

UNIVERSIDAD DE HUANUCO
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA AMBIENTAL



TESIS

**“Comparación de combustión microbiana en la alcachofa
(Cynara scolymus) y la manzana (Malus domestica) para la
producción de energía en bioceldas”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
AMBIENTAL**

AUTOR: Espinoza Baylón, Cristhian

ASESOR: Zacarías Ventura, Héctor Raúl

HUÁNUCO – PERÚ

2026



UDH
UNIVERSIDAD DE HUANUCO
<http://www.udh.edu.pe>

U

D

H

TIPO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN:

- Tesis (☒)
- Trabajo de Suficiencia Profesional(☐)
- Trabajo de Investigación (☐)
- Trabajo Académico (☐)

LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN: Biotecnología y Nanotecnología

AÑO DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN (2020)

CAMPO DE CONOCIMIENTO OCDE:

Área: Ingeniería, Tecnología

Sub área: Ingeniería Ambiental

Disciplina: ingeniería ambiental y geológica

DATOS DEL PROGRAMA:

Nombre del Grado/Título a recibir: Título Profesional de Ingeniero ambiental

Código del Programa: P09

Tipo de Financiamiento:

- Propio (☒)
- UDH (☐)
- Fondos Concursables (☐)

DATOS DEL AUTOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 74406957

DATOS DEL ASESOR:

Documento Nacional de Identidad (DNI): 22515329

Grado/Título: Doctor en ciencias de la educación

Código ORCID: 0000-0002-7210-5675

DATOS DE LOS JURADOS:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	GRADO	DNI	Código ORCID
1	Morales Aquino, Milton Edwin	Doctor en medio ambiente y desarrollo sostenible	44342697	0000-0002-2250-3288
2	Tarazona Mirabal, Herman Atilio	Magister en salud pública y gestión sanitaria gestión y planeamiento educativo	22411008	0000-0001-5319-4708
3	Camara Llanos, Frank Erick	Doctor en ciencias de la salud	44287920	0000-0001-9180-7405



UNIVERSIDAD DE HUÁNUCO

Facultad de Ingeniería

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA AMBIENTAL

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO(A) AMBIENTAL

En la ciudad de Huánuco, siendo las 17:00 horas del día 24 del mes de julio del año 2026, en cumplimiento de lo señalado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad de Huánuco, se reunieron el sustentante y el **Jurado Calificador** integrado por los docentes:

- Dr. Milton Edwin Morales Aquino (Presidente)
- Dr. Frank Erick Camara Llanos (Secretario)
- Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal (Vocal)

Nombrados mediante la **Resolución N° 1299-2026-D-FI-UDH** para evaluar la Tesis intitulada: **"Comparación de combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la manzana (*Malus domestica*) para la producción de energía en bioceldas"**, presentado por el (la) Bach. **ESPINOZA BAYLON, CRISTHIAN** para optar el Título Profesional de Ingeniero(a) Ambiental.

Dicho acto de sustentación se desarrolló en dos etapas: exposición y absolución de preguntas: procediéndose luego a la evaluación por parte de los miembros del Jurado.

Habiendo absuelto las objeciones que le fueron formuladas por los miembros del Jurado y de conformidad con las respectivas disposiciones reglamentarias, procedieron a deliberar y calificar, declarándolo(a) Aprobado Por unanimidad con el calificativo cuantitativo de 14 y cualitativo de suficiente (Art. 47)

Siendo las 18:15 horas del día 24 del mes de Julio del año 2026, los miembros del Jurado Calificador firman la presente Acta en señal de conformidad.


Dr. Milton Edwin Morales Aquino
DNI: 44342697
ORCID: 0000-0002-2250-3288
Presidente


Dr. Frank Erick Camara Llanos
DNI: 44287920
ORCID: 0000-0001-9180-7405
Secretario


Mg. Herman Atilio Tarazona Mirabal
DNI: 22411008
ORCID: 0000-0001-5319-4708
Vocal



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El comité de integridad científica, realizó la revisión del trabajo de investigación del estudiante: **CRISTHIAN ESPINOZA BAYLON**, de la investigación titulada "**Comparación de combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la manzana (*Malus domestica*) para la producción de energía en bioceldas**", con asesor(a): **HÉCTOR RAÚL ZACARÍAS VENTURA**, designado(a) mediante documento: **RESOLUCIÓN N° 1584-2024-D-FI-UDH** del P. A. de INGENIERÍA AMBIENTAL.

Puede constar que la misma tiene un índice de similitud del **18 %** verificable en el reporte final del análisis de originalidad mediante el Software Turnitin.

Por lo que concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio y cumple con todas las normas de la Universidad de Huánuco.

Se expide la presente, a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Huánuco, 01 de junio de 2026



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

Nota: La presente constancia tendrá una **vigencia de cuatro (4) meses**, conforme a lo establecido en la **Directiva del Software de Identificación de Similitud y Originalidad**, aprobada mediante **Resolución N° 532-2024-P-CD-UDH**.

Vencido dicho plazo, el solicitante deberá realizar nuevamente el procedimiento correspondiente para la emisión de una nueva constancia.

Válida hasta el 01 de octubre de 2026.

121. Espinoza Baylón, Cristhian.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.udh.edu.pe

Fuente de Internet

3%

2

repositorio.unas.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

dspace.esPOCH.edu.ec

Fuente de Internet

2%

4

hdl.handle.net

Fuente de Internet

2%

5

www.engormix.com

Fuente de Internet

2%

6

repositorio.upct.es

Fuente de Internet

1%

7

alicia.concytec.gob.pe

Fuente de Internet

1%



MANUEL E. ALIAGA VIDURIZAGA
D.N.I.: 71345687
cod. ORCID: 0009-0004-1375-5004

DEDICATORIA

A mi madre Aurora Nicolasa quien me acompaño en cada paso compartiendo el esfuerzo para lograr estos pequeños avances, este trabajo es dedicado para ella en forma de retribución por su tiempo y esmero sobre todo su paciencia a lo largo de toda esta etapa.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a aquellas personas cuya compañía a lo largo del desarrollo de este trabajo fueron importantes sobre todo a Shanae Cuba S. y Miguel Palomino B., por su apoyo y el tiempo brindado, también a cada uno de mis jurados por su dedicación en cada revisión que fomento una investigación más profunda.

INDICE

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
RESUMEN	IX
ABSTRACT	X
INTRODUCCIÓN	XI
CAPÍTULO I	13
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	14
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	14
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. OBJETIVO GENERAL.....	15
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA.....	16
1.4.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA	16
1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.6.2. RECURSO FINANCIERO.....	17
1.6.3. RECURSO MATERIAL.....	17
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	18
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	18
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	20
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES	24
2.2. BASES TEÓRICAS	25
2.2.2. CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS (CCM)	27
2.2.3. REACCIONES DENTRO DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBINA CCM.....	32
2.2.4. ELECTRODOS	33

2.2.5. ÁNODO.....	33
2.2.6. CÁTODO	33
2.2.7. MEMBRANA DE INTERCAMBIO DE PROTONES (PEM)	34
2.2.8. MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE ELECTRONES	34
2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES	35
2.3.2. MATERIA ORGANICO	35
2.3.3. SUSTRATO	35
2.3.4. PUENTE SALINO	36
2.3.5. ELECTROFERMENTACION	36
2.4. HIPÓTESIS	36
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL	36
2.5. VARIABLES	36
2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN	36
2.5.2. VARIBALE DE EVALUACION	36
2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	37
CAPÍTULO III	38
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	38
3.1.1. ENFOQUE	38
3.1.2. ALCANCE O NIVEL	38
3.1.3. DISEÑO	38
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	39
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS...40	
3.3.2. INSTRUMENTOS DE MEDICION (EQUIPO)	41
3.4. PROCEDIMEINTO EXPERIMENTAL	44
3.5. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....47	
CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	51
4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS	51
4.1.1. CONDICIONES AMBIENTALES DEL ENSAYO	78
4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	78
4.2.1. COMPARAR EL PICO DE RENDIMIENTO	78
4.2.2. COMPARAR LA PRODUCCIÓN SOSTENIDA.....	79
CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS	81
5.1. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN ..81	

5.1.1. RESPECTO AL OBJETIVO GENERAL	81
5.1.2. RESPECTO AL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO	83
5.1.3. RESPECTO AL SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO	84
5.1.4. RESPECTO AL TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO	85
5.1.5. RESPECTO AL CUARTO OBJETIVO ESPECÍFICO	86
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90
ANEXOS	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de operacionalización de variables.....	37
Tabla 2 Diseño experimental	39
Tabla 3 Descripción de la variación de resistencia interna durante la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) para incrementar la producción de energía en biocelda	51
Tabla 4 Descripción de la variación de resistencia interna durante la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) para incrementar la producción de energía en biocelda.....	53
Tabla 5 Descripción de la variación de voltaje durante la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) para incrementar la producción de energía en bioceldas.....	57
Tabla 6 Descripción de la variación de voltaje durante la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) para incrementar la producción de energía en bioceldas	59
Tabla 7 Descripción de la producción de potencia (μW) durante la combustión microbiana en la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) en bioceldas	63
Tabla 8 Descripción de la producción de potencia (μW) durante la combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>)) en bioceldas.....	65
Tabla 9 Descripción de la producción de potencia (μW) durante la combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) en bioceldas.....	67
Tabla 10 Descripción de la producción de Energía eléctrica (μWh) durante la combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) en bioceldas.....	71
Tabla 11 Descripción de la variación de masa al inicio y al final de combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) para incrementar la producción de energía en bioceldas.....	75
Tabla 12 Prueba de normalidad.....	77
Tabla 13 Prueba de hipótesis.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Membranas más comunes en MFCs	27
Figura 2 Esquema del modelo una CCM (con cátodo y ánodo).	28
Figura 3 Representación del funcionamiento de la celda de combustible microbiana.	29
Figura 4 Representación del principio de una CCM (No a escala).....	30
Figura 5 Celda microbiana de biocombustible.	31
Figura 6 Diseño del prototipo de biocelda.....	47
Figura 7 Descripción de la variación de resistencia interna durante la combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) para incrementar la producción de energía en bioceldas.	55
Figura 8 Descripción de la variación de voltaje durante la combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) para incrementar la producción de energía en bioceldas.	61
Figura 9 Descripción de la producción de potencia (μW) durante la combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) en bioceldas.....	69
Figura 10 Descripción de la producción de Energía eléctrica (μWh) durante la combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) en bioceldas	73

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo principal la comparación de combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la manzana (*Malus domestica*) para la producción de energía en bioceldas, evaluando parámetros de voltaje, resistencia y la pérdida de masa del sustrato para obtener la potencia eléctrica y determinar su eficiencia energética, los resultados obtenidos durante el monitoreo de los 18 días con tomas de únicas por días se dividió en dos fases para su análisis la fase de pico de rendimiento donde se obtuvo para la manzana 20,7 Joule equivalente a una producción de energía de 5 736 μWh mientras la alcachofa un poco menos con 13,5 Joule equivalente a una producción de energía de 3 763,2 μWh en los primeros 7 días en la fase de producción sostenida obtenemos que la alcachofa resulta conservar su estabilidad por más días que la manzana quien solo logra mantener su rendimiento por tres días para luego desplomarse.

Palabras claves: Producción de energía, celda de combustión microbiana, voltaje, microorganismos, potencial eléctrico.

ABSTRACT

The main objective of this work was to compare microbial combustion in artichoke (*Cynara scolymus*) and apple (*Malus domestica*) for energy production in biofuel cells, evaluating parameters such as voltage, resistance, and substrate mass loss to obtain electrical power and determine energy efficiency. The results obtained during 18 days of monitoring with single daily readings were divided into two phases for analysis: the peak performance phase, where the apple obtained 20.7 Joules equivalent to an energy production of 5,736 μWh , while the artichoke obtained slightly less with 13.5 Joules equivalent to an energy production of 3,763.2 μWh in the first 7 days; and the sustained production phase, where the artichoke maintained its stability for more days than the apple, which only managed to maintain its performance for three days before collapsing.

Keywords: Energy production, bio-cells, microorganisms, voltage, resistance, performance.

INTRODUCCIÓN

En la rama de ingeniería ambiental, se desarrollan conceptos que busquen estar en equilibrio con el medio ambiente juntando teorías multidisciplinarios que combinados a la tecnología permitan su avance, es así que nacen los sistemas de bioelectroquímicos (BES), cuya característica principal es la capacidad que algunos microorganismos tienen para acelerar procesos electroquímicos, donde se produzca una transferencia de electrones durante los procesos de oxidación y reducción, cuya finalidad es la producción de corriente eléctrica, teóricamente es un concepto funcional y asienta la bases para un desarrollo experimental que ayude a validar su funcionamiento en un campo real. (Mariana, 2016). Uno de los sistemas bioelectroquímicos más conocidas son las celdas de combustible microbianas (CCM), que contiene bacterias con capacidad de expulsar electrones fuera de su membrana celular producto de su metabolismo que consigue al degradar los sustratos con alto contenido energético como es el caso de los carbohidratos. (Oscar, 2025).

No obstante, después de tener los fundamentos teóricos establecidos en el desarrollo de los sistemas bioelectroquímicos es necesario realizar los estudios experimentales que nos permitan comparar el comportamiento de distintos sustratos y su relación con la generación de potencial eléctrico y así obtener datos objetivos para nos permitan obtener mejores rendimientos. (Mirella, 2021).

Es por ello que la presente investigación se enfoca en la comparación del potencial eléctrico dentro en un prototipo de celda de combustión microbiana (CCM), llevando a la manzana con características de tener azúcares simples como la glucosa y a la alcachofa por su contenido de carbohidratos estructurales y de mayor complejidad como la celulosa ambos sustratos con el propósito de contribuir al fortalecimiento de conocimiento

práctico sobre el comportamiento de sustratos frutales y hortalizas en un sistema bioelectroquímico. Este resultado nos permitirá contrastar las bases teóricas existentes y permitirá información relevante para futuros estudios experimentales dentro del ámbito de la ingeniería ambiental.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Estos conceptos que dieron origen a la bioelectroquímica como una rama que une a la biología, la química y la ingeniería donde aborda la comprensión de los procesos redóx en bacterias y enzimas; en un sistema biológico que pueden generar y almacenar energía eléctrica. (Dolly, 2013).

La tecnología más conocida es la de las celdas de combustible microbianas (CCM), que estudia principalmente la generación de energía eléctrica obtenida de microorganismo; surgió dándose apoyo en conceptos como el flujo de corriente, transporte de electrones y la oxidación microbiana. (Brus, 2006).

A medida que se busca mayor eficiencia se usan simulaciones y análisis en los diseños de estos sistemas multidisciplinarios complejos que faciliten pasar de un sistema definido teórico a poder ejecutarlo de manera funcional, las celdas de combustión microbianas (CCM), surgen como prototipos en el estudio de tratamiento de aguas residuales, en los cuales destacó por su actividad metabólica la cual generaba alto potencial eléctrico a diferencia de otros sistemas (BES), esto motivo a que se diseñaran diversos modelos de celdas de combustión usando el principio de una cámara anódica y una cámara catódica separadas por una membrana de intercambio protónico. (Oscar, 2025).

Es entonces que entran en juego los sustratos orgánicos y su diferente composición orgánica, su contenido de azúcares, sus propiedades biodegradables y oxidantes que son la génesis para la generación de electricidad. (Pilar & Ana, 2020).

Es la ausencia de datos comparativos específicos entre sustratos en una celda de combustión microbiana el cual limita el conocimiento práctico necesarios para la corroboración teórica; y

por ello surge la necesidad de desarrollar estudios experimentales que permitan comparar el potencial eléctrico usando diferentes residuos orgánicos como frutales y hortalizas como es el caso de la manzana y la alcachofa en la generación de bioelectricidad en el campo de la ingeniería ambiental.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cuál es la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la manzana (*Malus domestica*) para la producción de energía en bioceldas?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es la variación de resistencia interna durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) para incrementar la producción de energía en bioceldas?
- ¿Cuál es la variación de voltaje durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) para incrementar la producción de energía en bioceldas?
- ¿Cuál es la producción de potencia (μW) durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) en bioceldas?
- ¿Cuál es la variación de masa al inicio y al final de combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) para incrementar la producción de energía en bioceldas?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Comparar la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la manzana (*Malus domestica*) para la producción de energía en bioceldas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir la variación de resistencia interna durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) para incrementar la producción de energía en bioceldas.
- Describir la variación de voltaje durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) para incrementar la producción de energía en bioceldas.
- Describir la producción de potencia (μW) durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) en bioceldas.
- Describir la variación de masa al inicio y al final de combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) para incrementar la producción de energía en bioceldas.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La teoría de combustión microbianas tiene conceptos teóricos desarrollados en sus respectivos campos; ya sea el campo de la microbiología, enzimas y catalizadores; el campo del transporte de energía y la fermentación de materiales orgánicos, para lo cual debemos tener en cuenta el desarrollo del campo experimental, ya que es necesario corroborar la información teórica y rescatar un diagnóstico para una mejora continua de los

procesos que comprenden el funcionamiento de las bioceldas, así mismo estos datos nos brindan eficacia al momento de su aplicación.

1.4.1. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Esta investigación se fundamenta en la necesidad de comprobar dos modelos de metabolismo, ya que la forma de medir la eficiencia eléctrica está relacionada directamente a la actividad de crecimiento microbiano y teniendo varios diseños mostrados vemos la falta de atención en el metabolismo de los

sustratos dentro de estas cámaras es así que ponemos en contraste los carbohidratos simples como la manzana frente a los polímeros complejos como la alcachofa. (Maxvell, 2018).

1.4.2. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

El presente estudio tiene un enfoque experimental, con el propósito de comparar la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la manzana (*Malus domestica*) para la producción de energía en bioceldas.

Con el objetivo demostrar que hay una diferencia significativa de combustión microbiana con el sustrato de la manzana y la alcachofa. Este enfoque nos permite analizar la diferencia obtenida al exponer de forma experimental la definición teórica de los azúcares simples como la fructuosa y su metabolismo para la posterior liberación de electrones y la celulosa un polisacárido complejo.

Asimismo, se revisaron antecedentes científicos vemos como se demuestra la capacidad de potencial eléctrico de estos compuestos en distintos trabajos para la mejora de la CCM. (Maxwell, 2018).

1.5. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Como toda investigación encontraremos limitación en este caso vemos como la producción de energía en bioceldas tenemos

una limitación práctica ya que los diferentes sustratos reaccionan de manera diferente y necesitaríamos números pruebas para determinar el sustrato que mayor aporte pueda generar, aunque esto no sea costoso si requiere gran cantidad de tiempo y monitoreo constante en la fase experimental. También vemos que estos productos orgánicos deberán ser probados con límite de tiempo ya que como sabemos al ser productores orgánicos estos se deterioran más rápidos sino están conservados en frigoríficos u otros congeladores en este caso necesitaríamos una muestra pequeña de cada producto orgánico y esto nos demandaría una recolección de insumo casi el mismo día de la ejecución experimental.

1.6. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. RECURSO HUMANO

La investigación fue viable tanto en términos sociales como ambientales. Se contó con el apoyo de recursos humanos clave, incluyendo la guía del asesor académico y de los jurados que aportaron a la metodología y el diseño técnicos para elaborar el experimento.

1.6.2. RECURSO FINANCIERO

Se dispuso de los recursos económicos necesarios para llevar a cabo la investigación. el tesista asumió los costos vinculados a la adquisición de insumos, materiales y otros gastos logísticos asociados al desarrollo del experimento.

1.6.3. RECURSO MATERIAL

Se tuvo acceso a los materiales indispensables para la recolección y medición de los sustratos como fueron la balanza electrónica, el voltímetro y las botellas plásticas.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Castro & Escobar (2023), en su tesis titulada: “IMPLEMENTACIÓN DE CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE LA BIOMASA RESIDUAL OBTENIDA DE LA POST COSECHA DEL CULTIVO DE PLÁTANO”, desarrollada en la Universidad de Córdoba, Colombia. Tuvo como objetivo implementar y evaluar una celda de combustible microbiana (CCM) utilizando biomasa residual del cultivo de plátano (pseudo tallo) con el fin de generar energía eléctrica y analizar su rendimiento energético. La metodología se desarrolló bajo un enfoque experimental de tipo aplicado, en la cual se implementó una celda de combustible microbiana (CCM) de doble cámara utilizando biomasa residual de plátano como sustrato en el ánodo. Se empleó un puente salino con NaCl como electrolito y electrodos conductores conectados a un circuito externo en donde se evaluó el rendimiento energético mediante la medición de voltaje y corriente bajo diferentes concentraciones de biomasa. Como resultado tuvieron que la mayor producción fue entre las curvas de voltaje graficadas se destaca la configuración de 10 g/l NaCl con un valor 402 *mV* siendo este el mayor voltaje generado. Las demás configuraciones produjeron un voltaje máximo de 381 *mV* para 5,2 g/l NaCl, 354 *mV* para 10 g/l KCl y 356 *mV* para 5,2 g/l KCl. concluyendo que los residuos de la cosecha del plátano pueden aprovecharse para generar energía mediante celdas de combustible microbianas.

Castro (2022), en su tesis: “EVALUACIÓN DEL

POTENCIAL ENERGÉTICO DE SUBPRODUCTOS DEL BENEFICIO DEL CACAO PARA LA OBTENCIÓN DE BIOELECTRICIDAD EN CELDAS DE COMBUSTIÓN MICROBIANAS”, en la Universidad El Bosque, Colombia tuvo como objetivo: evaluación del potencial energético de subproductos del beneficio del cacao para la obtención de bioelectricidad en celdas de combustión microbianas. Su metodología para este estudio se usaron lodos anaerobios como inóculo para la celda de combustión microbiana provenientes de un biodigestor diseñado en el proyecto Codigestión anaerobia para el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos para la determinación de SV y ST inicialmente se realizó un pretratamiento del lodo de inoculación siguiendo el procedimiento se denomina choque térmico a temperatura de selección. Teniendo como resultado que el mejor rendimiento fue el sistema mixto de Lixiviado-Mucílago en la CCM de 1860 ml, con valores de hasta 29,3 mV y una remoción de DQO de 57,9%. Y se concluye que es posible generar valores significativos de bioelectricidad empleando subproductos de cacao en un sistema mixto, con simultánea remoción de materia orgánica.

Pincay & Rodríguez (2021). En su tesis titulada: “SISTEMA EMBEBIDO PARA MEDIR LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA CON CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS”, en la Universidad Agraria del Ecuador. Tuvo como objetivo fue desarrollar un sistema embebido a pequeña escala que ayude en la medición de voltaje emitido por la producción de energía mediante el uso de aguas residuales con la ayuda de bioceldas, la metodología empleada fue un modelo de prototipo evolutivo descrito como una técnica y herramienta como objetos, artefactos y dibujos con el objetivo de ofrecerle al cliente la oportunidad de invertir y construir prototipos

descomponiendo problemas grandes de tal forma que se puedan evaluar y atender de mejor manera ayudando a acercarse a la solución, para lo cual no debe ser necesario un objeto, sino que también puede ser cualquier cosa con la que los usuarios puedan interactuar. teniendo como resultado la producción de bioelectricidad se alcanzaron niveles de voltajes máximos de entre 850 hasta 900 mV en cada una de las celdas. Concluyendo que el sistema es viable para experimentación y obtención de datos a pequeña escala sin complicaciones en la medición y siendo un sistema que adopta muy bien la producción de energía en una celda de combustible microbiana.

2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Rojas et. al., (2023), en su artículo: “GENERACIÓN DE ENERGÍA VERDE EN PILAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS DE UNA SOLA CÁMARA UTILIZANDO RESIDUOS DE TOMATE”, en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Tuvo como objetivo el uso de residuos de tomate como sustrato (combustible) en celdas de combustible microbianas de cámara única (scMFC) a pequeña escala para la generación de energía eléctrica. Como su metodología fue analizar los grupos funcionales del sustrato mediante espectrofotometría infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y se realizó un análisis microbiológico en los electrodos para identificar los microorganismos responsables del proceso electroquímico. Los resultados muestran picos de voltaje y una corriente eléctrica de $3,647 \pm 0,157$ mA y $0,957 \pm 0,246$ V. Se midió un pH de $5,32 \pm 0,26$ en el sustrato con una conductividad de corriente eléctrica de 148.701 ± 5849 mS/cm y una resistencia interna (Rint) de 77,517

$\pm 8,541 \Omega$. Concluyendo que los datos encontrados muestran el potencial de este residuo como fuente de combustible para la generación de una corriente eléctrica de manera sostenible y respetuosa con el medio ambiente, generando en un futuro cercano un mecanismo para la reutilización de residuos de manera beneficiosa para agricultores, comunidades y empresas agroindustriales.

Vargas & Paz (2023), en su tesis: “GENERACION DE BIOELECTRICIDAD A PARTIR DE PLANTAS ACUATICAS: EICHHORNIA CRASSIPES, LEMNACEAE SPIRODELA Y PISTIA STRATIOTES EN CELDAS DE COMBUSTIBLES

MICROBIANA (CCM-P)”, realizado en la Universidad Peruana Unión, tuvo como objetivo general es la generación de bioelectricidad en la remoción de macronutrientes con tres especies de plantas acuáticas. Con un diseño de bloques completamente aleatorio con tres tratamientos en cuatro periodos diferentes. Como resultado obtuvo un voltaje máximo en las especies lechuga con 88.556 mv, Jacinto con 47.27 mv y la lenteja con 20,24 mv con una intensidad de corriente de 0.09 mA, 0,05 mA y 0,02 mA respectivamente. Se concluyó que durante la etapa operática el nitrógeno el fosforo y la materia orgánica fueron removidos del agua por acción de las plantas acuáticas y que comprobar la generación de bioelectricidad en las CCM.

Rojas et. al., (2021), en su investigación: “GENERACIÓN DE BIOELECTRICIDAD MEDIANTE DESECHOS DE UVAS”,

realizado en el Instituto de Investigación en Ciencias y Tecnología de la Universidad Cesar Vallejo, tuvo como objetivo demostrar la generación de electricidad con residuos orgánicos de uvas, tuvo como diseño un CCM con tres repeticiones constituida por una cámara anódica única

de 500ml con un electrodo de grafito y uno de zinc para cerrar el circuito externo, teniendo como resultado un voltaje máximo de 0.89 V y una corriente de 2.1 mA y una resistencia de 428,5 ohm en su estado más favorable. Se concluyó que se puede obtener electricidad exitosamente usando desechos de uvas empleando las CCM fabricados con bajos costos, electrones de grafito y zinc, teniendo valores demandantes entre los días 18 y 15.

Valdiviezo (2021), en su tesis titulada: “INFLUENCIA DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD USANDO CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS”, realizado en la Universidad Cesar Vallejo, Trujillo. Tuvo como objetivo evaluar la influencia de los residuos de tomate, piña y cebolla en la generación de electricidad usando celdas de combustible microbianas de una sola cámara, con su metodología diseño un experimento tomando la variable independiente (residuos de tomate, piña y cebolla) la cual generó un efecto sobre la variable dependiente que (generación de corriente eléctrica). Asimismo, esta investigación fue transversal ya que los parámetros fueron evaluados en un determinado periodo de tiempo (32 días), obteniendo como resultado que en los primeros días el sustrato de la cebolla genera voltaje de pico en el día 5 con 1.01 V y en su fase final decae a 0.44V, mientras que el tomate genera voltajes iniciales de 0.811 V alcanzando un pico en el día 12 con 0.957 V para luego decaer de forma precipitada y por último las CCMs con sustrato de piña se mantiene ligeramente constante hasta el día 16 donde muestra un voltaje pico de (0.99 V), para después descender muy ligeramente hasta el último día (0.81 V). concluyendo que el sustrato piña presenta un mejor desempeño en cuanto a la generación de voltaje ($0.99 \pm$

0.036 V), intensidad de corriente (4.96 ± 0.548 mA) y grados brix (6) durante el tiempo de monitoreo de las CCMs, mientras que la cebolla presenta valores más bajos, por otra parte, en cuanto a la conductividad el sustrato piña disminuye paulatinamente sus valores a comparación de los otros sustratos, asimismo en la resistencia el sustrato cebolla presenta una menor resistencia con un valor promedio de $154.39 \pm 5.23 \Omega$, seguido por el sustrato tomate y cebolla, por último en cuanto al pH la piña mantiene un rango entre 3.5 a 5.5 (pH ácido), en comparación al sustrato tomate y cebolla los cuales presentan una alta variación en los valores de pH lo cual incide en la generación de electricidad.

Chacon & Meneses (2023), en su tesis titulada: "INFLUENCIA DE LAS ENMIENDAS ORGÁNICAS EN CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS FOTOSINTÉTICAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON LA ESPECIE AVENA SATIVA L.", en la Universidad Continental. Tuvo como objetivo analizar la influencia de las enmiendas orgánicas en las Celdas de Combustible Microbianas Fotosintéticas para la generación de energía eléctrica con la especie Avena sativa L., Huancayo – 2023 en la que se determina las propiedades fisicoquímicas del suelo y las enmiendas orgánicas (compost, vermicompost y biochar), los factores ambientales del entorno y los valores de las magnitudes eléctricas, además de analizar el desarrollo del tallo de la especie Avena sativa L. durante el tiempo de medición. Obteniendo como resultado respecto al voltaje, en el que el promedio para las celdas de control fue un valor máximo de 16.673 mV, mínimo de 12.973 mV y promedio de 14.451 mV, para las celdas con compost se registró un valor máximo de 24.447 mV, mínimo de 14.613 mV y promedio de 19.405 mV,

las celdas con la enmienda del vermicompost registraron un valor máximo de 22.653 mV, mínimo de 11.200 mV y promedio de 16.492 mV y para las celdas con biochar se obtuvo un valor máximo de 25.553 mV, mínimo de 16.733 mV y promedio de 20.953 mV. Concluyendo que existen diferencias significativas entre los grupos. Por lo tanto, la aplicación de las enmiendas orgánicas (compost, vermicompost, biochar) en celdas de combustible microbianas fotosintéticas con la especie Avena sativa L. influye de manera significativa en la generación de energía eléctrica con la especie Avena sativa L. y que los factores ambientales (radiación solar, temperatura, humedad del ambiente y del suelo) del entorno en la generación de energía eléctrica son relevantes para el diseño y la aplicación experimental.

2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Reyes (2023), en su tesis titulada: “GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA A PARTIR DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE CACAO MEDIANTE CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANA”, en la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tuvo como objetivo encontrar una alternativa de solución a la contaminación ambiental, utilizando esta agua para generar corriente eléctrica mediante celdas de combustible microbiana evaluaron tres tiempos de retención a 24, 48, 72 h, para su metodología se empleó las celdas de doble cámara en forma de H, conectadas por medio de un tubo que contiene de una membrana selectiva Agar-agar cada celda de combustible con una capacidad de 2,5L. Luego se realizó las mediciones de los parámetros correspondientes tomando las muestras extraídas de los efluentes de la cooperativa agroindustrial alto Huallaga, siguiendo los procedimientos para la propagación de

microorganismos, como fuente de energía. Teniendo como resultado la obtención de T1 un voltaje de 1248 mV, con una remoción de 36,55 mg/L; para el T2 un voltaje de 765 mV, con una remoción de 57,4 mg/L y para el T3 un voltaje de 440 mV, con una remoción de 90,48mg/L de materia orgánica de agua residual. Concluyendo que la energía eléctrica producida con la celda de combustible microbiana es directamente proporcional a la concentración de oxígeno disuelto de la celda aeróbica y que, si es posible generar energía eléctrica a partir de aguas residuales de la industria de cacao con oxigenación natural en la celda aeróbica en una celda de combustible microbiana, teniendo una carga orgánica de 220,615 mg/L.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. SISTEMAS BIOELECTROQUÍMICOS

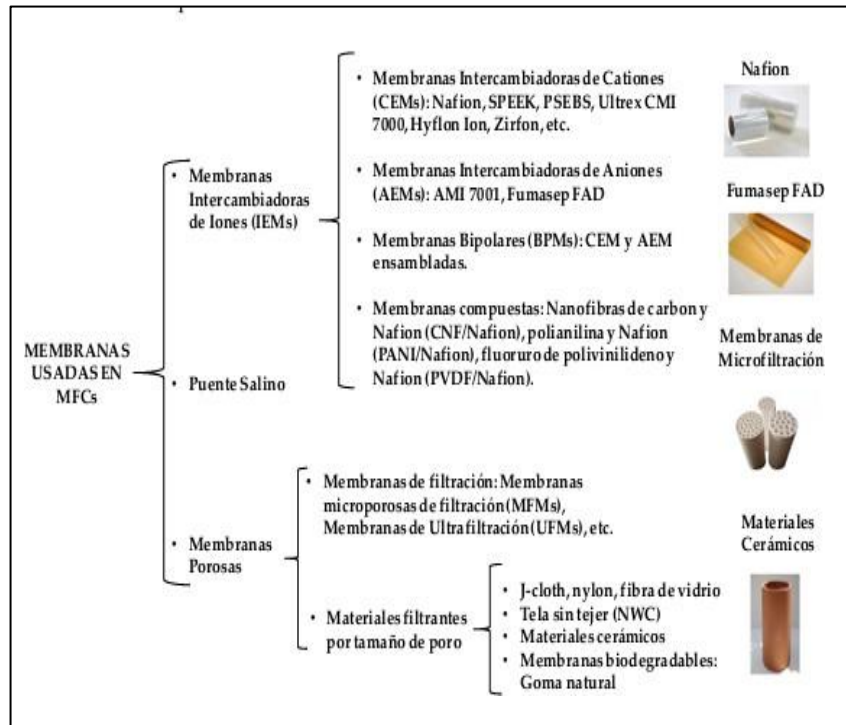
Los sistemas bioelectroquímicos son aquellos sistemas desarrollados que se basan en la capacidad de algunos microorganismos para catalizar diferentes reacciones electroquímicas, especialmente aquellas que involucren una transferencia de electrones, tal es el caso de la oxidación – reducción. Según su modo de operación y sus aplicaciones se pueden clasificar en cuatro: las celdas de combustible microbiano (CCM) para la generación de energía eléctrica, celdas de electrolisis microbiana (CEM) cuya finalidad es la producción de hidrogeno, celdas de electro síntesis microbiana (CESM) usados para la síntesis de compuestos químicos orgánicos y por ultimo las celdas de desalinización microbiana (CDM) empleadas en la desalinización del agua y otros tratamientos, de todos los modelos las CCM son el

grupo más estudiado y generan mayores aplicaciones. (Mariana et al., 2016).

Son sistemas bioelectroquímicos que surgen a partir de sistemas biológicos cuya finalidad era la generación de electricidad a partir de la degradación de alimentos de origen orgánicos lo cual se lleva a cabo después de varias reacciones químicas conocidas como catabolismo, a estos microorganismos se les conoce como bacterias electrogénicas las cuales tienen están en lugares anaeróbicos como son el caso de sedimentos de ríos, estos microorganismos capaces de ceder o recibir electrones pueden cumplir esta función debido a que poseen una proteína llamada Citocromo C, que se encuentra en la membrana celular y se aísla por medio de una solución salina lo que se busca en esta proteína es que también la podamos encontrar en células anaeróbicas como aeróbicas ya que es la causante de usar una variedad de compuestos que son los responsables de la respiración celular en las celular eucariotas y las procariotas estos procesos requieren un ambiente favorable ya que se ha demostrado concluyentemente que los factores como la luz solar, la condición de temperaturas externa a las CCM son relevantes para que los microorganismos se desempeñen a su máximo potencial y realicen la expulsión de electrones excedentes después de la degradación de material orgánico y liberación de energía en proceso catabólico. (Paul & Luis, 2019).

Figura 1

Membranas más comunes en MFCs



Nota. Esquema que muestra los tres tipos de clasificaciones de las membranas y sus derivados de acuerdo al uso y la finalidad en MFCs, Alberto, 2019, <http://hdl.handle.net/10317/8285>

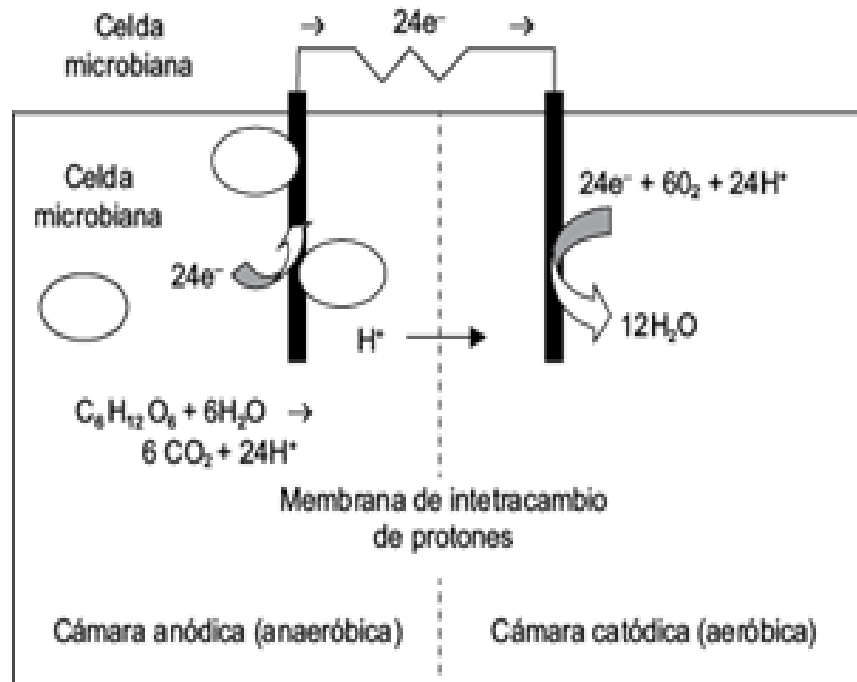
2.2.2. CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS (CCM)

Las CCM esencialmente están compuestas por dos cámaras, una anaeróbica y otra aeróbica y en medio de ambas un separador. La cámara anaeróbica es donde se depositan los sustratos orgánicos que después pasaran a oxidarse con medio de los microorganismos como resultado producirá protones, electrones y CO₂. En el diseño para las dos cámaras ya sea el sistema H o el convencional se coloca un electrodo, el ánodo en la cámara aeróbica y el cátodo en la cámara aeróbica una vez entra en funcionamiento los electrones liberados en la cámara anódica serán captados por el ánodo para ser trasferidos por un circuito externo hacia el cátodo, así mismo en la cámara anódica se generan protones que salen hacia la cámara catódica por medio del separador donde se combinan con el oxígeno del aire para reducir a agua con los electrones que captan directamente

del cátodo, debido a que esta reacción no está catalizada por microorganismos el cátodo se refiere como abiótico. (Dolly et al., 2013).

Figura 2

Esquema del modelo una CCM (con cátodo y ánodo).



Nota. Esquema para una celda de combustible microbiana donde se muestra el balance de glucosa y el proceso de liberación de electrones a la cámara catódica, Maxvell, 2018, <https://www.redalyc.org/journal/370/37056657015/html/>.

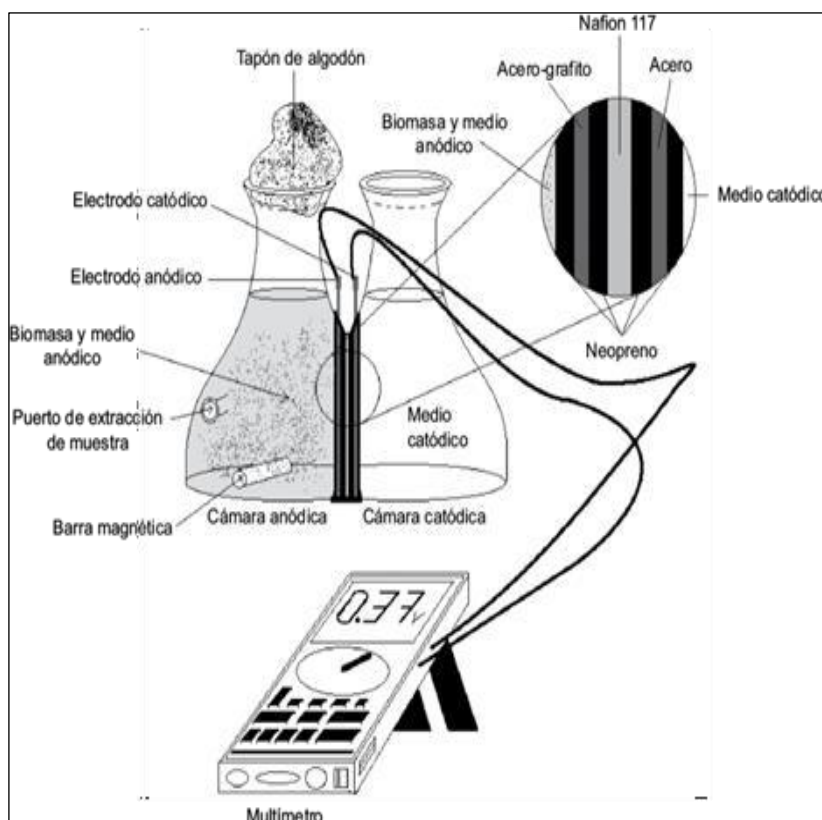
Se diseña un sistema de doble cámara para una CCM, las cámaras con las mismas dimensiones saturadas de agua al mismo nivel con la diferencia que la biomasa o sustrato se coloque en la cámara anódica, ambas cámaras separadas por una membrana de Nafión 17, que aplica como una membrana de intercambio de protones, la cual está adherida a ambas cámaras para los electrodos empleando dos placas de acero inoxidable de 1 mm de diámetro, colocando un multímetro para la medición de corriente eléctrica. (Maxvell et al., 2018).

Este sistema nos permite generar energía en mínimos voltajes y corriente en el orden de milivoltios y miliamperios, a partir de la digestión metabólica de los microorganismos electrógenos, los electrones producidos son captado por el ánodo

y son transferidos por el conductor externo, aunque estos electrodos son capaces de captar a los electrones empleando mediadores o sin e uso de mediadores lo que requieren es un receptor para un óptimo funcionamiento del sistema es así que el oxígeno cumple la función siendo un receptor natural. (Rolando, 2023).

Figura 3

Representación del funcionamiento de la celda de combustible microbiana.



Nota. Demostración del funcionamiento de la cámara anódica y catódica para la recolección de corriente eléctrica por medio de un multímetro. [Imagen], Maxvell et al., 2018, <https://www.redalyc.org/journal/370/37056657015/html/>

Las CCM poseen una particularidad con respecto a otros sistemas de generación de electricidad ya que operan con una eficiencia aceptable a temperatura ambiente y temperaturas bajas, una de las dificultades que presentan las CCM es la relativa baja potencia de electricidad esto se incrementa cuando los dispositivos poseen escalas mayores. Un ejemplo de ampliación cuando se incluye un recorrido de larga distancia para los protones generados lejos de la membrana de intercambio de

protones con el cátodo el diseño de una célula H, involucraba dos recipientes conectados por un canal y una membrana su función era que mantener los electrolitos del ánodo y cátodo separados. (Paul & Luis, 2019).

El proceso de oxidación ocurre en la cámara anaeróbica mediante el metabolismo microbiano. (Rolando, 2023).

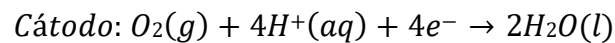
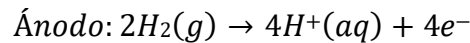
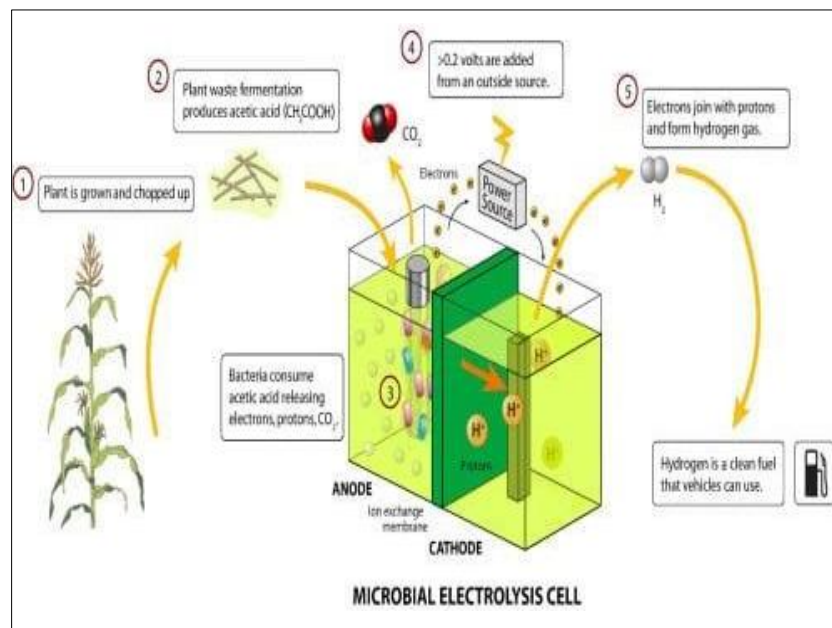


Figura 4

Representación del principio de una CCM (No a escala)



Nota. Interacciones dentro de una celda de combustible microbiana. [Imagen], Paul & Luis, 2019, <https://acortar.link/Atqz7U>.

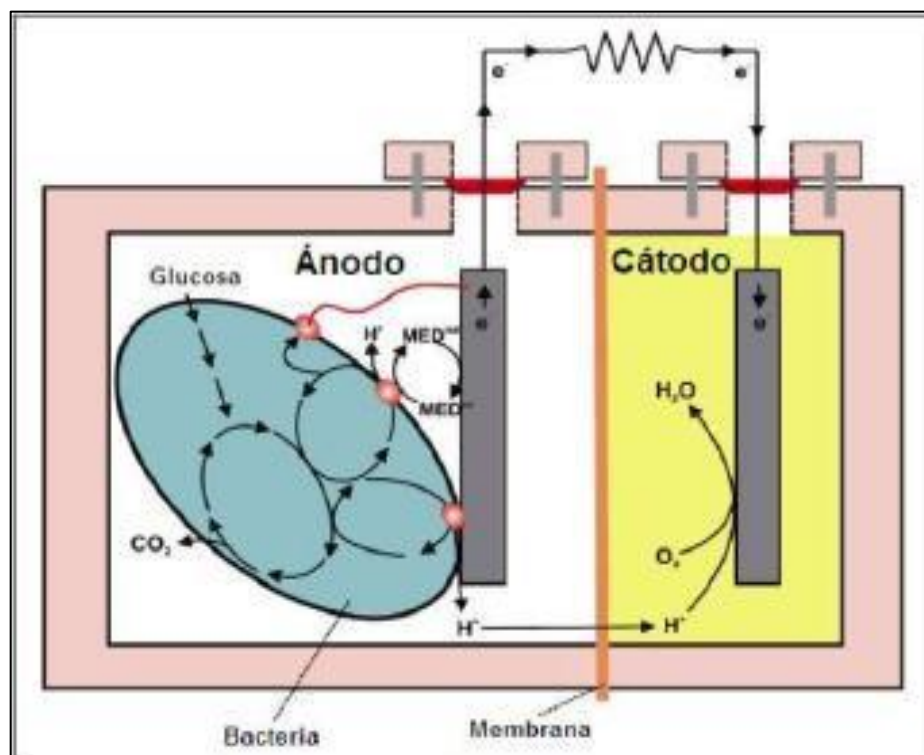
Una celda de combustible microbiana es un dispositivo que tiene como propósito la obtención de energía eléctrica a través de microorganismos que convierten la energía química encontrada en un sustrato, en energía eléctrica. Las reacciones generadas en una celda de combustible microbiana son de tipo oxido reducción. Los catalizadores son de carácter isotermas y continuas, las CCMs se basan el principio de Carnot demuestra de que la irreversibilidad es inherente a la ecuación diferencial, donde químicamente se determina mediante la cinética el consumo de materia orgánica en función a las CCMs y que cualquier sistema

de conversión de energía está limitada por la diferencia de temperatura y la pérdida inevitable durante la transformación y el transporte de energía lo cual hace que la eficiencia nunca llegue al 100% en estos sistemas. (Rolando, 2023).

Cada microorganismo tiene un metabolismo específico basado en un flujo de electrones que determina, si este flujo de electrones se altera por la acción moduladora de otro flujo de electrones (en forma de corriente eléctrica), las vías metabólicas existentes se redirigen, y ocasionan aumento o disminución de los productos de fermentación. (Mariana, 2016).

Figura 5

Celda microbiana de biocombustible.



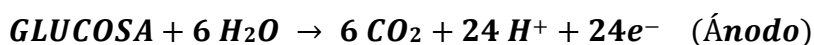
Nota. Interacciones dentro de una celda de combustible microbiana, Paul & Luis, 2019, <https://acortar.link/Atqz7U>.

2.2.3. REACCIONES DENTRO DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBINA CCM

En una celda de combustible microbiana consiste en dos electrodos, un ánodo y un cátodo, que están unidos por un cable externo formando un circuito eléctrico completo, además los compartimentos o cámaras que contienen a los electrodos están separados por una membrana permeable solo a protones. en la cama anódica es donde los microorganismos crecen y oxidan el sustrato en condiciones anaeróbicas, liberando electrones, protones y CO₂ al medio. Los protones se dirigen a la cámara catódica atravesando la membrana de intercambio protónico, y al mismo tiempo los electrones son dirigidos al ánodo, gracias a la habilidad que tienen algunos microorganismos de transferir electrones fuera de la célula, lo que se conoce como transferencia de electrones extracelular (TEE), cuando los electrones se juntan en el cátodo se mezclan con los protones para reducir moléculas de oxígeno y así llegan a formar agua lo que crea un flujo de corriente eléctrica. (Mariana et al., 2016).

Para las observar las reacciones generadas dentro de las celdas de combustible microbianas CCM, dividimos en las dos cámaras:

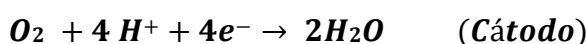
Cámara anódica:



Aquí sucede:

- La glucosa se oxida
- Se liberan protones
- Se liberan electrones
- Los electrones pasan al cobre (ánodo)

Cámara catódica:



Aquí sucede:

- Se genera la transferencia de electrones extracelular
- El Oxígeno se reduce formando agua

2.2.4. ELECTRODOS

Se denomina a la superficie donde ocurren las reacciones de óxido – reducción, utilizada para entrar en contacto con la parte no metálica del circuito este proceso procede siempre que este cualquier metal presente en contacto con un electrolito, uno de los más utilizados son el grafito por su costo y el otro más utilizado es la fibra de carbono por su alta capacidad de transmitir la corriente con la superficie total interna. (Paul & Luis, 2019).

Por otro lado, la transferencia de electrones del ánodo al cátodo se da por un circuito externo compuesto principalmente de gránulos, varillas. Placas y materiales fibrosos; durante los últimos años se emplean más el uso de carbón nanotubos que permitan mejorar el sistema además de convertirse en un catalizador eficaz. (Mireya et. al., 2021).

2.2.5. ÁNODO

El ánodo cumple las siguientes funciones como son la de adhesión y el desarrollo del biofilm, también la transferencia de electrones desde el biofilm hasta el cátodo por medio del circuito externo para lo cual los materiales usados comúnmente tienen que ser buenos conductores, resistentes a la corrosión y que no interfieran con el crecimiento del biofilm y de bajo coste para que no incremente el coste del sistema, entre los metales más utilizados para la elaboración del ánodo se encuentran láminas de cobre, fibra de carbono, lámina de níquel y bobina de acero inoxidable. (Alberto, 2019).

También se toma en cuenta a la hora de escoger un material para el ánodo la solución que se empleara dentro de las cámaras así que no debe interferir para el crecimiento microbiano en caso donde se usa el acero inoxidable ya que está compuesto por una aleación de acero con un porcentaje mínimo de entre 10 – 12% de cromo, como también porcentajes de níquel este acero posee una elevada resistencia a la corrosión. (Paul & Luis, 2019).

2.2.6. CÁTODO

El material que se elige para el cátodo es directamente proporcional al rendimiento y este va a tener variaciones según su aplicación para ellos debe cumplir características como alta flexibilidad, alta resistencia, bajo peso, tolerancia a altas temperaturas, baja densidad y buena tolerancia a diversos agentes externos. (Paul & Luis, 2019).

Los materiales utilizados para la fabricación del cátodo suelen ser muy similares a los comentados previamente para el ánodo, siendo los materiales carbonosos los más utilizados. La cinética de la reacción de reducción de oxígeno en el cátodo es uno de los factores que limita el rendimiento de estos dispositivos bioelectroquímicos, y hasta ahora aún necesita la presencia de un catalizador para facilitar el desarrollo de la reacción. (Alberto, 2019).

2.2.7. MEMBRANA DE INTERCAMBIO DE PROTONES (PEM)

La membrana de intercambio de protones tiene el objetivo principal de evitar la mezcla entre las cámaras catódicas y la anódica, además de facilitar el intercambio de protones entre las dos cámaras, sin embargo, uno de los motivos principales que afecta a la membrana de intercambio de protones es la elevación de la temperatura y la degradación producto de las reacciones físicas, químicas y biológicas de acuerdo a los sustratos que se empleen puede degradarse rápidamente e influir en su rendimiento óptimo. (Mireya et. al., 2021).

Las membranas más utilizadas para este tipo de prácticas con las membranas poliméricas comerciales tipo Nafion o Ultrex debido a su alta conductividad protónica, aunque su alto costo y su permeabilidad al oxígeno y tendencia a ensuciarse limita el uso en estos sistemas a gran escala. (Alberto, 2019).

2.2.8. MECANISMO DE TRANSFERENCIA DE ELECTRONES

Los mecanismos por los cuales los microorganismos transfieren o reciben los electrones hacia o desde un electrodo son principalmente de dos tipos las transferencias directas que son

mediante el contacto directo de los microorganismos con la superficie de un electrodo esto se explicado ya que las bacterias poseen en su membrana celular diversidad de proteínas redóx activas como puede ser los complejos enzimáticos y los citocromo C; por otro lado tenemos a la transferencia de electrones de forma indirecta que se surge mediante moléculas redox orgánicas e inorgánicas que los propios microorganismos pueden secretar en la degradación de materiales biológicos, luego estas moléculas pasar por la reducción u oxidación fuera de la membrana celular para luego donar o aceptar electrones hacia o desde un electrodo que se conoce como mediadores redóx endógenos entre los cuales los más conocidos son las piocianinas y los ácidos húmicos. (Mariana, 2016).

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES

2.3.1. COMBUSTIBLE

Costa (2005), indica que la sustancia al combinarse con el oxígeno es capaz de reaccionar y esto hace que se desprenda calor.

2.3.2. MATERIA ORGANICO

Paul & Luis (2019), nos dice que entre los tipos de materia orgánica se encuentran los azúcares conocidos por ese nombre genérico a los hidratos de carbono o sacáridos o sean moléculas de carbono, hidrogeno y oxigeno que son las formas biológicas básicas de energía.

2.3.3. SUSTRATO

Alberto (2013), indica que los sustratos simples o puros han sido ampliamente utilizados para estudiar aspectos fundamentales del sistema de operación, empleando normalmente cultivos puros de microorganismos, algunos de los sustratos simples más usados hasta el momento son glucosa, fructosa, ácido acético o ácido láctico, entre otros.

Gretel (2016), indica que el sustrato es de gran importancia para cualquier proceso biológico, el sustrato contiene diversos

componentes dependiendo de su uso y el medio, cuando el sustrato es definido puede ser tanto orgánico o mineral y puede ser colocado de forma pura o en una mezcla.

2.3.4. PUENTE SALINO

Alberto (2019), nos menciona que el puente salino es comúnmente conocido como “membrana de intercambio iónico”, cumple la función de transportar la carga iónica desde el ánodo hacia el cátodo esta conexión de la membrana de intercambio de iones cierra el círculo de transporte de electrones, además también evita el paso de oxígeno. a ambos compartimentos.

2.3.5. ELECTROFERMENTACION

Mariana, 2026 Esta técnica tiene como finalidad manipular los patrones de una fermentación mediante la aplicación de corriente eléctrica a un medio de cultivo, lo que modifica los productos finales.

2.4. HIPÓTESIS

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

H1: Existe diferencia de combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) para la producción de energía en bioceldas.

H0: No existe diferencia de combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) para la producción de energía en bioceldas.

2.5. VARIABLES

2.5.1. VARIABLE DE CALIBRACIÓN

Combustión microbiana

2.5.2. VARIBALE DE EVALUACION

Producción de energía

2.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

“COMPARACIÓN DE COMBUSTIÓN MICROBIANA EN LA ALCACHOFA (*Cynara scolymus*) Y LA MANZANA (*Malus domestica*) PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN BIOCELDAS”

Tabla 1

Matriz de operacionalización de variables.

VARIABLE	INDICADORES		VALOR FINAL	TIPO DE VARIABLE
Variable de calibración:	Grupo de estudio conformado		Grupo con la Alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>)	Nominal dicotómica
Combustión microbiana			Grupo con la manzana (<i>Malus domestica</i>)	
Variable de evaluación:	INDICADORES		VALOR FINAL	TIPO DE VARIABLE
Producción de energía	Parámetros físicos	<u>Voltaje</u>	<u>Voltios (V)</u>	Numérica discreta
		<u>Resistencia</u>	<u>Ohmios (Ω)</u>	
		<u>Potencial eléctrico</u>	Vatios (W)	
	Parámetros biológicos	Materia organiza	Gramo (gr)	

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente estudio se desarrolló se forma aplicativa y experimental, porque se pretende encontrar una mejor solución dentro de una línea de investigación y se manipulo deliberadamente una variable (alcachofa vs manzana) para ver el efecto que produce otra variable (voltaje). La clasificación del nivel de investigación fuero según los criterios de los autores, Supo y Zacarías (2020)

3.1.1. ENFOQUE

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo-descriptivo y comparativo, ya que se basa en procesar datos numérica y analizar de forma estadístico el comportamiento de la curva de voltaje a lo largo del tiempo para cada variable con el objetivo final de determinar cuál sustrato es más eficiente para la producción de energía en una biocelda. (Supo & Zacarías, 2020).

3.1.2. ALCANCE O NIVEL

El nivel de la investigación es considerada experimental comparativo ya que el objetivo centrar es contrastar dos grupos bajos las mismas condiciones y el mismo tiempo analizando los factores como la cinética de la degradación y la estabilidad así obteniendo la evaluación de desempeño comparativo. (Supo & Zacarías, 2020).

3.1.3. DISEÑO

El diseño adoptado fue experimental, en el cual se tuvo dos grupos de estudios con cinco repeticiones cada uno en el mismo tiempo, cada grupo fue tratado de la siguiente manera:

- Grupo de estudio 1: materia orgánica alcachofa cortado en segmentos pequeños (250

gr).

- Grupo de estudio 2: materia orgánica manzana cortado en segmentos pequeños (250 gr).

Cada grupo de estudio estuvo conformado por cinco unidades de estudio en condiciones iguales, ubicadas en un mismo espacio y medidas y observadas en el mismo tiempo, durante 18 días.

A continuación, se presenta el esquema del diseño experimental:

Tabla 2

Diseño experimental

Grupos	N.º de Repeticiones	N.º de Mediciones	Tiempo de Medición toma única 12:00 M.
Grupo Estudio 1	5 CCM	18 mediciones	24 horas
Grupo Estudio 2	5 CCM	18 mediciones	24 horas

Nota: elaboración propia.

$$GE_1: O_1 \rightarrow X_1 \rightarrow O_2$$

$$GE_2: O_1 \rightarrow X_2 \rightarrow O_2$$

Donde:

GE_1 : Grupo de estudio 1, sustrato de Alcachofa.

GE_2 : Grupo de estudio 2, sustrato de Alcachofa.

O_1 : Evaluación de parámetros físico químicos iniciales.

X : Proceso de combustión microbiana en bioceldas.

O_2 : Evaluación de parámetros finales y eficiencia energética.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.2.1. POBLACIÓN

Estuvo constituida por la manzana y la alcachofa obtenidos en el mercado central de la ciudad de Huánuco, distrito de Huánuco, provincia de Huánuco – Perú.

Lugar: Jr. 28 de Julio 1600 – Huánuco zona UTM WG84 18L - Meses realizados se contemplan entre los días 26/07/2026 al 13/08/2025 del Año 2025.

3.2.2. MUESTRA

La muestra estuvo constituida por 250 gramos por cada unidad de estudio comenzando con 1.250 Kg de manzana y 1.250 Kg de alcachofa dándonos un total de 2.500 kg por los dos grupos de estudio, los cuales fueron triturados y homogenizados para obtener el sustrato para las celdas de combustible microbianas. Se tuvo 5 repeticiones por cada grupo experimental dando un total de 10 unidades experimentales.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.3.1. PARA LA RECOLECCIÓN DE DATOS

Se elaboró una ficha de recolección de datos donde se separó en dos filas para los dos grupos experimentales y una sub división de cinco para anotar los datos de cada una de las unidades de estudio en la parte final de cada grupo se añadió una columna donde anotaran las observaciones así mismo como los resultados en promedio de las mediciones de las cinco unidades de estudio.

En las subsecciones de las unidades de estudio están conformadas de los siguientes parámetros para la recolección de datos de forma numéricas estandarizados:

- Voltaje: la unidad de medida fue calibrada en Mili voltios (mV).
- Resistencia: la unidad de medida fue calibrada en Ohmios (Ω).
- Potencial eléctrico: la unidad de medida fue

calibrada en micro vatios (μW).

- Materia orgánica inicial / final: la unidad de medida fue calibrada en gramos (gr).}
- Numero de repetición: las unidades de estudios van del 1 al 5 según el orden que de adelante hacia atrás.

Para la anotación durante los 18 días que se llevó a cabo el experimento se usó la ficha de registro o bitácora como cuaderno de campo para la anotación de la potencia la formula fue empleada en Excel y sustituida después como última anotación así obtener datos más precisos con la recomendación de tener dos dígitos decimales como mínimo así también se apoyó para la tabulación y graficas estadísticos del software como SPSS y Excel para los análisis de estos datos.

3.3.2. INSTRUMENTOS DE MEDICION (EQUIPO)

Se optó por la técnica la observación experimental ya que se registró el comportamiento de un fenómeno físico químico que se genera dentro de las celdas de combustible microbianas tanto en la presencia de la alcachofa como de la manzana sin intervenir una vez que las celdas son selladas siguiendo un protocolo de observación rígido de la observación y medición por día que se llevó a cabo a las 12 del medio día durante los 18 días que se mantuvo el experimento cada uno con su respectiva ficha y sus datos numéricos tomados de las cinco repeticiones de cada grupo experimental.

Para ellos tenemos los siguientes equipos:

PINZA EMPERICA DIGITAL O MULTÍMETRO DE GANCHO MODELO AC 200A WADFLOW



CARACTERÍSTICAS:

Corriente alterna (A-): hasta 200**A**. Ideal para medir el consumo de motores o electrodomésticos.

Voltaje alterno (v-): hasta 600**v**. Para medir el voltaje de los enchufes de casa o industrias.

Voltaje continuo (v-): hasta 600**v**. Para medir baterías o paneles solares (importante para tus celdas de combustible).

Resistencia (Ω): hasta 200 **Ω** . Para revisar si un cable está roto (continuidad) o el estado de componentes electrónicos.

OBSERVACION:

Con una sensibilidad de hasta 0.1**mV** en corriente continua para el monitoreo de potencial eléctrico.

BALANZA DIGITAL MARCA OPALUX	
	CARACTERÍSTICAS:
	Precisión: Como ves en la caja, mide en gramos 3(GR) hasta 5 kilogramos (KG).
	Garantiza una estandarización en las muestras pesadas, su panel digital muestra la unidad.
	OBSERVACION:
	Función "Tara": Ese botón es clave. Te permite poner el recipiente vacío, presionar "tara" para que vuelva a cero, y luego echar la manzana o alcachofa picada para pesar solo el residuo orgánico.

Se aplicó una medición (M) diaria para cada característica voltaje calibrado en mili voltios (mV) y Resistencia calibrado en ohm (Ω), que se tomó a las 12 del mediodía para las 5 muestras para los 2 casos, esto durante los 18 días se usó un Multímetro digital AC CLAMP METER de la marca WADFOW y el siguiendo el formato:

<i>Día</i>	<i>Manzana (mV)</i>					<i>P</i>	<i>Alcachofa (mV)</i>					<i>P</i>
1	M1	M2	M3	M4	M5	P1	M1	M2	M3	M4	M5	P1
2	M1	M2	M3	M4	M5	P2	M1	M2	M3	M4	M5	P2
3	M1	M2	M3	M4	M5	P3	M1	M2	M3	M4	M5	P3
.												
18	M1	M2	M3	M4	M5	P18	M1	M2	M3	M4	M5	P18

<i>Día</i>	<i>Manzana (ohm)</i>					<i>P</i>	<i>Alcachofa (ohm)</i>					<i>P</i>
1	M1	M2	M3	M4	M5	P1	M1	M2	M3	M4	M5	P1
2	M1	M2	M3	M4	M5	P2	M1	M2	M3	M4	M5	P2
3	M1	M2	M3	M4	M5	P3	M1	M2	M3	M4	M5	P3
.												
18	M1	M2	M3	M4	M5	P18	M1	M2	M3	M4	M5	P18

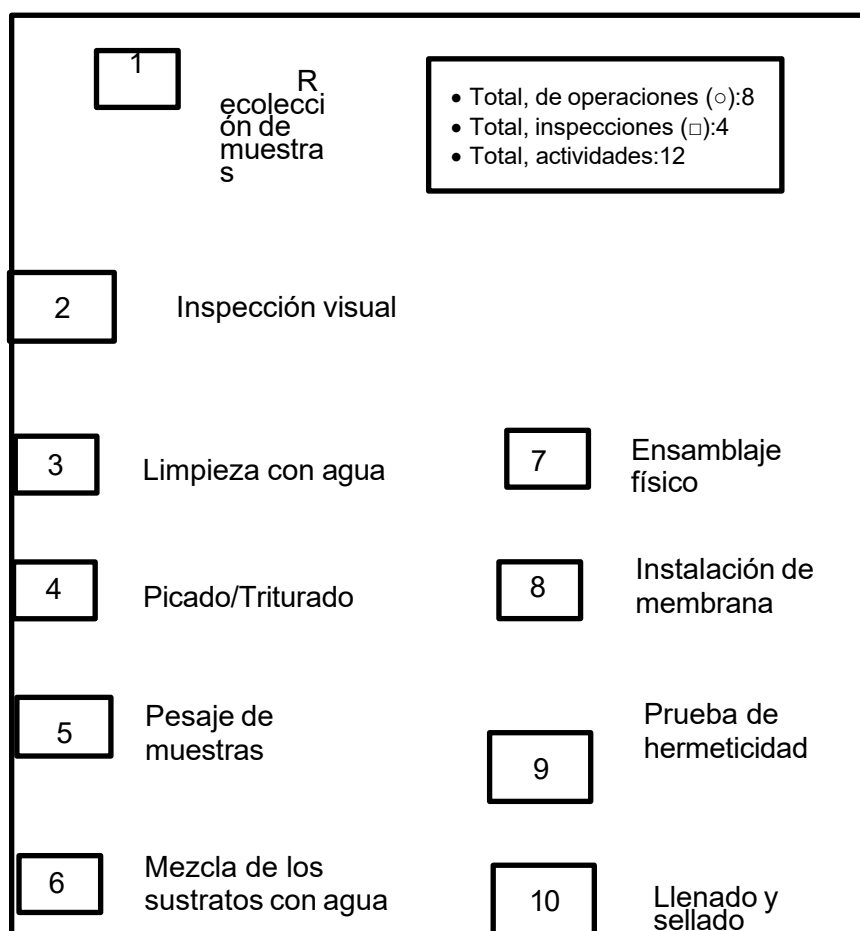
Después en la parte del análisis se buscó los promedios de las distintas mediciones para los casos de resistencia en ohm (Ω) y para el voltaje en mV.

después se usó dichos promedios para general un gráfico comparativo y así obtener los resultados.

<i>Manzana (x)</i>	PM	<i>Alcachofa (y)</i>	PA
	P1		P1
	P2		P2
	P3		P3
	P18		P18

3.4. PROCEDIMEINTO EXPERIMENTAL

3.4.1. DIAGRAMA DE OPERACIONES (DOP)



3.4.2. FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE

para la fabricación del prototipo de una celda de combustible microbiana se tuvo en cuenta las condiciones donde se desarrollaría y el material de sustrato que se usó en el experimento.

Cámara anódica y catódica: el material usado fue una botella de un 1L, plástico con tapa hermética cuyas dimensiones fueron 26 cm de largo y un radio de 3 cm.

Electrodos: el material usado lámina de cobre cortado en láminas rectángulas de 2 cm de ancho por 5 cm de largo y un espesor de 0.5mm, con una superficie total de 27cm^2 .

Conectores: el material usado fue alambra de cobre las láminas de cobre se encuentran unidas al cable de cobre para transmitir la energía de forma correcta al exterior.

Tubo de PVC: para adherir las dos cámaras se usó un tubo de PVC, con una UJU PLAST, dentro del tubo está el filtro en base de Nafion para evitar el paso de material orgánico de la cámara anódica a la cámara catódica.

El Procedimiento de fabricación

Perforación: Se realizó una perforación en la tapa de las botellas que serán la cámara anódica y la cámara catódica, donde se insertó el alambre de cobre que conectado a la lámina de cobre hacia el exterior.

Corte: después de medir el diámetro del tubo de PVC que funcione como puente de conexión entre las cámaras se fijó el punto medio superior a una altura de 11 cm de la botella donde se realizó un corte circular para insertar el tubo de PVC, después se selló con uju plast un derivado del uju especial para trabajos con todo tipo de plásticos.

El Procedimiento de ensamblaje

Montaje de la membrana: La membrana que usaremos es una de categoría comercial esencialmente de Nafion la cual será

colocada en uno de los tubos de PVC en manera de tapón, después se le coloco la unión de tubo PVC para unir las dos cámaras anódica y catódica.

Instalación de electrodos: Para esta parte se introdujo el alambre sujetado a la lámina de cobre para después pasarlo por la tapa de la botella tanto como para la cámara anódica como para la cámara catódica.

Sellado hermético: Después de tener listo las cámaras anódicas se procedió colocar los sustratos en los dos grupos de estudio llenando las 10 unidades de estudio 5 de manzana y 5 de alcachofa, después se inundó de agua las dos cámaras tanto como la anódica con los sustratos y la cámara catódica únicamente con agua y dentro la lámina de cobre, las tapas de la botella se cerraron y la perforación por donde salió el cable de cobre se selló con uju dando un cierre hermético.

Conexión del circuito externo: Para ello los cables de las dos cámaras salen por la perforación de la tapa de la botella quedando como unas mechas en las que se les coloco las pinzas del multímetro para la lectura del voltaje y la resistencia producido en las mediciones diarias.

Verificación post-ensamblaje: Después de realizar el ensamblaje de todas las celdas de combustible microbianas para cada grupo se procedió a revisar siguiendo el diagrama de operaciones (DOP) para verificar.

3.4.3. PREPARACIÓN DEL SUSTRATO

La preparación de los sustratos de la alcachofa y la manzana iniciaron con la selección de 5 kg de sustratos después pasa a el proceso de lavado y selección donde se quitan los sustratos que están verdes o podridos para no afectar el experimento ya que se debe de tener en óptimas condiciones ambos sustratos y posteriormente fueron triturados y llevados a la balanza digital donde fueron pesados y separados en grupo de 250gr finalmente para llevarlos a sus

respectivas unidades de estudio para evitar la oxidación natural del ambiente.

Origen: Se compró del mercado nuevo ubicado en

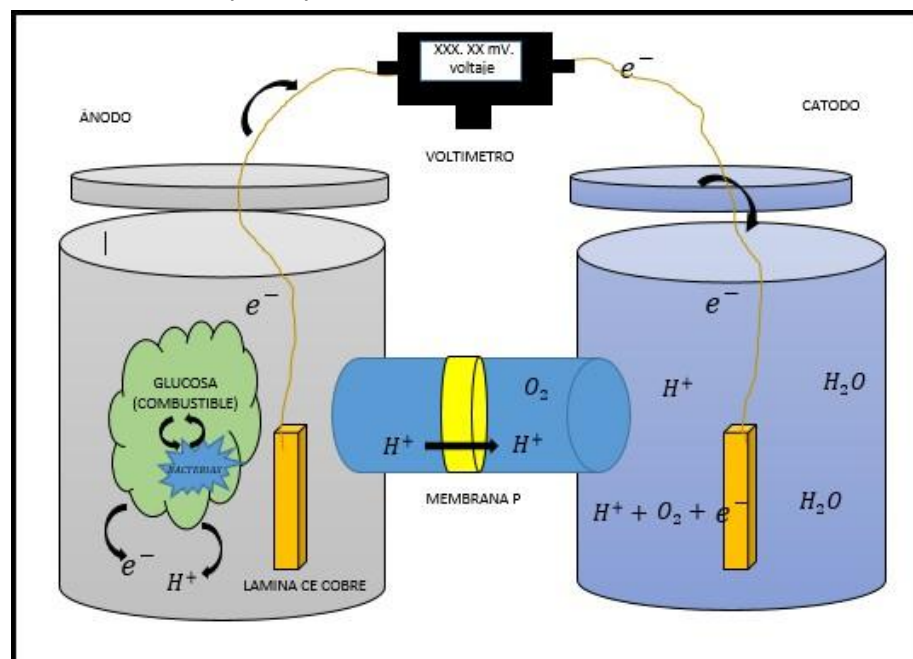
Estado: Se seleccionó las que estuvieron en condiciones óptimas sin imperfecciones y en estado de madurez y sin presencia de hongos.

Lavado y picado: Se lavó de manera meticulosa y después se llevó a una tabla de picar para ser cortada en trozos más pequeños de 2cm x 2cm para facilitar el paso a la cámara anódica.

3.5. TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Figura 6

Diseño del prototipo de biocelda.



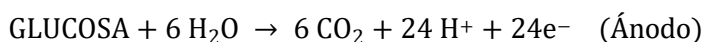
Nota: En el grafico se explica las partes y componentes de la unidad de estudio.

En las CCM, con electrodos de cobre en ambas cámaras y con alcachofa y la manzana (materia orgánica) en el ánodo. Aquí debemos considerar dos cosas importantes:

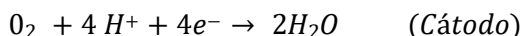
- La alcachofa aporta compuestos orgánicos (azúcares, carbohidratos, ácidos orgánicos).
- El cobre no es un electrodo inerte, por lo que

puede participar químicamente (puede oxidarse).

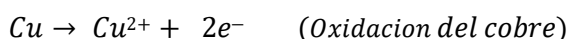
Cámara anódica:



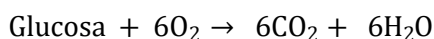
Cámara catódica:



Al usar el alambre de cobre y la lámina de cobre las cuales también sufren el proceso de oxidación. Lo que indica posible corrosión y generación electroquímica adicional:



Reacción global simplificada:



Teniendo en cuenta que las uno de los parámetros de medición no se obtendrá de los instrumentos o equipos sino de la aplicación de fórmulas químicas y matemáticas que basadas en anteriores investigaciones se ha recopilado y aplicado para el análisis final.

El potencial eléctrico: para realizar el cálculo del potencial de energía eléctrica tenemos que tener los datos de campo de energía expresada en mili voltios y multiplicar por la intensidad en este caso obtendremos la intensidad de la división de energía en mili voltios entre la resistencia expresada en ohmios.

Para hallar el potencial acudimos a las fórmulas:

Cálculo de la Potencia (P):

$$P = V \times I \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$V = I \times R \rightarrow I = \left[\frac{V}{R} \right] \dots \dots \dots (2)$$

(Para este caso tenemos que transformar los mili-voltios (**mV**) a Voltios (**V**) dividiendo entre 1000).

Por ejemplo, tomemos el Día 1 y 2 para hacer el análisis de potencial eléctrico:

Tenemos la resistencia de las dos primeras unidades de

estudios del grupo de la manzana y sus cinco repeticiones.

Dia	Manzana					
	Resistencia calibrado en ohm (Ω)					Prom (Ω)
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	
1	1500	1500	1600	1600	1600	1560
2	1400	1402	1400	1400	1550	1430.4

Tenemos el voltaje de las dos primeras unidades de estudios del grupo de la manzana y sus cinco repeticiones.

Dia	Manzana						
	Voltios calibrados en mili voltios (mv)					Prom (mV)	Prom (V)
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5		
1	62.5	58	58.5	59	62	60	0.060
2	141.4	132.8	136.6	134	130.2	135	0.135

Realizamos la primera ecuación para el día 1.

Día 1:

$$P = \frac{(0.060V)^2}{1560 \text{ ohm}}$$

$$P = 0.0000023 \text{ W ó } 2.3 \mu\text{W}$$

(Para este caso tenemos que transformar los vatios (**W**) a micro-vatios (μW) se multiplica por 1 000 000).

Cálculo de energía (E).

La energía se mide en Joule (J) o en vatios–hora (wh).

Para el experimento usaremos la fórmula:

$$E = P \times t$$

Donde:

E = Energia

p = potencia en vatios (W)

t = Tiempo en segundos (s)

Por ejemplo, el **Día 1 y 2:**

Si asumimos que cada medición representa el promedio de ese día (24 horas o 86,400 segundos), la energía total es la suma de cada día:

$$\text{Día 1: } 0.0000023\text{W} \times \text{times } 86400\text{s} = 0.199\text{J}.$$

$$\text{Día 2: } 0.0000127\text{W} \times \text{times } 86400\text{s} = 1.097\text{J}.$$

Esto sería la energía diaria en joule (J).

Para expresarla en micro vatios/hora:

$$\text{Energía } (\mu\text{Wh}) = \text{Potencia } (\mu\text{W}) * \text{Tiempo } (h)$$

Por ejemplo, el **Día 1 y 2:**

$$\text{Día 1: } 2.3\mu\text{W} \times 24\text{h} = 55.20 \mu\text{Wh}.$$

$$\text{Día 2: } 12.7\mu\text{W} \times 24\text{h} = 305.76 \mu\text{Wh}.$$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DESCRIPTIVOS

Tabla 3

Descripción de la variación de resistencia interna durante la combustión microbiana en la manzana (Malus domestica) para incrementar la producción de energía en biocelda.

Dia	Manzana								
	Resistencia calibrado en ohm (Ω)					Prom (Ω)	Error Est.	Límite superior (95%)	Límite Inferior (95%)
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5				
1	1500	1500	1600	1600	1600	1560	49	1424.1	1695.9
2	1400	1402	1400	1400	1550	1430.4	57.4	1271.1	1589.7
3	1200	1202.5	1300	1300	1350	1270.5	57.3	1213.2	1327.8
4	800	802	799	799	800	800	1.1	797	803
5	650	654	675	675	645	659.8	12.3	625.7	693.9
6	550	545	530	552	535	542.4	8.2	519.8	565
7	560	560	540	540	540	548	8	525.8	570.2
8	600	600	620	620	620	612	8	589.8	634.2
9	700	708	704	700	850	732.4	58.8	569.6	895.2
10	900	945	954	900	910	921.8	21.6	861.9	981.7
11	1200	1200	1300	1100	1000	1160	89.4	911.7	1408.3

12	1400	1410	1420	1400	1400	1406	8	1383.8	1428.2
13	1550	1555	1560	1550	1550	1553	3.9	1542.3	1563.7
14	1666	1665	1670	1666	1666	1666.6	1.6	1662.1	1671.1
15	1899	1875	1890	1875	1875	1882.8	9.4	1856.8	1908.8
16	1984	1987	2000	1945	2000	1983.2	19.8	1928.2	2038.2
17	2000	2050	2100	1999	2150	2059.8	58.4	1897.8	2221.8
18	2000	2300	2200	2010	2300	2162	114.7	1843.5	2480.5

Nota. Datos recolectados en trabajo de campo

En la tabla se muestra los datos numéricos tomados para la manzana durante los 18 días, donde se muestra que la resistencia inicial es muy alta, y llega a su punto favorable (menor resistencia) desde el día 6 con una resistencia promedio de 5542.4 ohm, empezando los días óptimos que serían del día 6-8, siendo un periodo de baja resistencia muy corto; obteniendo en el día 10 valores que se disparan esto indica que la celda con manzana se está degradando o “agotando” muy rápido esto se corrobora con los intervalos de confianza, donde confirma una degradación estadísticamente significativa.

Tabla 4

Descripción de la variación de resistencia interna durante la combustión microbiana en la manzana (Malus domestica) para incrementar la producción de energía en biocelda.

Día	Alcachofa					Prom (Ω)	Error Est	Límite Inferior (95%)	Límite Superior (95%)
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5				
1	1000	1000	1000	1000	1000	1000	0	1000	1000
2	950	900	900	905	940	919	19	866.2	971.8
3	850	860	866	866	854	859.2	5.3	844.5	873.9
4	740	740	740	742	742	740.8	0.8	738.7	742.9
5	690	694	695	695	700	694.8	1.6	690.5	699.1
6	600	600	598	598	650	609.2	20.4	552.8	665.6
7	560	560	585	585	576	573.2	9.1	548	598.4
8	550	555	542	542	502	538.2	16.9	491.3	585.1
9	500	500	490	500	501	498.2	3.8	487.6	508.8
10	515	512	511	511	555	520.8	16.3	475.7	565.9
11	530	530	530	530	530	530	0	530	530

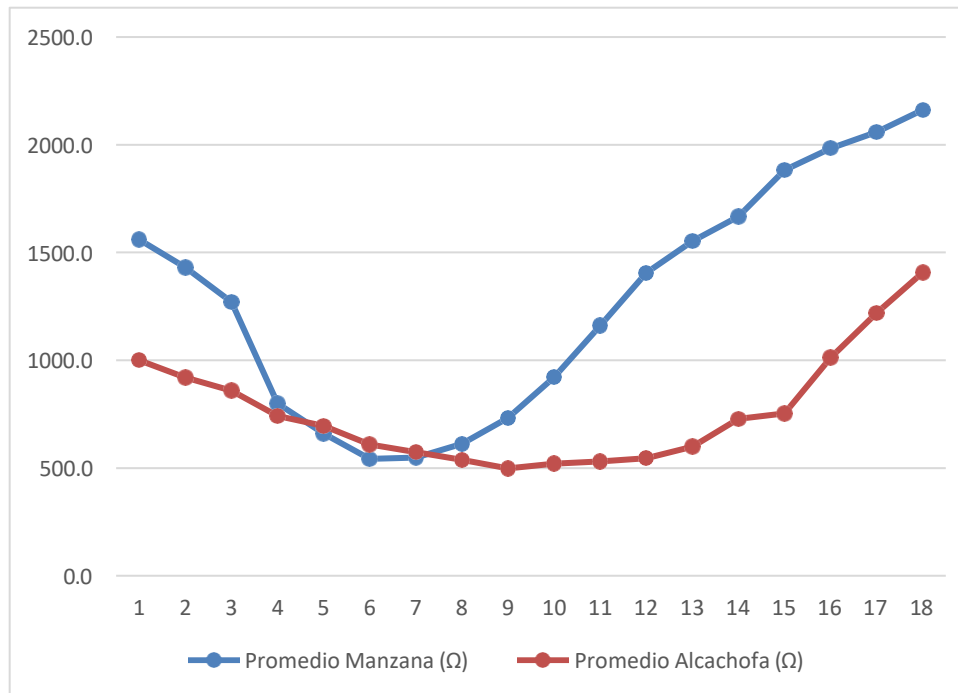
12	542	542	547	546	546	544.6	2.1	538.8	550.4
13	602	602	580	599	610	598.6	10.3	570	627.2
14	700	734	740	734	736	728.8	14.5	688.4	769.2
15	720	749	787	749	760	753	19.5	699.2	806.8
16	1000	1020	1100	1087	850	1011.4	88.1	767.1	1255.7
17	1200	1200	1400	1300	1000	1220	147	811.8	1628.2
18	1320	1425	1590	1402	1300	1407.4	97.6	1136.9	1677.9

Nota. Datos recolectados en trabajo de campo.

En la tabla se muestra los datos numéricos tomados de la resistencia en unidades ohm, para la alcachofa durante los 18 días, donde se muestra que la resistencia inicial es muy alta, y llega a su punto favorable (menor resistencia) desde el día 9 con una resistencia promedio de 498.2 ohm, empezando los días óptimos que serían del día 9-12, siendo un periodo de baja resistencia prolongado; obteniendo resistencia que se mantienen esto indica que la celda con alcachofa no se degradando de manera abrupta sino de forma gradual, siendo una característica más óptima para el experimento.

Figura 7

*Descripción de la variación de resistencia interna durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) para incrementar la producción de energía en bioceldas.*



Nota. Datos recolectados en trabajo de campo.

El gráfico revela la dinámica del proceso que dividí en tres fases: la fase de activación, fase estable y fase de agotamiento, en la primera fase se muestra que ambos sustratos muestra una positiva caída en la resistencia producida en los primeros 7 días del experimento; en la segunda fase el sustrato debe mantener una resistencia baja y estable en

el grafico se muestra que la alcachofa consigue estas condiciones y la manzana por el contrario apenas toca su punto mínimo antes de empezar a degradarse; en la última fase es un indicar de fin de vida útil de la celda, para el caso de la manzana este proceso empieza temprano (día 8) y es muy acelerado, lo que sugiere que el sustrato es consumido rápidamente, mientras la alcachofa también muestra un aumento de resistencia al final, pero de forma más tardía y menos pronunciada.

Tabla 5

Descripción de la variación de voltaje durante la combustión microbiana en la manzana (Malus domestica) para incrementar la producción de energía en bioceldas.

Día	Manzana								
	Voltios Calibrados en Mili voltios (mV)					Prom (mV)	Error Est.	Límite Inferior (95%)	Límite Superior (95%)
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5				
1	62.5	58	58.5	59	62	60	1.8	54.9	65.1
2	141.4	132.8	136.6	134	130.2	135	3.9	124.2	145.8
3	221	209.8	210	200	209	210	7	190.5	229.5
4	315.6	317.8	322.3	322	322.3	319.4	2.8	311.6	327.2
5	366.5	359.2	360	359	355.3	360	4	348.8	371.2
6	359	360	358	357	356	358	1.6	353.6	362.4
7	322.3	328.5	333	331.2	335	330	4.4	317.9	342.1
8	272.6	281	280.2	281.2	285	278	4.9	264.4	291.6
9	214	222	221	222.4	220.2	219.9	3.2	211	228.8
10	163	165	166	165.2	165	164.8	1.2	161.6	168
11	127.3	132	130.5	130.2	130	130.6	1.6	126.2	135
12	91.4	95	99	94	95.6	95	2.7	87.6	102.4
13	73	69	64	66	68	68	3.5	58.4	77.6

14	39	44	55	42	45	45	5.7	29.2	60.8
15	32.3	35.4	39	33.3	35	35	2.5	28.1	41.9
16	23.8	26	24	26	25.2	25	1	22.3	27.7
17	17	18	23	19	22.4	19.9	2.7	12.5	27.3
18	14	13	17	14	17	15	1.6	10.6	19.4

Nota. Datos recolectados en trabajo de campo

En la tabla se muestra los datos numéricos del voltaje calibrado en mili-voltios (mV) tomados para la manzana durante los 18 días, donde se muestra que el voltaje llega a su punto favorable (mayor voltaje) en el día 5 con un voltaje promedio de 360 mV, empezando los días óptimos que serían del día 5-7, siendo un periodo de mayor producción de voltaje indicado en la celda, manteniendo un lapso favorable hasta el día 10 donde decae muy rápido esto se corrobora con los intervalos de confianza, donde confirma una caída estadísticamente significativa.

Tabla 6

Descripción de la variación de voltaje durante la combustión microbiana en la manzana (Malus domestica) para incrementar la producción de energía en bioceldas

Día	Voltios calibrados en Mili voltios (mV)					Prom (mV)	Error Est	Límite Inferior (95%)	Límite Superior (95%)
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5				
1	36.8	42.2	40	41	40	40	1.8	34.9	45.1
2	95.5	96.5	95	93	95	95	1.1	91.8	98.2
3	120	119	119	118	119	119	0.9	116.5	121.5
4	179.7	172.8	175	173.5	174	174.9	2.3	168.4	181.4
5	249.9	245.6	245	240	244.5	245.8	1.7	241	250.6
6	294.3	290.7	291	289	285	289	3.3	279.8	298.2
7	300.4	299.8	300	300	299.8	300	0.2	299.3	300.7
8	263	268	270	271	278	270	5.4	255.1	284.9
9	258.2	257.8	260	260	264	260	2.4	253.3	266.7
10	237	239	238.5	239	236	237.9	1	235.1	240.7
11	211.5	203.5	205	205	200	205	4.1	193.7	216.3
12	177	174	175	177	172	175	1.9	169.8	180.2
13	153	143	144	143	142	145	4.2	133.2	156.8
14	134	134	130	132	130	132	1.8	127	137

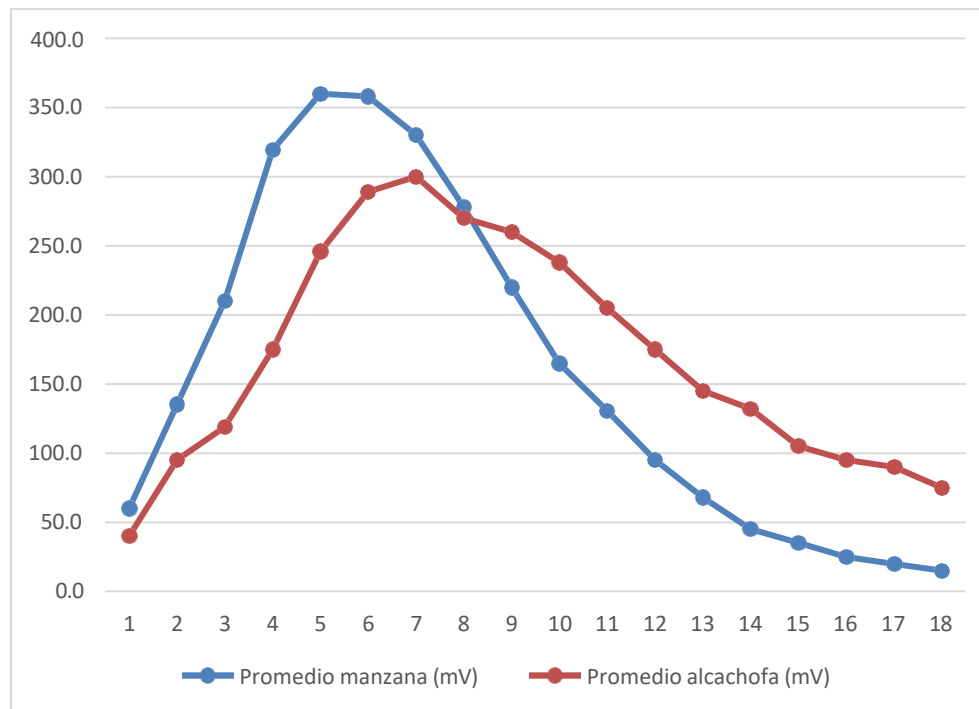
15	114	102	105	104	100	105	4.7	92	118
16	95.5	93	95	95.5	96	95	1.2	91.6	98.4
17	87	89.8	90	91	92	90	1.8	84.8	95.2
18	73	73.8	77	73	78	75	2.1	69.3	80.7

Nota. Datos recolectados en trabajo de campo.

En la tabla se muestra los datos numéricos del voltaje calibrado en mili-voltios (mV) tomados para la alcachofa durante los 18 días, donde se muestra que el voltaje llega a su punto favorable (mayor voltaje) en el día 7 con un voltaje promedio de **300 mV**, empezando los días óptimos que serían del día 7-10, siendo un periodo de mayor producción de voltaje indicado en la celda, manteniendo un lapso favorable hasta el día 15 donde decae gradualmente esto se corrobora con los intervalos de confianza, donde confirma una caída gradual.

Figura 8

*Descripción de la variación de voltaje durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) para incrementar la producción de energía en bioceldas.*



Nota. Datos recolectados en trabajo de campo.

El grafico visualiza la dinámica de la generación de voltaje a lo largo del tiempo (18 días) en la curva se muestra un crecimiento inicial de ambos sustratos teniendo la manzana una pendiente más pronunciada y consigue mayor voltaje que la alcachofa superándolo por 60mV tras alcanzar su pico ambos sustratos empiezan a degradarse y vemos que la

manzana se desploma drásticamente en contraste a la alcachofa que entra a una fase de declive mucho más lenta y controlada manteniendo una producción de voltaje superior a la manzana desde el día 9 hasta el final, durante casi todo el experimento, los intervalos de confianza del 95% para Manzana y Alcachofa no se solapan. Esto confirma que la diferencia en el rendimiento entre ambos sustratos es estadísticamente significativa y no producto del azar. La Manzana actúa como un sustrato de "liberación rápida", ofreciendo un alto rendimiento inicial, pero de corta duración. La Alcachofa se comporta como un sustrato de "liberación lenta", con un pico de voltaje menor.

Tabla 7

*Descripción de la producción de potencia (μW) durante la combustión microbiana en la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) en bioceldas.*

Día	Manzana					Promedio (μW)
	Potencia (μW)					
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5	
1	2.60	2.24	2.14	2.18	2.40	2.3
2	14.28	12.58	13.33	12.83	10.94	12.8
3	40.70	36.60	33.92	30.77	32.36	34.9
4	124.50	125.93	130.01	129.77	129.85	128.0
5	206.65	197.29	192.00	190.93	195.72	196.5
6	234.33	237.80	241.82	230.89	236.89	236.3
7	185.50	192.70	205.35	203.14	207.82	198.9
8	123.85	131.60	126.63	127.54	131.01	128.1
9	65.42	69.61	69.38	70.66	57.04	66.4
10	29.52	28.81	28.88	30.32	29.92	29.5
11	13.50	14.52	13.10	15.41	16.90	14.7

12	5.97	6.40	6.90	6.31	6.53	6.4
13	3.44	3.06	2.63	2.81	2.98	3.0
14	0.91	1.16	1.81	1.06	1.22	1.2
15	0.55	0.67	0.80	0.59	0.65	0.7
16	0.29	0.34	0.29	0.35	0.32	0.3
17	0.14	0.16	0.25	0.18	0.23	0.2
18	0.10	0.07	0.13	0.10	0.13	0.1

Nota. Datos calculados con la fórmula ($P=V^2/R$).

En la tabla se muestra los datos numéricos del potencial calibrado en micro-vatios (μW) tomados para la manzana durante los 18 días, donde se muestra que la potencia llega a su punto favorable (mayor potencial) en el día 6 con una potencia promedio de $236.3 \mu W$, empezando los días óptimos que serían del día 6-7, siendo un periodo de mayor producción de potencial indicado en la celda y un declive precipitado a partir del día 8 que solo alcanza un $128.1 \mu W$.

Tabla 8

*Descripción de la producción de potencia (μW) durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) en bioceldas.*

Día	Alcachofa					Promedio (μW)
	Potencia (μW)					
	M_2	M_2	M_3	M_4	M_5	
1	1.35	1.781	1.6	1.68	1.6	1.6
2	9.6	10.35	10	9.56	9.6	9.8
3	16.9	16.47	16.4	16.1	16.6	16.5
4	43.6	40.35	41.4	40.6	40.8	41.3
5	90.5	86.92	86.4	82.9	85.4	86.4
6	144	140.8	142	140	125	138.3
7	161	160.5	154	154	156	157.1
8	126	129.4	135	136	154	135.8
9	133	132.9	138	135	139	135.7
10	109	111.6	111	112	100	108.8
11	84.4	78.14	79.3	79.3	75.5	79.3
12	57.8	55.86	56	57.4	54.2	56.2
13	38.9	33.97	35.8	34.1	33.1	35.2
14	25.7	24.46	22.8	23.7	23	23.9
15	18.1	13.89	14	14.4	13.2	14.7
16	9.12	8.479	8.2	8.39	10.8	9.0

17	6.31	6.72	5.79	6.37	8.46	6.7
18	4.04	3.822	3.73	3.8	4.68	4.0

Nota. Datos calculados con la fórmula ($P=V^2/R$).

En la tabla se muestra los datos numéricos del potencial calibrado en micro-vatios (μW) tomados para la alcachofa durante los 18 días, donde se muestra que la potencia llega a su punto favorable (mayor potencial) en el día 7 con una potencia promedio de $157.1 \mu W$, empezando los días óptimos que serían del día 7-10, siendo un periodo de mayor producción de potencial indicado en la celda y un declive gradualmente a partir del día 11 que solo alcanza un $79.3 \mu W$.

Tabla 9

*Descripción de la producción de potencia (μW) durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) en bioceldas.*

Día	Manzana				Alcachofa			
	Prom (μW)	Error Estándar	Límite Inferior (95%)	Límite Superior (95%)	Prom (μW)	Error Estándar	Límite Inferior (95%)	Límite Superior (95%)
1	2.3	0.2	1.7	2.9	1.6	0.3	0.9	2.3
2	12.7	1.3	10.0	16.0	9.9	0.7	8.1	11.7
3	35.8	4.9	22.3	49.3	16.5	0.5	15.1	17.9
4	127.3	5.4	112.4	142.2	41.5	2.3	35.1	47.9
5	185.7	10.2	157.6	213.8	82.5	3.3	73.3	91.7
6	239.0	9.2	213.6	264.4	137.9	6.8	119.0	156.8
7	200.7	12.4	166.4	235.0	156.8	1.3	153.3	160.3
8	128.8	13.0	92.6	165.0	136.3	8.4	113.1	159.5
9	67.5	5.5	52.3	82.7	137.4	4.4	125.4	149.4
10	30.0	1.8	25.1	34.9	108.9	2.0	103.5	114.3
11	14.9	1.3	11.3	18.5	82.1	4.5	69.5	94.7
12	6.1	0.6	4.4	7.8	56.4	1.3	52.9	59.9

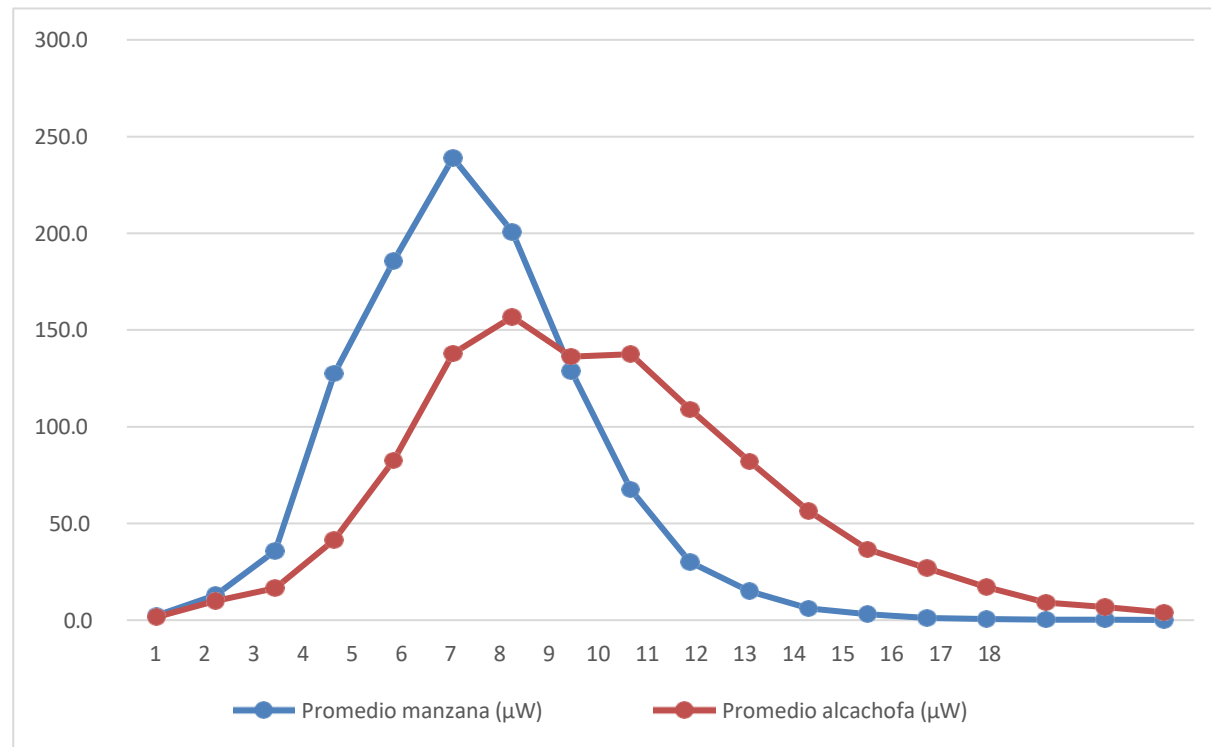
13	3.0	0.5	1.6	4.4	36.6	2.4	30.0	43.2
14	1.2	0.4	0.1	2.3	26.8	1.2	23.4	30.2
15	0.6	0.1	0.3	0.9	17.0	1.6	12.5	21.5
16	0.3	0.0	0.2	0.4	9.1	0.5	7.8	10.4
17	0.2	0.1	0.1	0.3	6.8	0.4	5.7	7.9
18	0.1	0.0	0.1	0.1	4.0	0.4	3.0	5.0

Nota. Datos calculados con la fórmula ($P=V^2/R$).

En la tabla se compara el potencial eléctrico obtenido con la formula $P=V^2/R$, en la que muestra pico de potencial obtenido en el día 7 en la alcachofa y el día 6 para la manzana con una diferencia de potencial de superior de 82.2 μW a favor de la manzana, así mismo vemos un desbalance en la caída precipitada de la manzana que inicia tempranamente en comparación a la alcachofa que mantiene una caída de 20% casi constante.

Figura 9

*Descripción de la producción de potencia (μW) durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) en bioceldas*



Nota. Datos calculados con la fórmula ($P=V^2/R$).

El gráfico ilustra de manera muy efectiva los perfiles energéticos completamente distintos de los dos sustratos a lo largo de los 18 días. Podemos dividir la observación en tres fases clave: Fase 1 el pico de la Manzana (Días 1-7) En la primera semana, la línea azul (Manzana) muestra un ascenso mucho más rápido y pronunciado que la línea roja (Alcachofa). La manzana alcanza un pico de potencia muy alto y

temprano, alrededor del día 6, superando los 200 μW . Esto representa una liberación de energía rápida e intensa. La alcachofa, en cambio, tiene un

ascenso más lento y alcanza un pico más bajo y tardío, alrededor del día 7. Fase 2: El Relevo de la Alcachofa (Días 8-14) El día 8 es el punto crítico donde las curvas se cruzan. A partir de este momento, los roles se invierten drásticamente: La potencia de la manzana se desploma, indicando que su "combustible" de fácil acceso se ha agotado rápidamente. La alcachofa toma el liderazgo, manteniendo una producción de energía moderada pero mucho más estable y duradera.

Mientras la línea azul cae en picada, la línea roja muestra una curva de descenso suave, demostrando su superioridad para un rendimiento sostenido.

Tabla 10

*Descripción de la producción de Energía eléctrica (μWh) durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) en bioceldas*

Día	Manzana			Alcachofa		
	Prom (μW)	Energía Diaria(μWh)	Energía Diaria (Joule)	Promedio (μW)	Energía Diaria(μWh)	Energía Diaria (Joule)
1	2.3	55.2	0.199	1.6	38.4	0.13824
2	12.7	304.8	1.097	9.9	237.6	0.85536
3	35.8	859.2	3.093	16.5	396	1.4256
4	127.3	3055.2	10.999	41.5	996	3.5856
5	185.7	4456.8	16.044	82.5	1980	7.128
6	239	5736.0	20.650	137.9	3309.6	11.91456
7	200.7	4816.8	17.340	156.8	3763.2	13.54752
8	128.8	3091.2	11.128	136.3	3271.2	11.77632
9	67.5	1620.0	5.832	137.4	3297.6	11.87136
10	30	720.0	2.592	108.9	2613.6	9.40896
11	14.9	357.6	1.287	82.1	1970.4	7.09344

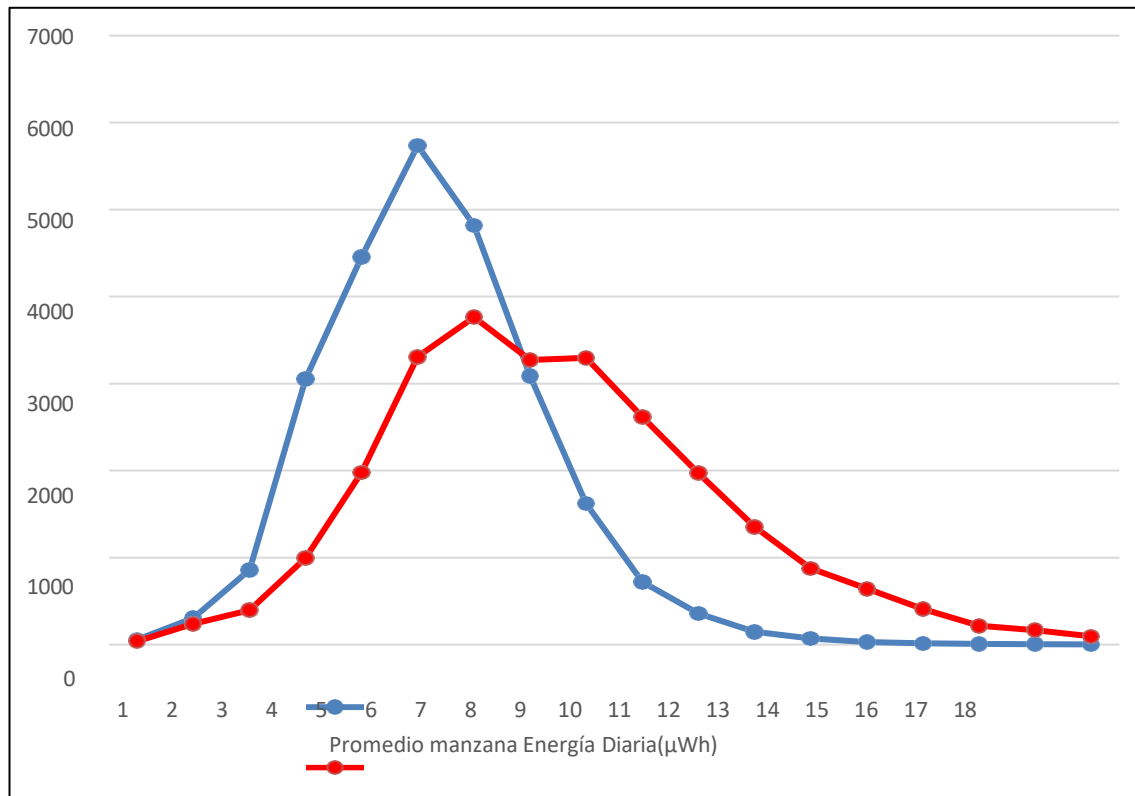
12	6.1	146.4	0.527	56.4	1353.6	4.87296
13	3	72.0	0.259	36.6	878.4	3.16224
14	1.2	28.8	0.104	26.8	643.2	2.31552
15	0.6	14.4	0.052	17	408	1.4688
16	0.3	7.2	0.026	9.1	218.4	0.78624
17	0.2	4.8	0.017	6.8	163.2	0.58752
18	0.1	2.4	0.009	4	96	0.3456

Nota. Datos calculados con la fórmula ($E=P \times t$).

En la tabla se muestra los datos numéricos de Energía diaria (μWh) en micro-vatios/hora tomados para la manzana durante los 18 días, donde se muestra que el pico Energía alcanza los 20.7J (Joule) lo que equivale a un rendimiento de 5736 μWh micro vatios/hora, mientras que la alcachofa nuestra el pico de Energía alcanzando un pico de 13.5J (Joule) lo que equivale a un rendimiento de 3763.2 μWh micro vatios/hora.

Figura 10

*Descripción de la producción de Energía eléctrica (μWh) durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) en bioceldas*



Nota. Datos calculados con la fórmula ($E=P \times t$)

El gráfico ilustra de manera muy efectiva los perfiles de Energía eléctrica completamente distintos de los dos sustratos a lo largo de los 18 días, se observa que la manzana rodea los 60 000μWh, la primera semana muestra un ascenso mucho más rápido y pronunciado teniendo un pico entre los días 5-6 para luego caer muy rápido con una pequeña curva de desplome final en el día 8-11, por lo contrario, en el caso de la alcachofa tiene un ascenso más lento y despacio que rodea los 40 000000μWh entre los días 5-9 que llega a mantener una caída gradual y mucho más sostenible.

Tabla 11

Descripción de la variación de masa al inicio y al final de combustión microbiana en la alcachofa (Cynara scolymus) y la combustión microbiana en la manzana (Malus domestica) para incrementar la producción de energía en bioceldas.

Grupo	Peso calibrado en gramos (gr.)					Prom Final (gr)	Prom Inicial (gr)	Prom, Consumo (gr)	Error Estándar	Límite Inferior (95%)	Límite Superior (95%)
	M_1	M_2	M_3	M_4	M_5						
Manzana	229	234	231	236	227	231.4	250	7.44%	1.54%	3.16%	11.72%
Alcachofa	223	224	214	214	217	218.4	250	12.64%	4.31%	0.67%	24.61%

Nota. Datos recolectados en trabajo de campo

El resultado más evidente es que el sustrato de alcachofa muestra un consumo de biomasa promedio considerablemente mayor (12.64%) que el de la manzana (7.44%). Esto sugiere que el proceso de combustión microbiana fue más extenso y profundo en la alcachofa a lo largo de los 18 días. Un punto crucial es la diferencia en la consistencia. El consumo en el grupo Manzana fue mucho más consistente entre las cinco celdas, como lo indica su bajo Error Estándar (1.54%). En cambio, el grupo Alcachofa fue extremadamente variable (Error Estándar de 4.31%). Esto se debe a que una celda tuvo un consumo altísimo (24.4%) mientras que otra no tuvo prácticamente ningún consumo (0%). Esta variabilidad podría indicar que la colonización microbiana en la alcachofa es más heterogénea o sensible a las condiciones iniciales. A pesar de la gran diferencia en los promedios, los intervalos de confianza del 95% se superponen ligeramente (el límite superior de Manzana es 11.72% y el inferior de Alcachofa es 0.67%).

Tabla 12*Prueba de normalidad*

Conjunto de Datos	Estadístico W	p-valor	Conclusión ($\alpha = 0.05$)
Pico - Manzana (Día 6)	0.949	0.722	Se asume normalidad
Pico - Alcachofa (Día 7)	0.923	0.547	Se asume normalidad
Sostenido - Manzana (Promedio Días 9-14)	0.989	0.963	Se asume normalidad
Sostenido - Alcachofa (Promedio Días 9-14)	0.916	0.505	Se asume normalidad

Nota. Datos calculados con IBM SPSS versión 26

Se aplicó la prueba de normalidad de Shapiro Wilk a los cuatro conjuntos de datos de potencia, que corresponden a los grupos y fases de interés del experimento. Esta prueba es reconocida por su robustez en el análisis de muestras de tamaño reducido. El resultado de la prueba arrojó p-valores superiores al nivel de significancia de 0.05 en todos los casos. Esto indica que no hay evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula, la cual establece que los datos están distribuidos normalmente. Por lo tanto, se puede asumir la normalidad de las muestras. En consecuencia, el uso de la prueba

t para muestras independientes para comparar las medias de los grupos es estadísticamente justificado.

4.1.1. CONDICIONES AMBIENTALES DEL ENSAYO

Finalmente, es importante describir el contexto ambiental en el que se desarrolló el experimento, ya que estas condiciones pueden influir en el comportamiento de los microorganismos evaluados. Durante el periodo experimental, que fue del 26 de mayo al 14 de julio del 2025 oscilo entre los 18°C y los 20°C, con picos máximos de 26°C coincidente con las horas de toma de datos que son las 12.00 M.

4.2. CONTRASTACIÓN Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

H1: Existe diferencia en la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica* para la producción de energía en bioceldas

H0: No existe diferencia en la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica* para la producción de energía en bioceldas.

Nivel de significancia: 5%

Estadístico de prueba: t de Student para muestras independientes

4.2.1. COMPARAR EL PICO DE RENDIMIENTO

Esta prueba busca determinar qué sustrato puede alcanzar una mayor producción máxima de energía, sin importar cuánto dure.

Pregunta de Investigación: ¿Existe una diferencia significativa en la *máxima potencia* que pueden generar los sustratos de manzana y alcachofa?

- Manzana: Día 6 (su pico de rendimiento con 239.0 μW).
- Alcachofa: Día 7 (su pico de rendimiento con 156.8 μW).

4.2.2. COMPARAR LA PRODUCCIÓN SOSTENIDA

Esta es, posiblemente, la comparación más importante para una aplicación práctica. Busca determinar qué sustrato es mejor para una producción de energía estable y a largo plazo.

- Pregunta de Investigación: ¿Qué sustrato genera una mayor potencia de forma sostenida una vez que el sistema se ha estabilizado?
- Rango a Analizar: Días 9 al 14. En este período, la Manzana ya ha colapsado, mientras que la Alcachofa mantiene un rendimiento superior y relativamente estable.

Tabla 13
Prueba de hipótesis

Comparación	Promedio Manzana (μ W)	Promedio Alcachofa (μ W)	Estadístico t	p-valor	Conclusión (Si $p < 0.05$)
Pico de Rendimiento					
(Manzana Día 6 vs. Alcachofa Día 7)	239	156.8	2.51	0.036	Diferencia Significativa
Producción Sostenida					
(Promedio Días 9-14)	19.3	78	-13.26	< 0.0001	Diferencia Significativa

Nota. Datos procesados con IBM SPSS versión 26.

La tabla de resultados es muy clara y nos permite sacar conclusiones contundentes con respaldo estadístico. El p-valor (0.036) es menor que nuestro nivel de significancia de 0.05. Por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula, el p-valor es extremadamente pequeño (< 0.0001), mucho menor que 0.05. Nuevamente, rechazamos la hipótesis nula.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. CONTRASTACIÓN DE LOS RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación permitieron verificar que existen diferencias significativas en la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la manzana (*Malus domestica*) para la producción de energía en bioceldas. A continuación, se discuten los hallazgos principales en función de los objetivos planteados y se contrastan con los antecedentes mostrados.

5.1.1. RESPECTO AL OBJETIVO GENERAL

El objetivo general consistió en comparar la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la manzana (*Malus domestica*) para la producción de energía en bioceldas. Al comprar los resultados mostrados en el diagrama de producción de energía en el sistema de bioceldas se muestra que la manzana alcanza un pico de 20.65 J (Joule), lo que equivale a un rendimiento 5 736 μWh (microvatios-hora) en el día 6, mientras que la alcachofa alcanza un pico de 13.5 J (Joule), lo que equivale a un rendimiento 3 763.2 μWh (microvatios-hora) en el día 7, eso nos lleva a la prueba de hipótesis donde al comparar los promedios se demuestra que existe una diferencia significativa, estos datos se ven corroborados en la prueba de hipótesis, en la cual se toma que p-valor, en la fase de pico de rendimiento el p-valor es de 0.036, mientras que en la fase de producción sostenida el p-valor es de 0.0001. Estos resultados muestran que hay diferencia significativa ($p < 0.05$), lo que confirma la hipótesis general planteada.

En el contexto nacional al comparar los resultados obtenidos con los reportados por Valdiviezo (2021), se observa una tendencia similar en cuanto a la producción de

energía en función al tipo de sustrato que compara la piña (fruta) y la cebolla(hortaliza) y nos dice que la piña (fruta) genera mayor producción de energía frente a la cebolla (hortaliza), teniendo como resultado que la piña obtiene 424.22 J equivalentes a 117 840 μWh de producción de energía mientras que la cebolla obtiene un pico de 175.38 J equivalentes a 48 720 μWh de producción de energía mostrando una diferencia significativa en la de producción de energía. Esta coincidencia de tendencia sugiere que con mayor contenido de azúcares fermentables facilitan la actividad microbiana. como tienen las frutas genera mayor producción de energía. Las diferencias éntrelos valores obtenidos entre los estudios puede explicarse por la cantidad de sustrato que se emplearon 6 kg por muestras en caso de Valdiviezo y 250gr en este estudio favoreciendo una mayor liberación de electrones y, por consiguiente, una mayor generación de energía.

Al comparar los resultados obtenidos en el estudio de Vargas & Paz (2023), se observa que presentaron valores menores a los registrados, lechuga alcanzando 0,689 J equivalentes a 191.29 μWh , Jacinto obtiene 0.204 J equivalentes a 56.65 μWh y lentejas obtiene 9.72 J equivalentes a 0.035 μWh , mientras que en la presente investigación la manzana llega a 5 736 μWh y la alcachofa a 3 763 μWh , esta diferencia puede atribuirse al mayor contenido en azúcares fermentables presentes en los sustratos frutales así como a diferencias en las condiciones experimentales

Al comprar los resultados obtenidos por Rojas et. al., (2021), que utilizo uva (*Vitis vinifera*), reportando un pico de 157,85 J equivalente a 43 848 μWh alcanzados en el día 18/35 mostrando una tendencia similar de pico en los primeros días, mientras que la manzana alcanza un pico de 20.65 J llega a 5 736 μWh en el día 7/18, así mismo los valores

obtenidos pueden estar relacionadas a los factores experimentales ya que empleo 250gr para el estudio de la manzana y alcachofa mientras que en el estudio de la uva se usó 500 ml de extracto de uva obtenida mediante una extractora que podría estar relacionado al mayor rendimiento también se podría atribuir al diseño experimental ya que en caso de la uva se usó un prototipo de celda de combustible de una sola cámara (ánodo) con un electrodo de gráfico y un electrodo de Zinc como tapón unidos por un cable de cobre.

5.1.2. RESPECTO AL PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO

El primer objetivo específico es describir la variación de resistencia interna durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) para incrementar la producción de energía en bioceldas. Al comparar los resultados vemos que se forma una campana invertida mayor pronunciada para la manzana y más corta y plana para la alcachofa, la manzana tiene una resistencia inicial muy alta de 1 560 ohm y llegando a su punto favorable (menor resistencia) en el día 6 con 542.4 ohm y en su final llega hasta los 2 162 ohm, mientras que la alcachofa tiene una resistencia inicial alta teniendo un promedio de 1000 ohm y su punto favorable (menor resistencia) ocurre en el día 9 teniendo un promedio de 498.2 ohm y en su final llegando a los 1 407.4 ohm.

Los valores reportados en el estudio de Valdivieso (2021), muestran una tendencia similar donde se muestran una hortaliza como es el caso de la cebolla con un inicio entre 140 – 168 ohm y una media de 154 ohm siendo más favorable desde el día 12 al 17 y una fruta como es el caso de la piña con un inicio entre 2000 – 2300 ohm siendo más favorable los primeros 10 días y una media de 1 596 ohm en la piña mostrando una mayor elongación de una campana

invertida y una campana más plana para la cebolla

Así mismo al comparar estos resultados con el estudio realizado por Rojas et. al., (2021), que utilizo uva (*Vitis vinifera*), reporto variaciones en la resistencia eléctrica que inicio con 1000 ohm y alcanzando su punto óptimo (menor resistencia) en el día 18 con 428.66 ohm para después ir subiendo nuevamente siguiendo una tendencia similar mostrada en esta investigación una curva tipo campana invertida. Este comportamiento puede atribuirse a la dinámica de los microorganismos que relaciona el agotamiento de nutrientes y la disminución de actividad microbiana dentro del sistema

5.1.3. RESPECTO AL SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO

El segundo objetivo Describir la variación de voltaje durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) para incrementar la producción de energía en bioceldas. Al comparar resultados se muestra que la manzana alcanza el pico tempranamente el día 5 con 360mV, manteniendo el ritmo hasta el día 7 con 330mV y decae precipitadamente a partir del día 10 con 164.8mV, mientras que la alcachofa el día 7 con 300 mV, manteniendo el ritmo hasta el 12 con 175 mV, y decae gradualmente.

Los valores reportados en el estudio de Vargas & Paz (2023), donde la planta que obtuvo mayor son para la lechuga con 88.56mV, aunque a pesar de su baja generación de voltaje Jacinto con 47.21mV y lenteja 20.24mV fueron las más constantes en cuanto al aumento de voltaje durante los 60 días que duró su experimento comportamiento similar a los resultados obtenidos para la manzana y la alcachofa que duraron 18 días donde se observa un mayor resultado 360mV Y 300 mV respectivamente pero la constancia de la alcachofa fue mayor a la de la manzana, esto puede

corresponder a la su estructura más compleja y difícil de degradar por otro lado la lechuga tiene un tejido más suave y vemos una degradación más rápida así, vemos la influencia de la estructura, la disponibilidad de materia orgánica y el contenido de fibra características sujetas a la liberación de electrones y la producción de voltaje.

Así mismo al comparar estos resultados con el estudio realizado por Rojas et. al., (2021), que utilizo uva (*Vitis vinifera*), una tendencia similar mostrada en esta investigación una curva tipo campana con tendencia a la izquierda casi perfecta, que inicia con 600 mV llega a su punto más alto a los 18 días con 900 mV y vuelve a decaer de forma precipitada en el día 27 con 0.65 V con una duración de 35 días, comportamiento similar a la manzana que inicia con 50 mV llega su punto más alto en el día 7 con 360mV y decae en el día 12 con 95 mV, esto puede atribuirse a la dinámica de los microorganismos que relaciona el agotamiento de glucosa y azúcares simples de las frutas que disminución de actividad microbiana dentro del sistema.

5.1.4. RESPECTO AL TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO

El tercer objetivo específico consistió en describir la producción de potencia (μW) durante la combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) en bioceldas. Donde la manzana que en el día 6 alcanzo valores de 239 μW y la alcachofa 156.8 μW en el día 7, vemos un desprendimiento de potencia casi el mismo día con una diferencia de 82.2 μW esto puede atribuirse a un periodo de similar crecimiento y las condiciones ambientales similares.

Rojas et. al., (2021), indica en su reporte que la potencia máxima alcanzada en el día 18 cuando llego a su voltaje máximo y su resistencia optima teniendo 1 177 μW

tendencia similar a la manzana que llega el día 6 a 239 μW coincidiendo con su día de mayor voltaje y optima resistencia en la biocelda, esto puede atribuirse la coherencia física de relación de potencia, voltaje y resistencia en el correcto funcionamiento de una celda de combustible microbiana.

Vargas & Paz (2023), reportan en sus 60 días de funcionamiento que alcanzó potencias máximas similares para sus tres sustratos lechuga, Jacinto y lentejas de 7.97 μW , 2.36 μW y 0.405 μW respectivamente vemos una velocidad de degradado más lenta que se atribuye a la composición compleja estos resultados son similares al de la alcachofa que se mantuvo aun en funcionamiento despues de los 18 dias propuestos y alcanzo una potencia de 156.8 μW en el día 7 tardando más en alcanza el pico y mostrando menor potencia pero muestra un comportamiento más estable permitiendo la liberación sostenida de compuestos orgánicos y mantiene la actividad microbiana de mayor duración.

5.1.5. RESPECTO AL CUARTO OBJETIVO ESPECÍFICO

El cuarto objetivo específico consistió en describir la variación de masa al inicio y al final de combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la combustión microbiana en la manzana (*Malus domestica*) para incrementar la producción de energía en bioceldas, teniendo como resultados en los cinco grupo de estudio en la manzana se obtuvo: 229 gr, 234 gr, 231 gr, 236 gr y 227 gr y para la alcachofa se obtuvo: 223 gr, 224 gr, 214 gr, 214 gr y 217 gr, ambos grupos iniciaron con 250 gramos se observa una perdida promedio de masa de 18,6 gr en la manzana mientras que para la alcachofa se ve una perdida mayor de 31,6 gr en promedio. Estos resultados sugieren que la alcachofa sufrió una mayor degradación de su biomasa esto posiblemente a su mayor contenido en fibra estructural en

contraste con la manzana que mostro una degradación más rápida de su parte soluble lo que pudo favorecer una mayor producción de energía inicial y menor perdida de total de masa

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en la investigación titulada "Comparación de combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la manzana (*Malus domestica*) para la producción de energía en bioceldas".

- Se determinó que la combustión microbiana la manzana (*Malus domestica*) presentó un mejor desempeño energético en la fase inicial en términos de voltaje y potencia en comparación de la alcachofa (*Cynara scolymus*) quien mostro resultados más confiables y sostenidos para experimentos más prolongados, esto debido a la diferencia en su contenido mientras la manzana tiene glucosa y azúcares simples la alcachofa tiene carbohidratos complejos como celulosa que producen una degradación más progresiva.
- Se comprobó que los picos alcanzados en los voltajes ocurren en la primera fase donde los cultivos están en su mayor crecimiento evidenciando que el tipo de sustrato influye directamente en la dinámica de generación de voltaje.
- Se comprobó que la resistencia tuvo variaciones en el tipo y el tipo de sustrato, viendo una disminución inicial y un incremento en la última fase debido al agotamiento de los sustratos.
- Se demostró que la potencia está relacionada a la resistencia y al voltaje del sustrato quien determina la durabilidad del pico de potencia máxima en la biocelda.
- Se comprobó que la masa de la materia orgánica sufre variaciones a lo largo del tiempo que permanece en la celda de combustible microbiana y que su composición, tamaño y pretratamiento.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar un mayor número de sustratos orgánicos con compuestos diferentes para identificar aquellos con mayor potencial eléctrico en las celdas de combustible microbianas.
- Se sugiere analizar el efecto de diferentes estados de procesamiento de los sustratos (cortado, triturado, molido o extracto) ya que esto influye directamente en la actividad microbiana y la duración de la vida de la celda de combustible microbiana.
- Se recomienda ampliar el tiempo de experimentación con mayor cantidad de masa de sustrato que permita determinar puntos óptimos de operación en el sistema de celdas de combustible microbianas.
- Se recomienda probar el uso de diferentes prototipos de celdas de combustible microbianas en los sustratos de vegetales, hortalizas y plantas de agua ya que estas cámaras resisten periodos largos de experimentación y que no necesiten membranas para su funcionamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, M., et al. (2016). Estado actual de los sistemas bioelectroquímicos: Factibilidad de su uso para aumentar la producción ruminal de propionato. *Agrociencia*, 2016, vol. 50, p.149-166.
https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-31952016000200149&script=sci_arttext
- Buñay, P & Sanunga L., (2019). Diseño y construcción de una Celda de Combustión Microbiana (CCMs) Bachelor's thesis, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
<https://acortar.link/Atqz7U>
- Castro, L., & Escobar, R. (2023). Implementación de celdas de combustible microbianas para el aprovechamiento energético de la biomasa residual obtenida de la postcosecha del cultivo de plátano.
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/server/api/core/bitstreams/87bd6586-5880-4c86-b17f-12ef5f52ce69/content>
- Castro, C., (2022). Evaluación del potencial energético de subproductos del beneficio del cacao para la obtención de bioelectricidad en celdas de combustión microbianas.
<https://repositorio.unbosque.edu.co/server/api/core/bitstreams/12fb6d30-db4f-4802-8e6e-04129344dde6/content>
- Guadarrama, O., et al. (2025). Celdas de combustible microbianas: una evolución sustentable en la producción de bioelectricidad.
<https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/93c22ecf-aab1-4718-8b14-97bf10cb1e4e>
- Guambo, A., et al. (2020). Evaluación de grafeno y magnetita

como membranas de intercambio de electrones en celdas de combustible microbianas con sustratos orgánicos para producir bioelectricidad. ACI Avances en Ciencias e Ingenierías, no 1.

<https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/download/1942/2981?inline=1>

Gretel, N. (2016). Análisis técnico - económico de la tecnología de celdas de combustible microbianas para la producción de energías alternas.

<https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/80/1/An%C3%A1lisis%20t%C3%A9cnico-econ%C3%B3mico%20de%20la%20tecnolog%C3%ADa%20de%20celdas%20bioelectroqu%C3%ADmicas%20microbianas%20para%20la%20producci%C3%B3n%20de%20energ%C3%ADas%20alternas..pdf>

Jiménez M., et al (2018). Modelo bioquímicamente estructurado para la estimación de la eficiencia de una celda de combustible microbiana. Revista internacional de contaminación ambiental, 2018, vol. 34, no 2, p. 331-345.
<https://www.redalyc.org/journal/370/37056657015/html/>

Pincay P. & Rodríguez J., (2021). Sistema embebido para medir la producción de energía con celdas de combustible microbianas universidad agraria del ecuador.
<http://181.19835.98/Archivos/PINCAY%20BAQUERIZO%20PRISCILA%20SARAI.pdf>

Ramón, A., (2019). Aplicación de técnicas de modelado para la optimización de la energía generada en pilas de microbianos combustibles.
<http://hdl.handle.net/10317/8285>

Revelo, D., et al. (2013). Celdas de combustible microbianas

(CCMs): Un reto para la remoción de materia orgánica y la generación de energía eléctrica. Información Tecnológica, 24(6), 17–28. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=s0718-07642013000600004&script=sci_arttext

Reyes R, (2023). Generación de energía eléctrica a partir de aguas residuales de la industria de cacao mediante celdas de combustible microbiana.

<https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1355f723-5090-4b6b-bdc3-e82a5ce5731c/content>

Rojas S, et. al., (2023). Artículo Generación de energía verde en pilas de combustible microbianas de una sola cámara utilizando residuos de tomate. <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/13/10461>

Rojas et. al., (2021). Generación de bioelectricidad mediante desechos de uvas.

<https://repositorio.upn.edu.pe/item/423e245e-cd7b-478f-b28c-a10a16eace3e>

Sánchez, M., et al. (2021). Generación de energía eléctrica y tratamiento de aguas residuales mediante celdas de combustible microbianas. Revista Digital Novasinergia, 2021, vol. 4, no 1, p. 164-180. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?pid=S2631-26542021000100164&script=sci_arttext

Truchado, P & Allende, A., (2020). La implicación de las frutas y hortalizas en las toxiinfecciones alimentarias y la relevancia del estado fisiológico de las bacterias. arbor, vol. 196, no 795, p. 541-541.

<https://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/2>

Valdiviezo F, (2021). Influencia de residuos orgánicos en la generación de electricidad usando celdas de combustible

microbianas.

<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/70896>

Vargas & Paz, (2023). Generación de bioelectricidad a partir de plantas acuáticas: *Eichhornia crassipes*, *Lemnaceae Spirodela* y *Pistia stratiotes* en celdas de combustibles microbiana (CCM-P). https://repositorio.upeu.edu.pe/items/373a03d1-1641-490a-adb1-3a11d805e09e?utm_source=chatgpt.com

COMO CITAR ESTE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Espinoza, C. (2026). Comparación de combustión microbiana en la alcachofa (*Cynara scolymus*) y la manzana (*Malus domestica*) para la producción de energía en bioceldas. [Tesis de pregrado, Universidad de Huánuco]. Repositorio institucional UDH.[url:http://...](http://...)

ANEXOS

ANEXO 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

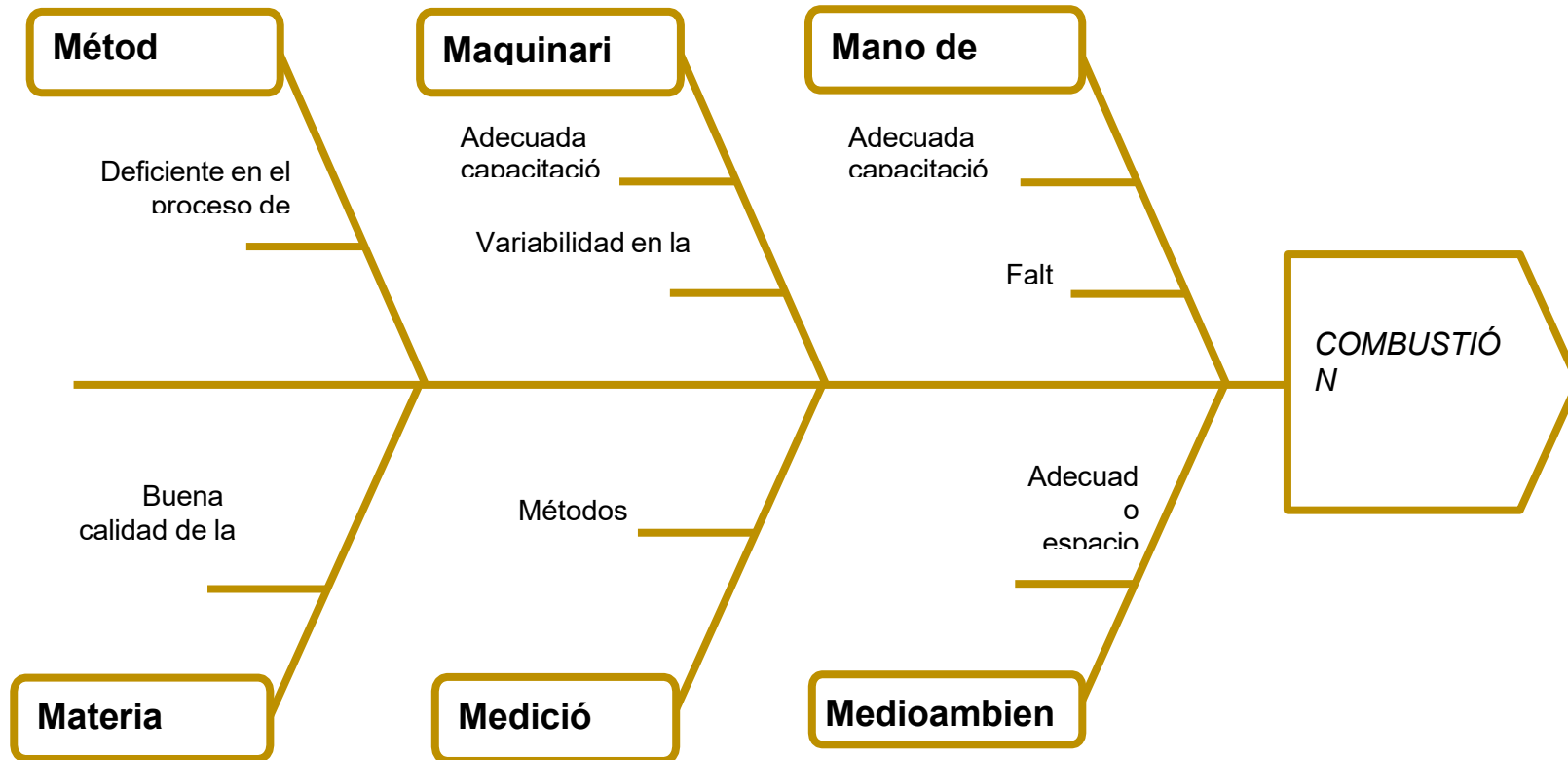
“COMPARACIÓN DE COMBUSTIÓN MICROBIANA EN LA ALCACHOFA (*CYNARA SCOLYMUS*) Y LA MANZANA (*MALUS DOMESTICA*) PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN BIOCELDA”

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variable
Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variable de calibración
¿Cuál es la combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la manzana (<i>Malus domestica</i>) para la producción de energía en bioceldas?	Comparar la combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la manzana (<i>Malus domestica</i>) para la producción de energía en bioceldas	Existe diferencia de combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) para la producción de energía en bioceldas	Combustión microbiana
Problema específico	Objetivo específico		Variable de evaluación
¿Cuál es la variación de resistencia interna durante la combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) para incrementar la producción de energía en bioceldas?	Describir la variación de resistencia interna durante la combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) para incrementar la producción de energía en bioceldas		Parámetros físicos Intensidad
¿Cuál es la variación de voltaje durante la combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) para incrementar la producción de energía en bioceldas?	Describir la variación de voltaje durante la combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) para incrementar la producción de energía en bioceldas		Resistencia interna
¿Cuál es la producción de potencia (μW) durante la combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) en bioceldas?	Describir la producción de potencia (μW) durante la combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) en bioceldas		Parámetros químicos Potencial Combustión
¿Cuál es la variación de masa al inicio y al final de combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) para incrementar la producción de energía en bioceldas?	Describir la variación de masa al inicio y al final de combustión microbiana en la alcachofa (<i>Cynara scolymus</i>) y la combustión microbiana en la manzana (<i>Malus domestica</i>) para incrementar la producción de energía en bioceldas		Voltaje

ANEXO 2 MAPA DE UBICACIÓN

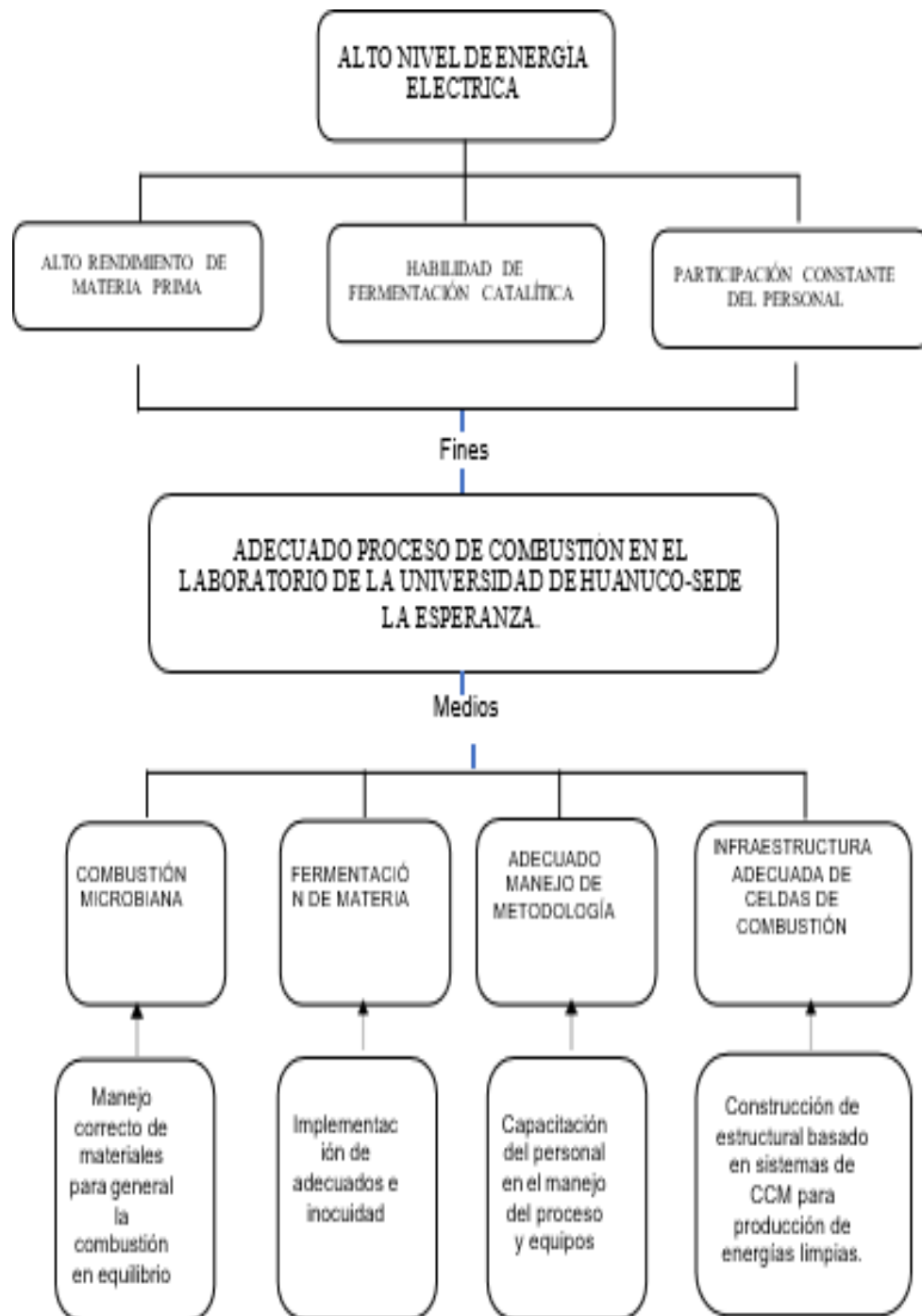


ANEXO 3 DIAGRAMA DE CAUSA Y EFECTO



ANEXO 4

ARBOL DE MNEDIOS Y FINES



ANEXO 5

INSTRUMENTO DE ESTUDIO

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

	FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS		VERSIÓN 01
	COMPARACIÓN DE COMBUSTIÓN MICROBIANA EN LA ALCACHOFA (<i>Cynara scolymus</i>) Y LA MANZANA (<i>Malus domestica</i>) PARA LA PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN BIOCELIDAS.		
	AÑO: 2025 LUGAR: HUÁNUCO - PERÚ		

FECHA:	____/____/2025.
--------	-----------------

GRUPO 1	ALCACHOFA (<i>Cynara scolymus</i>)		
	Nº	PARAMETROS	RESULTADOS
	1	VOLTAJE	mV.
	2	RESISTENCIA	Ohm (Ω)
3	POTENCIAL ELÉCTRICO	V.	

GRUPO 1	MANZANA (<i>Malus domestica</i>)		
	Nº	PARAMETROS	RESULTADOS
	1	VOLTAJE	mV.
	2	RESISTENCIA	Ohm (Ω)
3	POTENCIAL ELÉCTRICO	V.	

GRUPO 2	ALCACHOFA (<i>Cynara scolymus</i>)		
	Nº	PARAMETROS	RESULTADOS
	1	VOLTAJE	mV.
	2	RESISTENCIA	Ohm (Ω)
3	POTENCIAL ELÉCTRICO	V.	

GRUPO 2	MANZANA (<i>Malus domestica</i>)		
	Nº	PARAMETROS	RESULTADOS
	1	VOLTAJE	mV.
	2	RESISTENCIA	Ohm (Ω)
3	POTENCIAL ELÉCTRICO	V.	

GRUPO 3	ALCACHOFA (<i>Cynara scolymus</i>)		
	Nº	PARAMETROS	RESULTADOS
	1	VOLTAJE	mV.
	2	RESISTENCIA	Ohm (Ω)
3	POTENCIAL ELÉCTRICO	V.	

GRUPO 3	MANZANA (<i>Malus domestica</i>)		
	Nº	PARAMETROS	RESULTADOS
	1	VOLTAJE	mV.
	2	RESISTENCIA	Ohm (Ω)
3	POTENCIAL ELÉCTRICO	V.	

GRUPO 4	ALCACHOFA (<i>Cynara scolymus</i>)		
	Nº	PARAMETROS	RESULTADOS
	1	VOLTAJE	mV.
	2	RESISTENCIA	Ohm (Ω)
3	POTENCIAL ELÉCTRICO	V.	

GRUPO 4	MANZANA (<i>Malus domestica</i>)		
	Nº	PARAMETROS	RESULTADOS
	1	VOLTAJE	mV.
	2	RESISTENCIA	Ohm (Ω)
3	POTENCIAL ELÉCTRICO	V.	

GRUPO 5	ALCACHOFA (<i>Cynara scolymus</i>)		
	Nº	PARAMETROS	RESULTADOS
	1	VOLTAJE	mV.
	2	RESISTENCIA	Ohm (Ω)
3	POTENCIAL ELÉCTRICO	V.	

GRUPO 5	MANZANA (<i>Malus domestica</i>)		
	Nº	PARAMETROS	RESULTADOS
	1	VOLTAJE	mV.
	2	RESISTENCIA	Ohm (Ω)
3	POTENCIAL ELÉCTRICO	V.	

OBSERVACIONES:

OBSERVACIONES:

DATOS ADICIONALES:		
MATERIA ORGÁNICA (g)		
pH	camara anódica	camara catódica
Exc. 0/14		

DATOS ADICIONALES:		
MATERIA ORGÁNICA (g)		
pH	camara anódica	camara catódica
Exc. 0/14		

ANEXO 6

PANEL FOTOGRÁFICO

- Colocación de la membrana de filtro en la unión del tubo PVC para el intercambio de electrones



- Elaboración la primera celda de combustión microbiana para el grupo de estudio de la alcachofa.



- Pesaje de la masa de los sustratos (alcachofa) para la separación en la cámara de las celdas de combustible microbianas.



- Pesaje de la masa de los sustratos (alcachofa) para la separación en la cámara de las celdas de combustible microbianas.



- Armado de las unidades de estudio (bioceldas)



- Toma del primer día de los dos grupos de estudios conformadas por las 5 unid. de estudio manzana y las 5 unid. De estudio de la alcachofa.



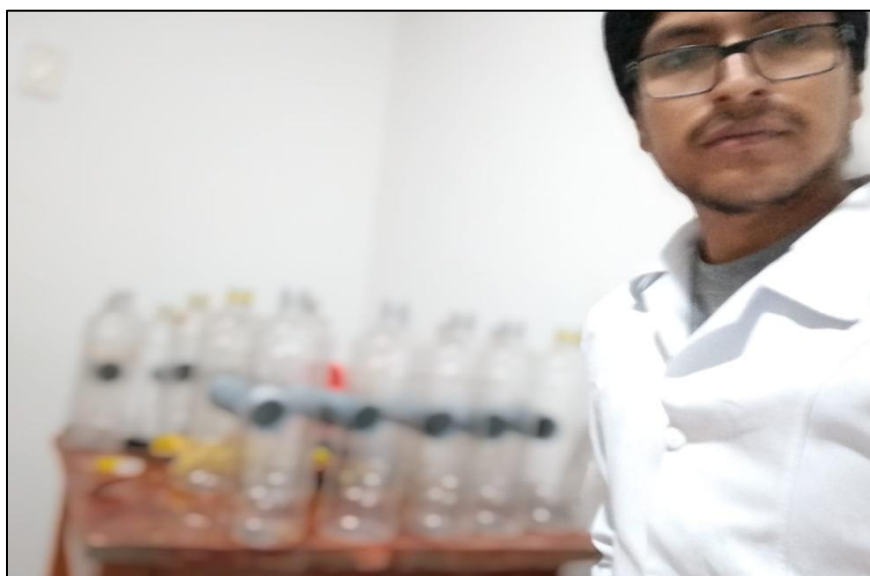
- Corte de los tubos PVC para las unión o puente de intercambio de electrones.



- Colocación de los cables de cobres y las láminas de cobre para cada celda de combustión microbiana



- Primera foto en la finalización de la construcción de las bioceldas de combustión microbianas.



- Revisión del jurado de la toma de muestras en las celdas de combustible microbianas.

