>Clostridium sp.</i>	11 x 10 E 2 UFC/g	LBC 276

**OBSERVACIONES:** Se evidenció crecimiento de *Escherichia coli.*

Prohibida la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar este sello en original y en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia. La información identificada con ++ corresponde a información suministrada por el cliente de la cual laboratorios Dr. Calderón Labs no se hace responsable ya que puede afectar la validez de los resultados\*



Lugar de Ensayo: Laboratorios Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda.

*Somos su mejor alternativa...*

*Juan Camilo Amézquita*  
Microbiólogo

*Felipe Calderón Sáenz*  
Director Técnico; T.P. 3186

Pag. 1/1  
Fin del informe.



ASISTENCIA TÉCNICA AGRICOLA  
CONTROL DE CALIDAD  
FOLIAR  
SUELOS  
AGUAS

Identificación del documento  
FAD 26 - Versión 1

**ANALISIS MICROBIOLÓGICO**

No. Lab: AMB-22586

<b>++Empresa:</b>	Emerson Ramirez Ballestas	<b>++Fecha Muestreo:</b>	2022-08-03
<b>++Dirección:</b>	Cra 38 No. 23 - 37	<b>Fecha Recepción:</b>	2022-08-11
<b>++Ciudad:</b>	San Jacinto-Bolivar	<b>Fecha Análisis:</b>	2022-08-11
<b>++Análisis:</b>	Análisis Microbiológico Solicitado	<b>Fecha Reporte:</b>	2022-08-25
<b>++Identificación:</b>	Suelo - Muestra Preparada	<b>Fecha Emisión:</b>	2022-08-29
<b>Características:</b>	Suelo color café	<b>Orden Trabajo:</b>	75489
<b>++Otros Datos:</b>	Finca La Campiña - Vereda Los Pirineos	<b>++Procedencia:</b>	SAN JACINTO

**RESULTADOS DEL ANALISIS**

ENT. No.	NOMBRE CIENTIFICO	POBLACION	METODO ANALITICO
1	<i>Escherichia coli.</i>	77 x 10 E 3 UFC/ g	LBC 234
2	<i>Pseudomonas sp.</i>	20 x 10 E 4 UFC/g	LBC 195
3	<i>Erwinia sp</i>	18 x 10 E 3 UFC/g	LBC 232
4	<i>Lactobacillus sp</i>	11 x 10 E 4 UFC/g	LBC 308
5	<i>Enterococcus sp.</i>	10 x 10 E 1 UFC/g	LBC 395
6	<i>Clostridium sp.</i>	< 10 UFC/g	LBC 276

**OBSERVACIONES:** Se evidenció crecimiento de Escherichia coli.

Prohibida la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar este sello en original y en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia. La información identificada con ++ corresponde a información suministrada por el cliente de la cual laboratorios Dr. Calderón Labs no se hace responsable ya que puede afectar la validez de los resultados"



Lugar de Ensayo: Laboratorios Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda.

Somos su mejor alternativa...

*Juan Camilo Amezquita*  
Microbiólogo

*Felipe Calderón Sáenz*  
Director Técnico; T.P. 3186

Pag. 1/1  
Fin del informe.





ASISTENCIA TÉCNICA AGRÍCOLA  
CONTROL DE CALIDAD  
FOLIAR  
SUELOS  
AGUAS

Identificación del documento  
SIG-F-AD 26 - Versión 2

**INFORME DE ENSAYO  
MICROBIOLÓGICO**

Muestra No. AMB-22701

<b>++Empresa:</b>	Emerson Ramirez Ballestas	<b>++Fecha Muestreo:</b>	2022-09-02
<b>++Dirección:</b>	Cra 38 No. 23 - 37	<b>Fecha Recepción:</b>	2022-09-08
<b>++Ciudad:</b>	San Jacinto-Bolivar	<b>Fecha Análisis:</b>	2022-09-08
<b>++Análisis:</b>	Análisis Microbiológico Solicitado	<b>Fecha Reporte:</b>	2022-09-21
<b>++Identificación:</b>	Suelo - Muestra de Suelo 3 MFC	<b>Fecha Emisión:</b>	2022-09-22
<b>Características:</b>	Suelo color café	<b>Orden Trabajo:</b>	75810
<b>++Otros Datos:</b>	Punto Lote	<b>++Procedencia:</b>	SAN JACINTO
<b>++Finca:</b>	La Campiña - Vereda Los Pirineos		

**RESULTADOS DEL ANALISIS**

ENT. No.	NOMBRE CIENTIFICO	POBLACION	METODO ANALITICO
1	<i>Escherichia coli.</i>	< 10 UFC/g	LBC 234
2	<i>Pseudomonas sp.</i>	37 x 10 E 4 UFC/g	LBC 195
3	<i>Erwinia sp</i>	53 x 10 E 3 UFC/g	LBC 232
4	<i>Lactobacillus sp</i>	62 x 10 E 2 UFC/g	LBC 308
5	<i>Enterococcus sp.</i>	< 10 UFC/g	LBC 395
6	<i>Clostridium sp.</i>	10 x 10 E 2 UFC/g	LBC 276

**OBSERVACIONES:** No se evidenció crecimiento de *Escherichia coli.*

Prohibida la copia total o parcial del presente informe. Toda copia autorizada deberá llevar este sello en original y en cada una de sus páginas. Los presentes resultados analíticos corresponden exclusivamente a la muestra recibida en el Laboratorio y no a otros materiales de la misma procedencia. La información identificada con ++ corresponde a información suministrada por el cliente de la cual laboratorios Dr. Calderón Labs no se hace responsable ya que puede afectar la validez de los resultados\*



Lugar de Ensayo: Laboratorios Doctor Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda.

*Somos su mejor alternativa...*

*Juan Camilo Amezcua*  
Microbiólogo

*Felipe Calderón Sáenz*  
Director Técnico; T.P. 3186

Pag. 1/1  
Fin del informe.