



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**DESEMPEÑO DE CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS  
BENTONICAS CON SEDIMENTOS LACUSTRES DE LA LAGUNA  
DE LA HACIENDA SAN ISIDRO DEL CANTON RUMIÑAHUI  
PARROQUIA SANGOLQUI**

**Trabajo De Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA: EMERSON ANDRES NAVARRO MALDONADO**

Riobamba– Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**DESEMPEÑO DE CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS  
BENTONICAS CON SEDIMENTOS LACUSTRES DE LA LAGUNA  
DE LA HACIENDA SAN ISIDRO DEL CANTON RUMIÑAHUI  
PARROQUIA SANGOLQUI**

**Trabajo De Titulación**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTORA:** EMERSON ANDRES NAVARRO MALDONADO

**DIRECTOR:** Dr. CELSO GUILLERMO RECALDE MORENO, PhD.

Riobamba– Ecuador

2023

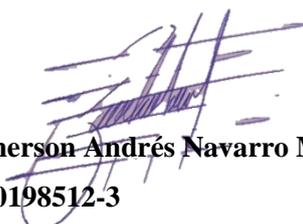
**©2023, Emerson Andrés Navarro Maldonado**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor

Yo, Emerson Andrés Navarro Maldonado, declaro que el presente Trabajo de Titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que proviene de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

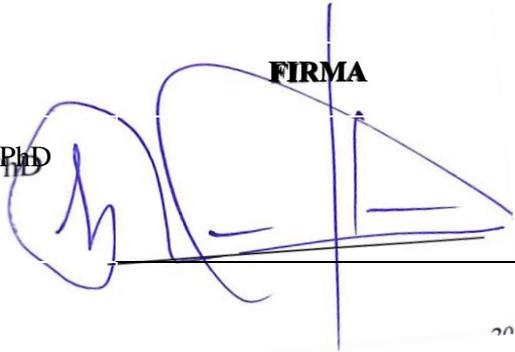
Riobamba,



**Emerson Andrés Navarro Maldonado**  
**030198512-3**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA**

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación; tipo: Proyecto de Investigación, “**DESEMPEÑO DE CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS BENTONICAS CON SEDIMENTOS LACUSTRES DE LA LAGUNA DE LA HACIENDA SAN ISIDRO DEL CANTÓN RUMIÑAHUI PARROQUIA SANGOLQUI**”, realizado por el señor: **EMERSON ANDRES NAVARRO MALDONADO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dr. Ángel Rigoberto Silva Delgado, PhD <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-07-06
Dr. Celso Guillermo Recalde Moreno, PhD. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2023-07-06
Dr. Arquímedes Xavier Haro Velastegui, PhD <b>ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2023-07-06

## **DEDICATORIA**

A mi amada esposa Bárbara Calle y a mi hermosa hija, Barbarita Victoria. Dedico este trabajo con todo mi amor y les agradezco por ser mi pilar y mi motivación constante. Su presencia en mi vida ha sido mi mayor inspiración y motor para superar cada obstáculo en este camino. A mis padres, Francisco Navarro y Gloria Maldonado y a mis suegros, Efrén Calle y Verónica Sánchez. Esta dedicatoria es también un homenaje a su incondicional apoyo y al amor inquebrantable que han brindado a lo largo de mi formación académica. Su confianza en mí ha sido fundamental para alcanzar este logro, y siempre les estaré agradecido por su constante respaldo. Cada página de este documento lleva impregnada dedicación, sacrificio y creencia en mis capacidades. Sin su amor y apoyo, este logro no habría sido posible. Estoy eternamente agradecido por tenerlos en mi vida.

Emerson

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco igualmente a mi tutor Dr. Celso Recalde y asesor Dr. Arquímedes Haro, cuya sabiduría y guía han sido fundamentales en el desarrollo de esta investigación. Sus conocimientos expertos y su dedicación para brindarme orientación y retroalimentación constructiva han sido invaluable. De igual manera a mis formadores del Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA), en especial a la Ing. Joana Iza e Ing. Romel Palaguachi, por estar siempre predispuestos a asesorarme, apoyarme y por ser una pieza clave para que este trabajo se vea reflejado con éxito.

Emerson

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN .....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Planteamiento del problema .....	3
1.2. Limitaciones y delimitaciones.....	3
1.3. Problema General de la Investigación .....	4
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	4
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	4
1.5. Justificación.....	4
1.5.1. <i>Justificación Teórica</i> .....	4
1.5.2. <i>Justificación Metodológica</i> .....	5
1.5.3. <i>Justificación Práctica</i> .....	6

### CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO .....	7
2.1. Antecedentes de investigación .....	7
2.1.1. <i>Generalidades</i> .....	7
2.1.2. <i>Celdas de combustible microbianas</i> .....	8
2.1.3. <i>Tipos de celdas de combustión microbianas</i> .....	9
2.1.4. <i>Componentes de una CCMs</i> .....	10
2.1.4.1. <i>Cámara Anódica</i> .....	10
2.1.4.2. <i>Propiedades esenciales del ánodo</i> .....	10
2.1.5. <i>Biopelículas electroactivas de los sistemas bioeléctricos</i> .....	12
2.1.6. <i>Sedimentos</i> .....	12
2.1.7. <i>Bioelectricidad</i> .....	13

2.1.8.	<i>Microorganismos en las CCMBs</i> .....	13
2.2.	<b>Marco conceptual</b> .....	15
2.2.1.	<i>Bioelectroquímico</i> .....	15
2.2.2.	<i>Bioelectricidad</i> .....	16
2.2.3.	<i>Ánodo</i> .....	16
2.2.4.	<i>Cátodo</i> .....	16
2.2.5.	<i>Fibra de Carbono</i> .....	16
2.2.6.	<i>Electrones</i> .....	16
2.2.7.	<i>Microorganismos Exoelectrogenos</i> .....	16
2.2.8.	<i>Agua residual</i> .....	17
2.2.9.	<i>Respiración microbiana</i> .....	17
2.2.10.	<i>Biopelícula</i> .....	17
2.2.11.	<i>Sedimentos</i> .....	17

### CAPÍTULO III

3.	<b>METODOLÓGICO</b> .....	18
3.1.	<b>Tipo de Investigación</b> .....	18
3.2.	<b>Diseño de la investigación</b> .....	18
3.2.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente</i> .....	18
3.2.2.	<i>Tipo experimental</i> .....	18
3.2.3.	<i>Planteamiento de la hipótesis</i> .....	19
3.3.	<b>Unidad de análisis</b> .....	19
3.3.1.	<i>Localización del Estudio</i> .....	19
3.4.	<b>Tamaño de la Muestra</b> .....	20
3.5.	<b>Selección de la Muestra</b> .....	21
3.6.	<b>Recolección de Muestreo</b> .....	21
3.7.	<b>Análisis físico químico de sedimento</b> .....	22
3.7.1.	<i>Nitritos</i> .....	23
3.7.2.	<i>Fosfatos</i> .....	23
3.7.3.	<i>DBO</i> .....	24
3.7.4.	<i>DQO</i> .....	24
3.8.	<b>Análisis microbiológico de las muestras de sedimento natural y pretratada</b> .....	25
3.9.	<b>Análisis macroscópico y microscópico de las cepas del sedimento natural</b> .....	25
3.10.	<b>Construcción de las CCMBs</b> .....	26
3.11.	<b>Configuración de las celdas</b> .....	27
3.12.	<b>Pretratamiento del ánodo y cátodo</b> .....	28

3.13.	Resiembra y análisis morfológico de las bacterias puras de <i>Bacillus spp</i> y <i>Acinetobacter oleivorans</i> .....	29
3.14.	Inoculación de bacterias aisladas .....	30
3.15.	Monitoreo de las CCMBs.....	30
3.15.1.	Análisis microbiológico de los ánodos de cada CCMBs.....	31
3.15.2.	Pruebas de microorganismos aerobios .....	31
3.15.3.	Curvas de polarización de las CCMBs .....	31

## CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	32
4.1.	Monitoreo y seguimiento de la investigación.....	32
4.2.	Análisis fisicoquímico inicial y final de los sedimentos de las CCMBs .....	32
4.3.	Análisis microbiológico inicial y final de los sedimentos de las <i>Celdas de Combustion Microbians Benticas</i> .....	36
4.3.1.	Resultados microbiológicos de muestra compuesta de sedimentos.....	36
4.4.	Configuración de la celda de combustible microbiana.....	39
4.5.	Verificación de purezas de cepas aisladas .....	40
4.6.	Análisis microbiológico final del anodo de cada celda .....	41
4.7.	Análisis de la generación de voltaje .....	42
4.8.	Curvar de polarización mediante el equipo de potenciostato.....	44
	CONCLUSIONES.....	46
	RECOMENDACIONES.....	47

## GLOSARIO

## BIBLIOGRAFIA

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3-1:</b>	Identificación de Variables .....	18
<b>Tabla 3-2:</b>	Variables Independientes .....	19
<b>Tabla 4-1:</b>	Análisis Físicos y Químicos Iniciales y Finales de las muestras de sedimentos..	33
<b>Tabla 4-2:</b>	Análisis Microbiológico de la muestra compuesta .....	36
<b>Tabla 4-3:</b>	Análisis Microbiológico de la muestra compuesta .....	37
<b>Tabla 4-4:</b>	Análisis microbiológico muestra auto clavada .....	38
<b>Tabla 4-5:</b>	Configuración de Celdas .....	39
<b>Tabla 4-6:</b>	Observación y Tinción Gram de Bacterias puras de Bacillus spp y Acinetobacter oleivorans.....	40
<b>Tabla 4-7:</b>	Análisis Microbiológico del ánodo .....	41

## ÍNDICE DE ILUSTRACIÓN

<b>Ilustración 2-1:</b>	Morfología Bacteriana.....	15
<b>Ilustración 3-1:</b>	Laguna “Hacienda San Isidro” .....	20
<b>Ilustración 3-2:</b>	Laboratorios “Escuela superior politécnica de Chimborazo” .....	20
<b>Ilustración 3-3:</b>	Puntos de muestreo en la laguna de la Hacienda San Isidro .....	22
<b>Ilustración 3-4:</b>	Medición de parámetros .....	22
<b>Ilustración 3-5:</b>	Espectrofotómetro, medición de nitratos.....	23
<b>Ilustración 3-6:</b>	Espectrofotómetro, medición de sulfatos. ....	24
<b>Ilustración 3-7:</b>	Digestor de DBO.....	24
<b>Ilustración 3-8:</b>	Determinación de DQO.....	25
<b>Ilustración 3-9:</b>	Siembra y análisis microbiológico muestra compuesta de la laguna .....	26
<b>Ilustración 3-10:</b>	Construcción de las celdas .....	26
<b>Ilustración 3-11:</b>	Simulación de CCMBs de cámara única.....	27
<b>Ilustración 3-12:</b>	Celda de combustible microbiana bentónica.....	28
<b>Ilustración 3-13:</b>	Tratamiento del ánodo y cátodo .....	28
<b>Ilustración 3-14:</b>	Resiembra de sepas puras Bacillus spp y Acinetobacter oleivorans. ....	29
<b>Ilustración 3-15:</b>	Verificación de bacterias puras .....	30
<b>Ilustración 3-16:</b>	Monitoreo de las celdas.....	30
<b>Ilustración 4-1:</b>	Morfología Bacteriana.....	32
<b>Ilustración 4-2:</b>	Monitoreo de voltaje de las CCMBs inoculadas .....	42
<b>Ilustración 4-3:</b>	Monitoreo de voltaje de las CCMBs blancos .....	43
<b>Ilustración 4-4:</b>	Curvas de polarización .....	44

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

<b>ANEXO A:</b>	PERMISO DE TOMAS DE MUESTRAS DEL GADMUR
<b>ANEXO B:</b>	AVAL DEL GRUPO GEAA
<b>ANEXO C:</b>	ANÁLISIS FÍSICOS QUÍMICOS MONITOREO IN SITU
<b>ANEXO D:</b>	PRUEBAS DE MICROORGANISMOS ANAEROBIOS DE LAS CCMBS

## RESUMEN

La presente investigación se centró en las celdas de combustible microbianas bentónicas (CCMBs), una tecnología emergente para generar energía eléctrica mediante la oxidación microbiana de materia orgánica. Aunque estas CCMBs tienen un gran potencial para el tratamiento de aguas residuales y la generación de energía renovable, han sido poco estudiadas en el país. El objetivo de la investigación fue evaluar el desempeño de las CCMBs bentónicas utilizando diferentes microorganismos y sedimentos de la Laguna de la Hacienda San Isidro. Se buscó determinar su capacidad para producir energía eléctrica y tratar eficientemente las aguas residuales. Las pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Biotecnología de la Facultad de Ciencias, se ensamblaron las CCMBs esterilizando las celdas con una autoclave y evitando la presencia de microorganismos no deseados con una cámara de flujo laminar. Se realizaron tratamientos de las muestras de sedimento e inoculaciones con bacterias específicas como *Bacillus sp* y *Acinetobacter oleivarians*, junto con los microorganismos autóctonos. Posteriormente, se monitorearon las CCMBs durante 22 días, registrando datos de voltaje cada 60 segundos utilizando un sistema de adquisición de datos. Se analizaron parámetros físicos, químicos y microbiológicos, obteniendo buenos resultados en la remoción de materia orgánica y confirmando la pureza de las cepas utilizadas. En cuanto a la producción de voltaje, se obtuvieron valores variables en las diferentes celdas, destacando los resultados de Bacillus A (0,32V), Bacillus B (0,37V), Acit A (0,41V) y Acit B (0,28V). En conclusión, esta investigación demostró el potencial de las CCMBs bentónicas para generar energía eléctrica y tratar aguas residuales eficientemente. Estos hallazgos respaldan su viabilidad y aplicabilidad en la Laguna de la Hacienda San Isidro. Este estudio sienta las bases para futuras investigaciones y aplicaciones en el ámbito de la generación de energía renovable y el tratamiento sostenible de aguas residuales.

**Palabras clave:** <CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS BENTONICAS (CCMBs)>, <BACTERIAS>, <MEMBRANAS DE INTERCAMBIO PROTÓNICO>, <SEDIMENTOS>, <AUTOCTONOS>, <INÓCULO BACTERIANOS>.

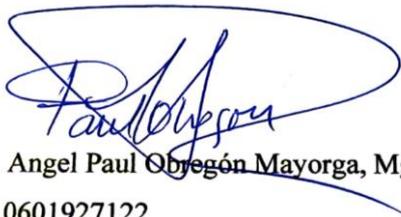


1572-DBRA-UPT-2023

## SUMMARY

This research focused on benthic microbial fuel cells (CCMBs), an emerging technology for generating electrical power through the microbial oxidation of organic matter. Although these CCMBs have great potential for wastewater treatment and renewable energy generation, they have yet to be studied in the country. This research aimed to evaluate the performance of benthic CCMBs using different microorganisms and sediments from Laguna de la Hacienda San Isidro. It sought to determine its capacity to produce electricity and efficiently treat wastewater. The tests were carried out in the Biotechnology Laboratory of the Faculty of Sciences; the CCMBs were assembled, sterilizing the cells with an autoclave and avoiding the presence of unwanted microorganisms with a laminar flow chamber. The sediment samples and inoculations were treated with specific bacteria, such as *Bacillus* sp and *Acinetobacter* Olivares, and autochthonous microorganisms. Subsequently, the CCMBs were monitored for 22 days, recording voltage data every 60 seconds using a data acquisition system. Physical, chemical and microbiological parameters were analyzed, obtaining good results in removing organic matter and confirming the strains' purity. Regarding the voltage production, variable values were obtained in the different cells, highlighting the results of *Bacillus* A (0.32V), *Bacillus* B (0.37V), *Acit* A (0.41 V) and *Acit* B (0,28V). In conclusion, this research demonstrated the potential of benthic CCMBs to generate electricity and treat wastewater efficiently. These findings support its viability and applicability in the Hacienda San Isidro Lagoon. This study lays the foundations for future research and applications in renewable energy generation and sustainable wastewater treatment.

Keywords: <BENTHIC MICROBIAL FUEL CELLS (CCMBs)>, <BACTERIA>, <PROTON EXCHANGE MEMBRANES>, <SEDIMENTS>, <AUTOCHTHONOUS>, <BACTERIAL INOCULUM>, <NI USB-6009 >.



Ing. Angel Paul Obregón Mayorga, Mgs.  
C.I. 0601927122

## INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo las energías no convencionales cuyo uso son escasos debido a diferentes factores como el costo y su difícil forma para obtenerlas. Se han visto como una oportunidad en la cual el hombre aprovecha de manera razonable la biomasa generada, minimizando la contaminación por el crecimiento poblacional de una manera sostenible con el ambiente. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se ha determinado que la cantidad de personas a nivel mundial para el 2030 alcanzara unos 8500 millones de habitantes (ONU, 2015, p. 03). La sobre explotación de los recursos naturales, causara impactos ambientales, sociales y económicos en los diferentes niveles que conforman la biota.

En base a lo anterior, se evidencian dos ambientes de interés, el primero son las energías alternativas que se ven involucradas en el factor económico a nivel internacional y local, monopolizado por las grandes empresas energéticas, dando muy poca cabida a nuevas innovaciones de energías alternativas, cuya materia prima proviene de los recursos no renovables. Esta biomasa se caracteriza por su disponibilidad en un área geográfica limitada, lo cual genera efectos colaterales como: el cambio climático y los gases de efecto invernadero; y como segundo interés, la polución de los cuerpos hídricos por aguas derivados de las actividades antropogénicas del hombre depositadas sin un previo tratamiento de esta.

El Ecuador es un país con recursos hídricos abundantes que tiene interacción directa con el hombre causando alteraciones ambientales en la biosfera, agua, aire y suelo, la incidencia del hombre y la pérdida de la flora y fauna autóctona altera un ambiente en armonía, el agua es considerado como un derecho fundamental para la vida, permitiendo precautelar la seguridad hídrica garantizando a sí el goce de este recurso (Tello, Sánchez y Zúñiga-González 2019, p. 39).

La ingeniería en biotecnología ha permitido desarrollar diferentes procesos para la generación de bioenergía, con diversos métodos de obtención: sistemas bioelectroquímico, digestión aeróbica, empleando la biomasa o materia orgánica que conforma a todos los seres vivos del planeta y representan fuentes de energías alternativas. La producción es más rápida que los combustibles fósiles convencionales; ya que la energía obtenida a partir de procesos biológicos y electroquímicos, dependen de organismos, organelos, células y enzimas, a través de los procesos de oxidación-reducción que permite generar electrones que son transportados a electrodos y generar un mínimo de voltaje (Morales y Barón 2021, p. 11). La escasa información sobre el comportamiento del microbiota en la producción de bioelectricidad nos da apertura para explorar los sistemas lacustres naturales y explotar el potencial del microbioma. Por tal razón, se pretende evaluar el desempeño de las celdas de combustible microbianas

bentónicas para la generación de bioelectricidad a partir de sedimentos lacustres de la laguna de la Hacienda San Isidro del Cantón, mediante la implementación de un sistema a escala de laboratorio que consta de 6 CCMBs de cámara simple que permitirá la obtención de bioelectricidad en un periodo de 20 días, para determinar el comportamiento microbiano de las diferentes especies empleadas.

## **CAPÍTULO I**

### **1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

Las celdas de combustible microbianas (CCMs) son una tecnología emergente poco estudiada en nuestro país que permite la generación de energía eléctrica a partir de la oxidación microbiana de materia orgánica. Las CCMs bentónicas, que utilizan sedimentos como sustrato, son una alternativa prometedora para el tratamiento de aguas residuales y la generación de energía a partir de fuentes renovables, sin embargo, se desconoce el potencial biotecnológico de la biota autóctona.

Por lo que se necesita, investigar y evaluar el desempeño de las CCMs bentónicas utilizando diferentes tipos de sedimentos. En particular, no se ha estudiado el potencial de los sedimentos lacustres de la Laguna de la Hacienda San Isidro del cantón Rumiñahui parroquia Sangolquí, para su uso en CCMs bentónicas.

Por lo tanto, el problema que se aborda en esta tesis es determinar el desempeño de las CCMs bentónicas utilizando sedimentos lacustres de la Laguna de la Hacienda San Isidro del cantón Rumiñahui parroquia Sangolquí como sustrato, evaluando su capacidad para producir energía eléctrica y tratar aguas residuales de manera eficiente.

#### **1.2. Limitaciones y delimitaciones**

La principal limitación de la investigación es la falta de análisis físicos químicos y microbiológicos de la laguna, puesto que nunca se le realizó alguno y no se tiene conocimiento de que se ha monitoreado o se obtenga información alguna del lugar y a su vez la distancia ya que el lugar donde se tomaron las muestra queda a 4 horas de la ciudad de Riobamba y esto implica mantener en cuenta la coordinación del transporte y almacenaje de las diferentes muestras y esto implica un costo elevado.

Otra limitada con respecto a obtención de bioelectricidad a partir de sedimentos de cuerpos de agua y diseños de celdas de combustible microbianas adecuadas para este tipo de experimentación, y material óptimo para su construcción y funcionalidad.

### **1.3. Problema general de la investigación**

Escasa información sobre el comportamiento del microbiota en la producción de bioelectricidad.

### **1.4. Objetivos**

#### ***1.4.1. Objetivo general***

Evaluar el desempeño de las celdas de combustible microbianas bentónicas para la generación de bioelectricidad a partir de sedimentos lacustres de la laguna de la Hacienda San Isidro del Cantón Rumiñahui parroquia Sangolquí

#### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Realizar un pretratamiento de la muestra compuesta de sedimentos para la eliminación de microorganismos.
- Establecer la configuración adecuada de las celdas de combustible microbiana bentónicas.
- Analizar el comportamiento de los microorganismos presentes en las diferentes celdas de combustible microbianas bentónicas.

### **1.5. Justificación**

#### ***1.5.1. Justificación teórica***

En la actualidad todos los países y en especial los industrializados cada vez demandan más energía, conforme aumenta la población, esto a su vez acarrea problemas y conlleva a la sociedad a buscar soluciones, no solo en el abasto de energías si no en el tratamiento de desechos y en especial de sus recursos hídricos. Hay un claro interés en investigar opciones y desarrollar tecnologías innovadoras, combinado con otras fuentes de energía de eficiencia similar, competitivas con el petróleo, en los últimos años, se impulsa por razones ambientales y económicas a favor de la reducción emisiones.

Para Morales y Barón (2021, p. 14). Las celdas de combustible microbianas son dispositivos bioelectroquímicos que convierten la energía química en energía eléctrica, por acción biocatalítica de microorganismos, que oxida sustratos biodegradables tales como glucosa, acetatos o materia orgánica, en cual por diferentes procesos desprenden un electrón que es captado para la

generación de energía.

Mientras que para Duche Y. y Bahamonde S. (2021, p. 16), ha utilizado las Celdas de Combustión Microbianas (CCMBs) para el tratamiento de aguas residuales por su eficaz remoción de materia orgánica y adicionalmente la generación de energía. Del mismo modo (Revelo, Hurtado y Ruiz. 2013, p. 21), establece que, debido a su eficiencia y simplificación, las CCMBs presentan diversas aplicaciones de gran interés industrial, además, pueden ser diseñadas para un funcionamiento a temperaturas que oscilan desde los 0° hasta los 80° con tiempos de arranques muy rápidos, para generar energía eléctrica a partir de una gran variedad de fuentes de carbono.

Por medio de este trabajo de investigación se propuso evaluar el desempeño de un sistema de Celdas de Combustible Microbiana Bentónicas (CCMBs) para la generación de bioelectricidad a partir de sedimentos lacustres de la laguna de la Hacienda San Isidro del Cantón Rumiñahui parroquia Sangolquí, este sistema trabaja como una fuente de energía no convencional, por ello, este sistema, desde la ingeniería en biotecnología ambiental, representa una posible solución para reducir el impacto ambiental generado por el hombre, por medio de esta investigación se busca contribuir a la implementación de un proceso que permite un eventual cambio en las líneas de producción de energía convencional por otras más eficientes. Beneficiando a la población, permitiendo preservar la naturaleza y reduciendo su impacto en el cambio climático.

Esta investigación seguirá los parámetros y métodos establecidos en el marco profesional de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental y forma parte del Trabajo de investigación titulado: DESEMPEÑO DE CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS BENTÓNICAS CON SEDIMENTOS LACUSTRES DE LA LAGUNA DE LA HACIENDA SAN ISIDRO DEL CANTÓN RUMIÑAHUI PARROQUIA SANGOLQUÍ y liderado por el Grupo de Investigación de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA).

### ***1.5.2. Justificación metodológica***

Para obtener resultados de acuerdo a los objetivos planteados, se llevó a cabo un desarrollo metodológico, se usaron técnicas de investigación cuantitativas destinadas para el análisis de datos obtenidos de la generación de voltaje de las diferentes CCMBs monitoreadas por un periodo de 20 días; además se analizó los parámetros físico químicos y microbiológicos de los sedimentos presentes en cada una de las celdas y evidenciando la reducción de los diferentes parámetros medidos al inicio y final de la experimentación.

### ***1.5.3. Justificación práctica***

El presente trabajo de investigación se lo desarrolla con el fin de evaluar el desempeño de las CCMBs inoculadas con diferentes microorganismos y determinar cuáles son las óptimas para la generación de bioelectricidad y a su vez evidenciar si un consorcio mixto de microorganismos generara mayor capacidad de electricidad.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de investigación

##### 2.1.1. Generalidades

En los últimos años el uso de energía se ha incrementado en las últimas décadas debido al desarrollo demográfico que poco a poco agota los recursos naturales y esto afecta directamente la economía de la sociedad por lo que se busca desarrollar nuevas fuentes de energías alternativas. Por lo que es urgente buscar alternativas de fuentes de energías verde. Existe varias iniciativas en Latinoamérica en temas de investigación con CCMBs, que emplean sustrato orgánico aprovechable por los microorganismos electrogénicos presentes en el suelo.

En Colombia, Morales y Barón, (2021, p. 27) utilizando CCMBs reductoras de Cr(VI), construidas con materiales de bajo costo, el cual permitió la eliminación de materia orgánica, reducción de Cr(VI) y la generación de bioelectricidad, se logró la remediación del metal Cr hexavalente en un 86.3% y de la glucosa presente en la muestra en un 97.9%, esto permitió convertir el Cr(VI) a Cr(III), el cual es relativamente insoluble, ambientalmente amigable y menos toxico; sino también una forma de disminuir el impacto ambiental de los desechos orgánicos producidos por la industria de curtiembre.

En el Año 2017, en la ESPOCH se realizó un trabajo de investigación, donde se evaluó el mecanismo de reactivación en CCMBs para la producción de bioelectricidad. Se configuraron dos CCMBs con su respectiva réplica, en cajas de acrílico con 125 mL de capacidad, se probaron dos mecanismos de reactivación: añadiendo sustrato (glucosa) a las cuatro CCMBs y a dos de ellas bajo estimulación eléctrica directa, durante siete periodos, con intervalos de descanso entre cada periodo, los estímulos se aplicaron con pulsos de 2 milisegundos, para voltajes de: 0,3 V; 0,6 V; 0,9 V, se repitió cada estímulo dos veces y finalmente por una única vez 2 V. se instaló sensores a cada CCM conectado a un sistema de adquisición de datos, durante 43 días de monitoreo. Adicionalmente se acondicionó una celda control la cual fue alimentada únicamente con agua destilada monitoreada con el multímetro. Al final de los experimentos se comparó la generación promedio de voltaje en cada periodo de prueba, se obtuvo una generación promedio de 0,13 V en las celdas alimentadas únicamente con glucosa para el periodo VI (segundo estímulo de 0,9 V), pero se observa además que a medida que aumentan los pulsos de corriente las celdas bajo este mecanismo reaccionan de manera creciente en la generación de bioenergía (Valdivieso 2017. p. 32).

A su vez en 2018, López Pilco (2018b, p. 15) busco desarrollar un equipo de monitoreo inalámbrico de sensores alimentado mediante CCMs sedimentarias para el CEAA, donde Una pila de combustible microbiana (MFC) sedimentaria es el dispositivo encargado de proporcionar energía, a su vez. Se observo que la actividad microbiana es demasiado pobre, razón por la cual se implementó el sistema, Sistema electrónico de gestión de energía (PMS) que almacenan y convierten la energía recibida, a los valores de voltaje y corriente requeridos para el correcto funcionamiento del nodo. La implementación logró un rendimiento del 59,58 % cuando la proporcionó MFC Deposita una potencia de 0,2214 mW, lo que permite que los nodos sensores envíen datos Temperatura con una frecuencia media de 20,43 minutos.

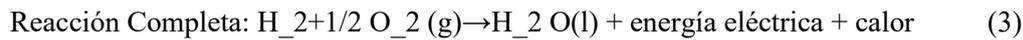
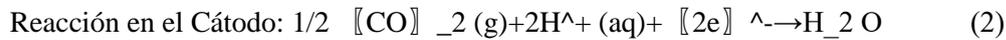
### **2.1.2. Celdas de combustible microbianas**

La CCMBs son un dispositivo bioelectroquímico que utiliza microorganismos para convertir materia orgánica en electricidad, esta tecnología se basa en la capacidad de ciertos microorganismos para oxidar la materia orgánica y transferir los electrones resultantes a un electrodo, la transferencia de electrones puede ser aprovechada para generar electricidad. El uso de material orgánico como las aguas residuales en la CCMBs lo convierte en un dispositivo ecológico que ofrece un doble beneficio de generación de bioelectricidad y de gestión de residuos. La CCMBs se compone típicamente de un ánodo, un cátodo y una membrana de intercambio de protones (MIP), donde los microorganismos se adhieren al ánodo y oxidan la materia orgánica, liberando electrones y protones. Los electrones son recogidos por el electrodo y los protones son transferidos a través de la MIP hacia el cátodo, donde se combinan con los electrones y el oxígeno para producir agua (Obileke et al. 2021. p. 74). El lado del ánodo contiene los microorganismos electroquímicamente activos, mientras que el cátodo es abiótico.

Los microbios (bacterias) actúan como biocatalizadores que motivan la degradación de materiales orgánicos para producir electrones que viajan al lado del cátodo a través del circuito eléctrico. Estas bacterias se denominan "Exoelectrogenos" (Exo- por exocelular y "electrogenos" por la capacidad de transferir directamente electrones a una sustancia química o material que no es aceptor inmediato de electrones). Los electrones atraviesan el circuito externo llegando al cátodo, y los iones de hidrógeno se mueven hacia el cátodo y reaccionan con el oxígeno para formar agua en el circuito interno. Esto, por lo tanto, demuestra que las CCMBs son un candidato potencial de la "electricidad" verde.

La degradación de la glucosa libera protones y electrones los cuales pueden ser utilizados en los sistemas de CCMBs para generar un diferencial de potencia. Pero cada electrón es liberado por cada mol de carbono presentes en el proceso de degradación en condiciones anaeróbicas,

presentando reacciones en los electrodos ánodo y cátodo. Ecuaciones 1, 2 y 3 (Jiménez-Escamilla, Garibay-Orijel y Borja-Salin 2018. p. 29)



En la cámara anódica la respiración microbiana oxida el sustrato, produciendo dióxido de carbono, electrones y protones los cuales se movilizan a la cámara catódica. Posterior el hidrogeno o protón se desplaza por medio del agua residual y de la membrana de intercambio de protones. Como resultado final de la reacción con el aceptor de electrones ( $\text{O}_2$ ) y los protones ( $\text{H}^+$ ) que traspasaron el sustrato se transforma en agua.

Las CCMBs, son una variación de las CCMBs, que incluye como sustrato para la generación de electricidad a los sedimentos, acumulados en diferentes lugares provenientes de la acumulación de minerales y materia orgánica. Además, las CCMBs cumplen con dos objetivos principales, uno como equipo de biorremediación de materia orgánica en cuerpos hídricos, y dos como fuente de energía para dispositivos remotos los cuales funcionan como base de datos para monitoreo de sitios acuáticos (Gamboa, 2019. p. 18). Las principales limitaciones de este tipo de celdas de combustible son las distancias que existen entre el ánodo y el cátodo, afectando principalmente al potencial de salida.

### ***2.1.3. Tipos de celdas de combustión microbianas***

- Tubulares: Son cámaras de construcción cilíndrica, en las que se colocan electrodos en una posición erguida, a menudo utilizada para la producción de energía y la remediación de aguas residuales, se pueden ensamblar módulos tubulares individuales, este diseño proporciona dimensiones transversales casi óptimas, que se puede mantener durante la expansión dando como resultado un espacio vacío en el límite inferior (Mateo et al. 2018, p. 42).
- Tipo H: Es una de las configuraciones más comunes y consta de dos cámaras, están separadas por la MIP y tienen forma de H, Se han utilizado en volúmenes de 100mL a 1000mL, sin embargo, a volúmenes más altos, la mayor concentración de sustratos se observa lejos del área del electrodo y la concentración más baja están más cerca del sustrato. Se genera menos voltaje y el volumen de la cámara es mayor, a mayor distancia entre los electrodos dificulta la entrada de protones en la celda (Arbianti et al. 2013. p. 59).

- **Retroalimentación:** Es una de las tecnologías más efectivas para aumentar la eficiencia, producido en reactores anaerobios, asegurando el contacto entre el sustrato y los reactivos, los microorganismos dentro de la CCMBs reduce las fluctuaciones de temperatura en la cámara, de acuerdo con (Moharir y Tembhurkar 2018. p 47), en su estudio sobre el efecto del reciclaje en CCMBs El uso de sustratos de residuos de alimentos lavados muestra un mejor reciclaje y genera bioelectricidad en CCMBs ya que mejora la actividad microbiana en el compartimento del ánodo para una mayor eliminación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

#### **2.1.4. Componentes de una CCMBs**

##### **2.1.4.1. Cámara anódica**

Las CCMBs son un sistema de medio biológico, donde la actividad biológica se produce en la cámara anódica. Considerada como el corazón de la configuración donde diversos procesos se desarrollan como: la reducción de los componentes orgánicos, reducción de la DQO, la electricidad impulsada por los microorganismos, formación de biopelícula y la producción de hidrogeno (Omine, Sivasankar y Chicas 2018. p. 35). Los electrodos que se utilizan tienen características específicas como su porosidad, superficie específica, conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión, biocompatibilidad, bajo costo y su fácil fabricación, esto garantiza una mejor interacción entre la biopelícula, garantizando una alta conductividad. Los materiales de base de carbono son los principales tipos de electrodos adoptados para los sistemas de CCMBs.

Entre los diferentes materiales carbonosos tenemos, telas de carbono, escobillas de carbono, papel carbón, fieltro de carbono, carbón activado granulado, grafito granulado, cartón carbonizado, placa de grafito.

##### **2.1.4.2. Propiedades esenciales del ánodo**

Se están investigando materiales de electrodos para mejorar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales y la generación de energía. Los materiales de los electrodos deben tener excelentes propiedades como resistencia mecánica, estabilidad química, biocompatibilidad y conductividad eléctrica (Yaqoob, Ibrahim y Rodríguez-Couto 2020. p. 38). La conductividad del material asegura un alto flujo de electrones, lo cual es muy importante para un buen desempeño de CCMBs (Li, Cheng y Thomas 2017 p. 12). El área de superficie de los electrodos juega un papel importante en la actividad microbiana y se logra un mejor rendimiento al proporcionar un área de superficie de ánodo más grande. Tanto el área superficial como el material del ánodo son muy sensibles a la actividad microbiana. Una buena técnica para medir el área superficial del grafeno monocapa se describe

en (Zhang et al. 2020. p. 29). Las principales propiedades del ánodo que afectan el rendimiento de CCMBs se resumen a continuación.

La potencia de salida de la CCMBs está influenciada principalmente por el área superficial del ánodo (Sakai et al. 2018. p. 17). Las pérdidas óhmicas de los CCMBs dependen en gran medida de la resistencia interna del ánodo. El área de superficie aumentada mejora la cinética de los electrodos, ya que facilita la actividad microbiana. Las proteobacterias gramnegativas pueden transferir electrones indirectamente desde la membrana celular al electrodo del ánodo (kumar, Sarathi y Nahm 2013. p. 31). Estas proteobacterias gramnegativas se adhieren a la superficie del ánodo y forman biopelículas. La rugosidad de la superficie proporciona una mejor adhesión a la biopelícula. El área de superficie rugosa aumentada del ánodo mejora los sitios activos adecuados para la unión microbiana.

Los electrodos están directamente expuestos a la respiración bacteriana. El cobre, la plata, el oro y otros metales se utilizan como ánodos y no son compatibles con la actividad biológica (Yaqoob et al. 2020. p. 41) porque se corroen fácilmente en ambientes ácidos. Además, el cobre tiene un efecto tóxico sobre la actividad microbiana; por lo tanto, este tipo de metales, aunque son buenos conductores, no se consideran materiales anódicos adecuados desde el punto de vista bacteriano (Hindatu, Annuar y Gumel 2017. p. 25).

La superficie porosa del ánodo aumenta la conversión biocatalítica de los microorganismos. La superficie porosa inmoviliza eficazmente los microorganismos y facilita la transferencia directa de electrones. La porosidad reduce las pérdidas óhmicas y la resistencia interna. El aumento de la porosidad aumenta indirectamente el área superficial del ánodo, lo que promueve el crecimiento de bacterias y biopelículas. Los investigadores han utilizado alótopos de carbono e incluso cepillos de grafito poroso para mejorar la biopelícula y la actividad bioquímica (kumar, Sarathi y Nahm 2013).

#### 2.1.4.3. *Cámara catódica*

En los CCM estándares, la cámara catódica se considera un aceptor de electrones y protones, llegando a través del circuito externo, donde son reducidos por las moléculas aceptantes de electrones y completan el ciclo de electrones. La cámara catódica es un factor limitante que puede afectar al rendimiento de CCMs (Omine, Sivasankar y Chicas 2018. p. 39). La mayoría de los cátodos utilizados su componente principal es el carbono, como la malla de carbono tela de carbono, tela de doble cara, cepillo de fibra de grafito, fieltro de cepillo de carbono, fieltro de grafito.

#### **2.1.4.4. Membranas de intercambio proteónico (MIP)**

La membrana electrolítica de polímero es responsable de la conductividad de protones que permite el transporte de protones desde el ánodo hasta el cátodo, constituyendo el componente esencial del dispositivo electroquímico (Haile et al. 2001. p. 29), Entre los diversos tipos de celdas de combustible, las membranas a base de polímeros de ácido perfluorosulfónico, como Nafion, se utilizan con éxito debido a su alta conductividad y buenas propiedades químicas y mecánicas; estos se utilizan a temperaturas inferiores a 90 °C y condiciones de alta humedad relativa (Tellez-Cruz et al. 2021. p. 74), también existen diferentes membranas de intercambio de protones de fácil acceso y más económicas, en esta investigación se trabajó con celofán.

#### **2.1.5. Biopelículas electroactivas de los sistemas bioeléctricos**

Se han identificado en una gran variedad de ecosistemas naturales, como suelos, sedimentos, agua de mar o agua dulce, pero también en muestras recolectadas de una amplia gama de diferentes entornos ricos en microbios (lodos de depuradora, lodos activados ), o efluentes industriales y domésticos (Santoro et al. 2017. p. 63). Las biopelículas microbianas están constituidas por diferentes capas, con diversos grupos, las bacterias ocupan puntos específicos para definir el sistema de la biopelícula, de igual manera la estructura y altura de la biopelícula varía por diversos factores externos como nutrientes, cambios ambientales y factores intrínsecos (Condori Pacheco y Torres Zamata 2019. p 71). Los microorganismos captan la energía de los enlaces de transporte de electrones los cuales son direccionados a un dador de electrones de menor potencia a un receptor redox más positivo. En los diferentes procesos de degradación de materia orgánica la ganancia de energía alcanzable de cada enlace de transporte de electrones dependerá de la diferencia de potencial redox entre el donador de electrones y el receptor. En los diferentes ambientes se presenta diversos microorganismos que presentan esta capacidad de transferir extracelularmente los electrones desde el proceso de respiración microbiana (Comejo 2017. p. 89)

#### **2.1.6. Sedimentos**

Los sedimentos están conformados por diferentes agentes tanto orgánicos como minerales como arcilla, arena, limo o partículas sueltas del suelo o a su vez por hojas, ramas, compuestos orgánicos persistentes, nutrientes, combustibles, patógenos y metales pesados. Y son la disposición final en el fondo de una masa de agua, degradando la calidad de agua para el consumo humano, para la vida silvestre y para el suelo que rodea los arroyos. Los sedimentos de fondo permiten evaluar la condición de los ambientes marinos y reconocer eventuales perturbaciones derivadas de la acumulación de sustancias antrópicas y naturales que puedan constituir riesgos para la salud del

ecosistema (Valdés y Castillo 2014. p. 41)

Los sedimentos conforman parte de un cuerpo de agua el cual contienen Minerales y materia orgánica que puede ser aprovechada por los microorganismos como fuente de energía para su metabolismo, pero la acumulación de estos ocasiona problemas ambientales ya que puede provocar la degradación de un cuerpo de agua reduciendo la calidad del agua la cual es útil para la vida silvestre y humana que depende fundamentalmente de este recurso no renovable.

#### **2.1.7. Bioelectricidad**

El principal actor de la generación de electricidad son los microorganismos, por su gran capacidad de degradar materia orgánica, generando una reacción de reducción donde no solo se desprende CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O si no un electro el cual es captado para la generación de electricidad.

A su vez la relación microbio-electrodo es la interrelación de la biología y la electroquímica, donde los materiales y el protocolo depende principalmente del componente biológicos y técnicas electroquímicas, estudiando las reacciones de oxido-reducción de los organismos que convierten energía bioquímica en energía eléctrica por la captación del electrón generado en el proceso de degradación. Esto dependerá fundamentalmente de la cantidad de sustrato materia orgánica presente en el sedimento (Revelo, Hurtado y Ruiz 2013, p. 56).

#### **2.1.8. Microorganismos en las CCMBs**

La capacidad de ciertos microorganismos para transferir electrones fuera de la célula ha dado aumento a la plétora de aplicaciones. Estas bacterias utilizan diferentes aceptores de electrones generalmente metales como hierro, manganeso, etc. En la naturaleza, estas bacterias desempeñan un papel fundamental en el ciclo del carbono, oxidación o reducción de metales, eliminación de residuos de materia orgánica, descomposición de compuestos aromáticos, etc. Aparte de esto, ciertas bacterias conocidas como exoelectrógenos pueden utilizar electrodos sólidos como aceptores de electrones terminales (Das. 2018, p. 41).

Los microorganismos que sobreviven utilizando la energía de los nutrientes ambientales (sustratos orgánicos) a través del proceso de respiración. Estos sustratos orgánicos son esencialmente donantes de electrones, que transportan electrones a altos niveles de energía que finalmente se transfieren a una biomolécula (llamada aceptor de electrones) a través de un conjunto de reacciones bioquímicas complejas que involucran la cadena de transporte de electrones (Bhushan 2016, p.74).

Según el tipo de organismo, el microambiente de pH es varió en los sistemas CCMBs. Varias bacterias crecen mejor a pH neutro o casi neutro, es decir, en el rango de 6.5–7.5, a su vez se deben mantener las temperaturas adecuadas la cual es un factor importante para la generación de energía, impacta la actividad de los microorganismos y el proceso electroquímico, la mayoría de estos sistemas funcionan en el rango de temperatura ambiente es decir, a temperaturas mesófilas (20–45 °C) (Venkata Mohan, Veer Raghavulu y Sarma 2008, p. 48), y los sustratos indispensables que garantizan el crecimiento de nuestra bacterias o bacterias de interés para el desarrollo de nuestro estudio (Das 2018, p. 32).

#### *2.1.8.1. Metabolismos microbianos*

Proceso de diferentes reacciones químicas desarrolladas por los diferentes organismos vivos, liberando y consumiendo energía, mediante un proceso de equilibrio energético, dando como resultado diferentes reacciones químicas: liberación de energía y consumo de esta.

Las reacciones catabólicas son aquellas reguladas por la expulsión de energía a través de las enzimas, se produce la descomposición de compuestos orgánicos complejos para su transformación en sustancias más simples, por ejemplo la degradación de azúcares a dióxido de carbono y agua (Ñacato Chicaiza 2018. p. 85).

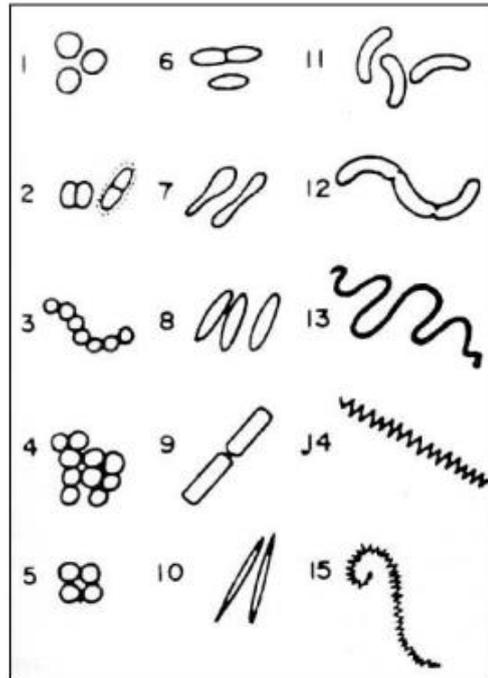
Sin embargo las diferentes reacciones que están reguladas por enzimas que consumen energía están conectadas con los procesos de anabolismo, puesto que el derivado de este proceso garantiza la generación de moléculas orgánicas complejas a partir de componentes más simples, según el tipo de aceptor/donante de electrones y producción de energía asociado, se utiliza una proporción variable de electrones donadores por la fuente de energía para la síntesis de biomasa (Tortora, Funke y Case 2007. p. 47).

#### *2.1.8.2. Caracterización macroscópica*

La siembra de bacterias en medios sólidos es un método sencillo para identificar colonias bacterianas. Este proceso implica la siembra en medios selectivos y la incubación celular durante 24 a 48 horas, a una temperatura óptima que varía según el tipo de microorganismo (Pírez y Mota 2008. p. 75).

Las características de las colonias bacterianas, como su movilidad, tamaño (que puede oscilar entre 0.5mm y ser comparable a las proteobacterias, las más grandes en tamaño), forma, bordes y

superficie, son únicas para cada tipo de bacteria y se describen detalladamente Ilustración 2-1. Además, pueden presentar diferentes colores, como verde, amarillo o blanco, y su comportamiento frente a la luz puede ser opaco o brillante. Es importante destacar que, en el caso de las bacterias patógenas, las formas capsuladas suelen ser más peligrosas debido a su mayor virulencia (Pérez y Mota 2008. p. 66) .



**Ilustración 2-1:** Morfología bacteriana

Fuentes: (Pérez y Mota [sin fecha])

## 2.2. Marco conceptual

### 2.2.1. Bioelectroquímico

Conjunto de un sistema mediante el cual se obtiene electricidad a través de los procesos bioquímicos y eléctricos donde mediante la degradación de la materia orgánica se convierte en hidrogeno utilizando una pequeña carga de electricidad (Cornejo 2017, p. 62). Y a su vez es una tecnología útil para explorar y explotar las posibilidades de microorganismos para mejorar el rendimiento de la fermentación. Estos sistemas utilizan la energía eléctrica como fuerza externa para redirigir las vías metabólicas microbianas para aumentar o disminuir el producto final.

### **2.2.2. Bioelectricidad**

Energía obtenida a través de las reacciones que ocurren a nivel microbiano en la degradación de la materia, de origen vegetal y animal. subproductos agrícolas y forestales, cultivos energéticos, madera o residuos orgánicos, mediante el cual el electrón es captado a través de una membrana el cual permite obtener esta energía (Comejo 2017. p. 60). La bioelectricidad proporciona sistemas de energía renovable con bajas emisiones de carbono y proporciona muchos beneficios ambientales y socioeconómicos y así apoyar los objetivos de cambio climático global y objetivos ambientales.

### **2.2.3. Ánodo**

Electrodo donde se produce la oxidación, donde un material pierde electrones y este es captado por el ánodo para incrementar su estado de oxidación.

### **2.2.4. Cátodo**

Electrodo donde se da la reacción de reducción, mediante el cual el material reduce su estado de oxidación al recibir el electrón.

### **2.2.5. Fibra de Carbono**

Es un componente desarrollado a partir de fibras especiales compuestas por átomos de carbono, 10 a 50 micrómetros de diámetro, tiene una resistencia eléctrica muy alta. Son buenos conductores de la electricidad y son útiles para moldear biopelícula de microalgas o biopelícula microbiana

### **2.2.6. Electrones**

Partículas pequeñas con cargas negativas, conforman un átomo y forman los vínculos químicos manteniendo las moléculas unidas y esto permite generar corriente eléctrica.

### **2.2.7. Microorganismos exoelectrogenos**

Bacterias que tienen la capacidad de generar electricidad a través de la degradación de compuestos orgánicos mediante el metabolismo que realizan estos microorganismos. Estos microorganismos abundan en los sedimentos acuáticos, son anaerobias y utilizan los metales para respirar y obtener

energía (proceso importante para el reciclaje de estos elementos en el medio ambiente). También son capaces de transferir electrones a muchos metales, así como transferirlos a electrodos y formar una celda o batería microbiana.

#### **2.2.8. *Agua residual***

Agua que ha perdido sus propiedades físicas, químicas y organolépticas que no se puede recuperar a su totalidad, provenientes de diferentes lugares pueden ser domésticos o industriales, conteniendo elementos contaminantes orgánicos o inorgánicos. Las aguas residuales son cualquier agua cuya calidad se ve afectada negativamente por la acción humana. Es agua que no tiene valor inmediato para el fin para el que se utiliza o para el que fue producida por su calidad, cantidad o disponibilidad.

#### **2.2.9. *Respiración microbiana***

Proceso mediante el cual los microorganismos absorben oxígeno o la liberación de dióxido de carbono este proceso se da mediante la degradación de la materia orgánica. Se divide en dos tipos aerobias la cual, dentro de la célula, se libera energía cuando la molécula de glucosa se abre químicamente durante la respiración celular, y la célula utiliza la glucosa como fuente de energía y anaerobia, este tipo de respiración tiene lugar en ausencia total de oxígeno molecular; Algunos microorganismos usan este tipo de respiración solo cuando se reduce el oxígeno en su entorno.

#### **2.2.10. *Biopelícula***

Conglomerado de microorganismos que están agrupados y rodeados de una matriz extracelular que ellos mismos metabolizan en su sistema, la cual favorece la adhesión en las superficies, les ayuda a desarrollar tolerancia a las moléculas con actividad antimicrobianas. Se estima que el 80% de la biomasa microbiana terrestre reside dentro de las biopelículas. Éstos facilitan la supervivencia de las bacterias patógenas en el medio en el que se encuentran y en su huésped.

#### **2.2.11. *Sedimentos***

Conjunto de partículas en suspensión en un líquido, que por factores físicos y químicos decantan en el fondo de un cuerpo hídrico. Cualquier material sólido de origen natural que se encuentra en la superficie de la Tierra en forma de partículas o partículas sueltas. Se forma como resultado de una variedad de fenómenos y procesos atmosféricos, como el viento, cambios de temperatura, precipitaciones, circulación de agua o hielo, así como por agentes químicos o seres vivos.

## CAPÍTULO III

### 3. METODOLÓGICO

#### 3.1. Tipo de investigación

La investigación es de tipo experimental, buscando fundamentalmente el determinar la adecuación o no de cierta hipótesis a la realidad, mediante observaciones, experimentaciones y la manipulación de las variables independientes o dependiente, en este caso los microorganismos en diferentes muestras sedimento para la generación de energía y analizar qué tipo de celdas presentan mejor rendimiento.

#### 3.2. Diseño de la investigación

Investigar la obtención de bioelectricidad a través de las CCMBs, con diferentes variaciones en la experimentación, como la adición o no de microorganismos para evaluar la eficiencia del sustrato

##### 3.2.1. *Según la manipulación o no de la variable independiente*

**Tabla 3-1:** Identificación de Variables

Variable independiente	- Microorganismos
Variable dependiente	- Bioelectricidad

Realizado por: Navarro, Emerson. 2023.

##### 3.2.2. *Tipo experimental*

La variable independiente fue manipulada intencionalmente, con el objetivo de monitorear la generación de bioelectricidad, permitiendo describir el efecto, para el posterior análisis de los resultados obtenidos, idóneos a un diseño de un factor con tres niveles por duplicado.

**Tabla 3-2:** Variables independientes

<b>Factor MO* (inoculado o propio)</b>		<b>Repeticiones</b>	
<b>Niveles</b>	CCMBs inoculada con <i>Bacillus sp</i>	XA	XB
	CCMBs inoculada con <i>Acinetobacter oleivarans</i>	EA	EB
	CCMBs con microorganismos Propios de la laguna	BA	BB

Realizado por: Navarro, Emerson. 2023.

### 3.2.3. Planteamiento de la hipótesis

#### 3.2.3.1. Hipótesis general

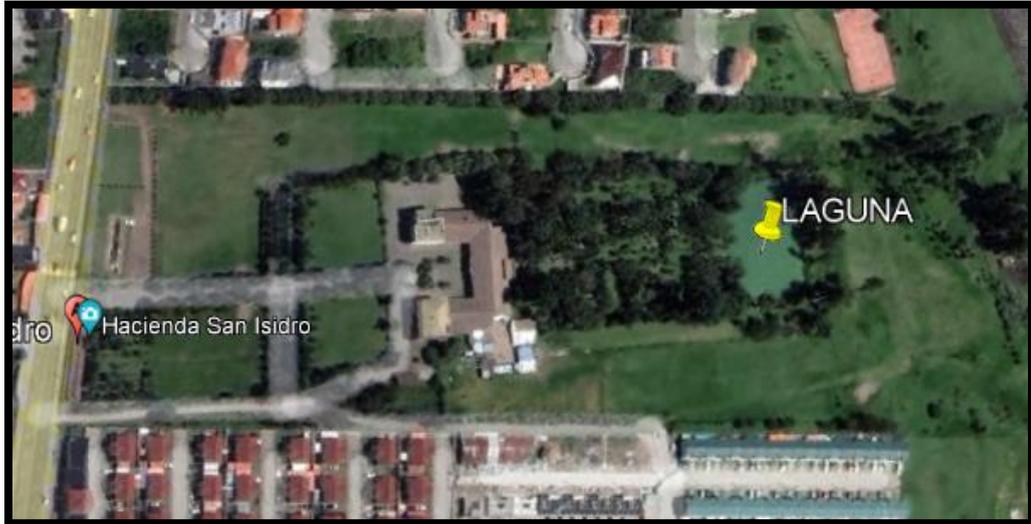
Hi: Es posible obtener bioelectricidad a través de los sedimentos lacustres de la laguna de la Hacienda San Isidro.

H0: No es posible obtener bioelectricidad a través de los sedimentos lacustres de la laguna de la Hacienda San Isidro.

### 3.3. Unidad de análisis

#### 3.3.1. Localización del estudio

La recolección de muestras de la laguna de la Hacienda San Isidro se llevó a cabo en la ciudad de Sangolquí perteneciente al Cantón Rumiñahui ubicada en la Av. Mariana de Jesús S/N y Quito 171101, Quito Ecuador, con coordenadas 782523.30 - 9963430.



**Ilustración 3-1:** Laguna “Hacienda San Isidro”

Realizado por: Navarro, Emerson, 2023.

Los análisis, elaboración, configuración y monitoreo de las CCMBs, se realizó dentro del GEAA y los laboratorios que posee la Facultad de Ciencias, ubicada en la panamericana Sur Km 1 ½, Cantón Riobamba Provincia de Chimborazo a una temperatura promedio de 19 °C, una humedad relativa de 81% y una altitud de 2,756 msnm.



**Ilustración 3-2:** Laboratorios “Escuela superior politécnica de Chimborazo”

Realizado por: Navarro, Emerson, 2023

### 3.4. Tamaño de la muestra

- **Sedimento.** - Se recogieron un total de 14 muestras de sedimentos de cuatro puntos diferentes de la Laguna de la Hacienda San Isidro, con el objetivo de obtener una muestra compuesta

para utilizar en la investigación. Además, se midieron los parámetros físicos y químicos de cada muestra en el lugar de recolección.

- **Inóculos bacterianos.** - Las bacterias *Bacillus spp.* y *Acinetobacter oleivorans* fueron proporcionadas por el GEAA, para el proceso de inoculación, las cepas se resembraron en un medio de cultivo enriquecido. Posteriormente, se tomaron 10 mL de inóculo por cada 307,9 cm<sup>2</sup> de volumen de las CCMBs. Debido a que estas bacterias se desarrollan en un sustrato totalmente orgánico, se pudo aumentar el flujo de electrones en el circuito.

### **3.5. Selección de la muestra**

Se planteo utilizar el muestreo aleatorio simple, siendo este un método probabilístico, que garantiza que todos los individuos del estudio o experimentación sean incluidos en la muestra, además, es independiente de la probabilidad que tienen el resto de los sujetos que integran parte de la población blanco (Otzen y Manterola 2017. p. 85).

### **3.6. Recolección de muestreo**

El muestreo de la laguna se llevó a cabo siguiendo la normativa técnica vigente del acuerdo ministerial 061, en el cual se establece el monitoreo de sedimentos en el Artículo 254 como uno de los tipos de monitoreo (Rugel 2015, p. 56) y en (INEN, 2013. pp. 69-70) , las muestras de sedimentos se recolectaron en fundas ziploc con capacidad de 2kg y se transportaron a laboratorio siguiendo una cadena de frio, para posteriormente preservarlos a una temperatura de 4 °C. Las muestras fueron recolectadas de la Laguna de la Hacienda San Isidro del cantón Rumiñahui, con permiso del Gobierno Autónomo descentralizado Municipal de Rumiñahui, No. De documento GADMUR-DS-2022-0406-O.

La laguna cuenta con un área 1.961,06 m<sup>2</sup> por lo tanto, se seleccionó cuatro puntos de muestreo equidistantes, tal como se observa en la ilustración 3-1 y se detalla en la tabla 3-2. La muestra de sedimento fue tomada por triplicado a diferentes profundidades y a la orilla de la laguna por su fácil accesibilidad. Además, mediante la utilización de un multiparámetro de marca Palintest, se realizó la medición *in situ* de parámetros físicos y químicos, como: temperatura, pH, conductividad y solidos totales disueltos.



**Ilustración 3-3:** Puntos de muestreo en la laguna de la Hacienda San Isidro

Realizado por: Navarro, E, 2023

### 3.7. Análisis físico químico de sedimento

El análisis se lo realizo en el laboratorio de calidad del agua de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Mediante la utilización del multiparámetro (PC2700) se pudo obtener los diferentes datos de pH, T°, Conductividad, Salinidad, TDS de una muestra compuesta de 100g de sedimento, cada uno de los parámetros se los tomaron 3 veces para una mayor confianza de los datos. A su vez, se analizó una muestra de sedimento que fue pretratada para eliminar microorganismos mediante la utilización de una autoclave.



**Ilustración 3-4:** Medición de parámetros

Realizado por: Navarro, E, 2023

También, se analizó, otros parámetros que se encuentran establecidos en el anexo calidad del agua en el Acuerdo Ministerial 097 A (Núñez 2015, p. 36), siendo los siguientes:

### 3.7.1. Nitritos

Se diluyó 1g de sedimento en 100 mL de agua destilada y se aforo a 100 mL, luego se procedió a agitar hasta que la muestra se disuelva, posteriormente, se toma 10 mL de la disolución y se realiza la lectura en el espectrofotómetro (HACH DR2800) para ello, se procede a llenar la cubeta con 10 mL de muestra, se adiciona el reactivo NitraVer5 se agita la muestra por 1 minuto y se deja en reposo 5 minutos para su posterior medición. El equipo se calibra con la lectura de una muestra blanca, para ello se llena una cubeta con 10 mL de agua destilada y se toma la lectura.



**Ilustración 3-5:** Espectrofotómetro, medición de nitratos

Realizado por: Navarro, E, 2023

### 3.7.2. Fosfatos

Se realizó una dilución de 1g de sedimento en 100 mL de agua destilada en un balón aforado de 100 mL, se procedió a agitar hasta que la muestra se disuelva, se toma 10 mL de muestra, la lectura se realiza en el espectrofotómetro (HACH DR2800), para ello, se procede a llenar la cubeta con 10 mL de muestra, se adiciona el reactivo PhosVer3 se agita la muestra por 1 minuto y se deja en reposo 5 minutos para su posterior medición. El equipo se calibra con la lectura de una muestra blanca, para ello se llena una cubeta con 10 mL de agua destilada y se toma la lectura.



**Ilustración 3-6:** Espectrofotómetro, medición de sulfatos

**Realizado por:** Navarro, E, 2023

### 3.7.3. *DBO*

Este parámetro fue medido durante un lapso de 5 días y se lo realizó mediante el método estándar 5210-B, utilizando el equipo (BOD TRANK), para determinar la cantidad de oxígeno que una bacteria requiere para degradar la materia orgánica presente en la muestra, para la medición se utilizó 92 mL de muestra, la cual está constituida por 10g de muestra de sedimento y 100 mL de agua destilada, con una agitación vigorosa para que se pueda disolver la mayor parte de la muestra (Celi et al. 2021. p. 102).

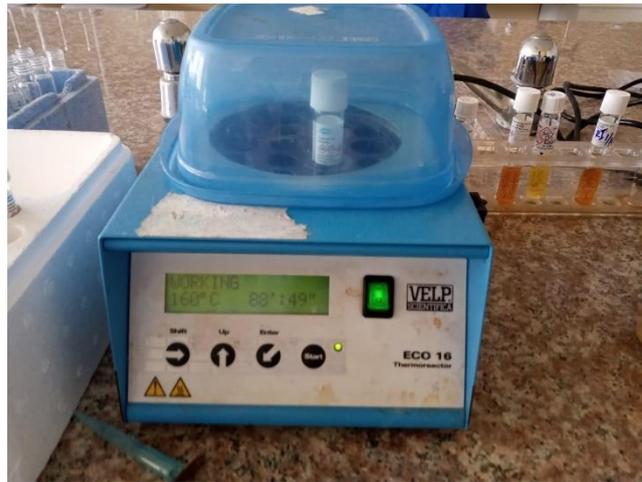


**Ilustración 3-7:** Digestor de DBO

**Realizado por:** Navarro, E, 2023

### 3.7.4. *DQO*

Para la determinación de la DQO, se utilizó el equipo espectrofotómetro (HACH DR2800), el método colorimétrico aplicado fue el 5220-D, para ello se colocó 2 mL de la dilución de 10 g de muestra en 100 ml de agua destilada, con previa agitación, posteriormente, la muestra se llevó a un digestor de DQO (ECO 16 thermoreactor) por un periodo prolongado de 2 horas a una temperatura de 160 °C (Celi et al. 2021. p. 105).



**Ilustración 3-8:** Determinación de DQO

Realizado por: Navarro, E, 2023

### **3.8. Análisis microbiológico de las muestras de sedimento natural y pretratada**

El análisis microbiológico se lo desarrollo en el laboratorio de Biotecnología Ambiental, por medio de la técnica de diluciones seriadas y siembra en medio sólido. La muestra blanco o madre se preparó con 10g de sedimento compuesto y 90 mL de agua de peptona; posterior a ello las diluciones:  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$  y  $10^{-5}$ , se realizaron en 4 tubos de ensayo que contenían previamente 9 mL de agua de peptona y se incubaron a 20°C por un periodo de 72 horas. Seguido, se procedió a realizar la siembra en medio solido utilizando como agente nutritivo agar PCA (Plate Count Agar), siendo este un medio no selectivo que permite el crecimiento de diferentes microorganismos, este proceso se realizó por duplicado obteniendo un total de 12 cajas petris con medio óptimo para el crecimiento.

Para el caso de la muestra pretratada, el análisis se llevó a cabo mediante una muestra de sedimento compuesta de 1000 g esterilizada, luego se preparó la muestra blanca tomando 10 g de esta y se colocaron en 90 mL de agua de peptona, la siembra en placa se realizó colocando 0.5  $\mu$ L de la muestra en cajas Petri con agar PCA y se incubaron durante 72 horas a 20°C.

### **3.9. Análisis macroscópico y microscópico de las cepas del sedimento natural**

Se procedió a realizar el análisis macroscópico y microscópico de las colonias de interés obtenidas del sedimento. La descripción morfológica, así como la observación al microscopio fue llevada a cabo con colonias puras, aisladas de la dilución  $10^{-4}$  sembrada en medio sólido y purificadas 2 veces por el método de estriado.



**Ilustración 3-9:** Siembra y análisis microbiológico muestra compuesta

Realizado por: Navarro, E, 2023.

### 3.10. Construcción de las CCMBs

En esta etapa se desarrollaron 6 CCMBs de cámara única, construidas en material de vidrio esterilizable (frascos redondos de grado alimenticio) con dimensiones de 7 cm de diámetro y 8 cm de alto y con un volumen de 307,9 cm<sup>3</sup> cada una, se colocaron dos orificios con sus respectivos corchos de caucho de diámetro de 2 cm en los diferentes costados, con el fin de extraer el ánodo por uno de ellos, el catodo es sujetado en la tapa que tiene un orificio del mismo diámetro del frasco.

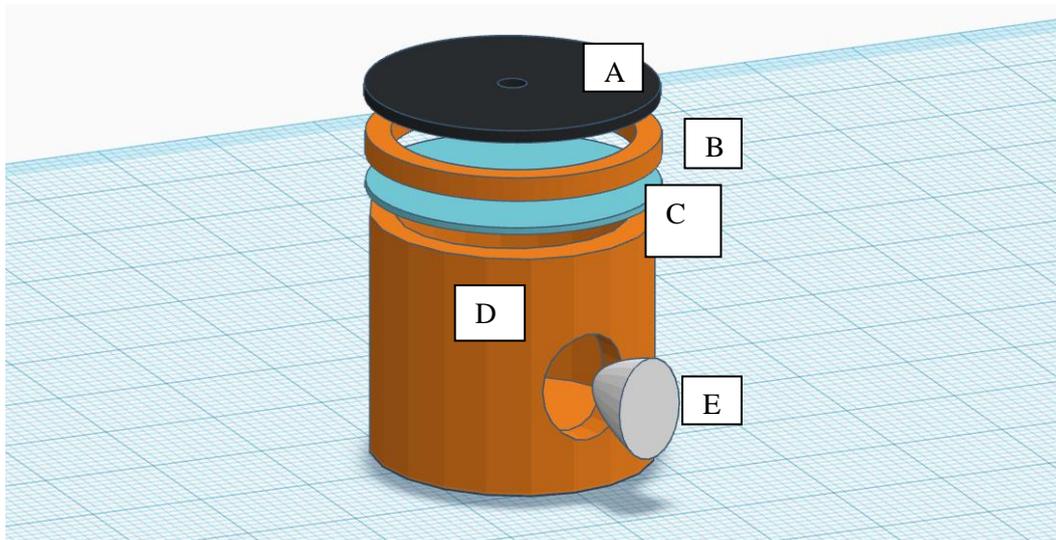


**Ilustración 3-10:** Construcción de las celdas

Realizado por: Navarro, E, 2023

### 3.11. Configuración de las celdas

Las celdas utilizadas fueron de cámara simple. La cámara anódica estaba compuesta por fibra de carbono de 7 x 24 cm, sujeto con un alambre de acero inoxidable que atravesaba un corcho y salía de la celda a través de una manguera de suero, esto permitía el aislamiento del ánodo como terminal negativo. También, se utilizó una membrana de intercambio de protones (celofán) con un diámetro de 8 cm, que separaba la cámara anódica del cátodo, el cual también estaba constituido por fibra de carbono con un diámetro similar al de la MIP. El cátodo funcionaba como terminal positivo. Ambos electrodos estaban sujetos por un alambre de acero inoxidable que permitía medir la tensión de las celdas.

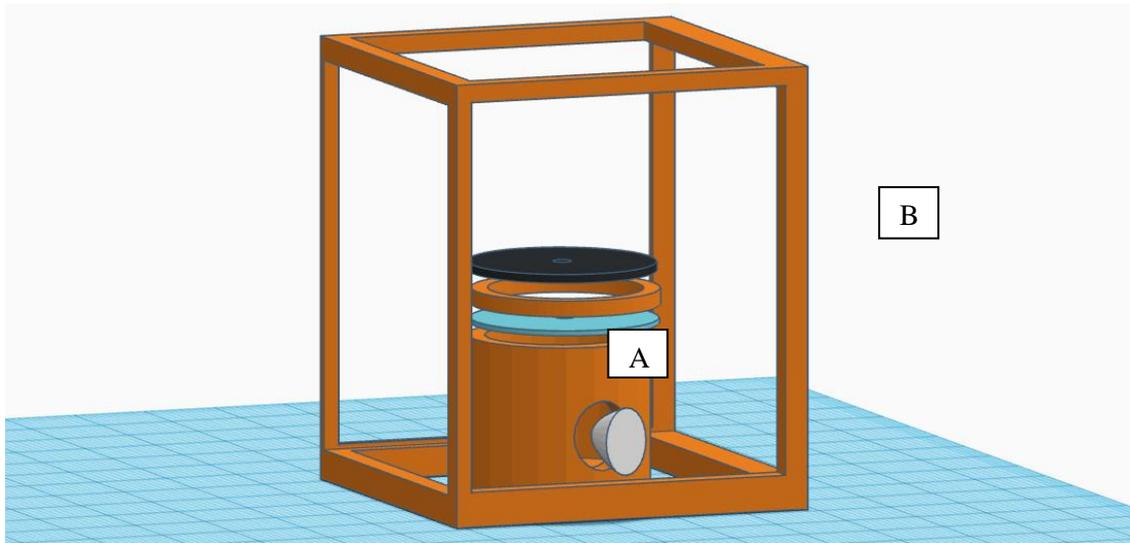


**Ilustración 3-11:** Simulación de CCMBs de cámara única

**Realizado por:** Navarro, Emerson. 2023

- a. Cátodo (fibra de carbono de 8cm de diámetro).
- b. Tapade ajuste perforada.
- c. Membra de intercambio catiónico.
- d. Envase contenedor de sedimentos.
- e. Corcho de caucho de 2 cm

Las celdas fueron sumergidas en muestras de agua de la laguna, las cuales se mantuvieron con los nutrientes naturales, y se esterilizaron durante un periodo prolongado de 2 horas a una temperatura de 120°C y 1 atmósfera de presión, con el fin de eliminar los microorganismos. El volumen de agua en cada celda fue de 400 mL y se reemplazaba cada 4 días debido a la evaporación.



**Ilustración 3-12:** Celda de combustible microbiana bentónica

**Realizado por:** Navarro, Emerson. 2023

- A. Celda de combustible microbiana bentónica.
- B. Recipiente (simulador de un cuerpo hídrico).

### 3.12. Pretratamiento del ánodo y cátodo

Para la eliminación de las impurezas de la fibra de carbono del ánodo, se remojó en acetona pura 99.9% por un periodo prolongado de 12 horas y después se realizó un lavado continuo por 5 veces con agua destilada, posterior a esto en 500 mL de agua destilada se colocó: 100g de peroxidisulfato de amonio y 50 mL de ácido sulfúrico concentrado, expuestos en un periodo de 15 minutos, estos electrodos fueron colocados en una mufla a una temperatura de 450 °C por un tiempo estimado de 30 minutos (Feng et al. 2010. p. 58). Para el caso del cátodo se sumergió en agua destilada por un periodo de 12 horas.



**Ilustración 3-13:** Tratamiento del ánodo y cátodo

**Realizado por:** Navarro, E, 2023

### 3.13. Resiembra y análisis morfológico de las bacterias puras de *Bacillus spp* y *Acinetobacter oleivorans*.

Para comenzar, se llevó a cabo una resiembra de los microorganismos aislados y conservados por el GEAA. Para ello, se utilizó la técnica de cultivo y siembra por estriado en medio sólido, empleando agar PCA como medio de cultivo. Para preparar las 6 cajas petri necesarias, se disolvieron 3,1 g de agar en 90 mL de agua destilada. Posteriormente, se realizó la siembra en medio líquido utilizando caldo nutritivo, para ello se disolvieron 3,2 g en 400 mL de agua destilada para preparar 20 tubos de ensayo. El objetivo de este paso fue manipular los microorganismos e inocular de manera más efectiva los sedimentos utilizados en la investigación.



**Ilustración 3-14:** Resiembra de sepas puras *Bacillus spp* y *Acinetobacter oleivorans*

**Realizado por:** Navarro, E, 2023

Se realizó un monitoreo constante de los medios de cultivo durante 72 horas para observar el crecimiento de los microorganismos a una temperatura de 20 °C. Después de este periodo, se llevaron a cabo pruebas de tinción gram para asegurar la pureza total de los microorganismos resembrados: *Bacillus spp* como para *Acinetobacter oleivorans*.



**Ilustración 3-15:** Verificación de bacterias puras

Realizado por: Navarro, E, 2023

### 3.14. Inoculación de bacterias aisladas

Para la inoculación de cada CCMBs, se utilizaron 12 tubos de ensayo con 10 mL de caldo nutritivo, con sus respectivas bacterias *Bacillus spp* y *Acinetobacter oleivorans*, se inocula 20 mL de cultivo bacteriano a cada celda que contiene como sustrato 800 g de sedimentos.

### 3.15. Monitoreo de las CCMBs

Para monitorear las celdas de CCMBs se empleó equipos tecnológicos, entre ellos: una DAQ National Instruments NI USB-6009, un multímetro, un cable de red, un protoboard, jumpers (machos) y el software LabVIEW. El software fue configurado para la toma de datos cada minuto durante un periodo de 20 días, para medir el voltaje generado por cada celda. Toda esta información se almacenada en un archivo de Excel.



**Ilustración 3-16:** Monitoreo de las celdas

Realizado por: Navarro, E, 2023

### ***3.15.1. Análisis microbiológico de los ánodos de cada CCMBs***

El análisis se lo realizó mediante un estriado del biofilm formado en el ánodo que se encontraba internamente en la CCMBs de cada una de las celdas, se preparó un banco de diluciones para las muestras de las 6 CCMBs, se empleó 12 tubos de ensayo con 15 mL de agua de peptona, con el fin de diluir la muestra hasta la dilución  $10^{-1}$  y  $10^{-2}$ , concluido el procedimiento de seriado, se procedió a realizar la siembra en medio sólido, en este caso, agar PCA, y se incubaron las cajas por 48 horas a una temperatura de 20 °C. Finalmente, se realizó la técnica de tinción Gram para comprobar la pureza de la muestra.

### ***3.15.2. Pruebas de microorganismos aerobios***

Para identificar microorganismos anaerobios, se llevaron a cabo pruebas en medios de caldo tioglicolato. Se utilizaron 12 tubos para cada una de las bacterias que habían sido aisladas de forma pura del ánodo. Se diluyeron 3,27 g en 120 mL de agua destilada y se agregaron 10 mL del medio a cada tubo. Después de 48 horas de incubación a una temperatura de 20 °C, se evalúa el crecimiento mediante la observación de la turbiedad formada en el medio.

### ***3.15.3. Curvas de polarización de las CCMBs***

Mediante la utilización de un potenciostato (CorrTest) se procede a realizar la medición de las curvas de polarización, de cada CCMBs, utilizando los cables del equipo e identificando la ubicación de cada uno de ellos en las celdas, para esto se ocupó un electrodo de referencia de Platino (CS922) de diámetro de 2mm el cual estará conectado al RE (electrodo de referencia), el cual va sumergido en la celda, los cables CE (contra electrodo) estarán conectados al cátodo y WE (electrodo de trabajo) se lo conecta al ánodo, se corre el programa del potenciostato en la opción de Potentiodynamic.

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Monitoreo y seguimiento de la investigación

En un ambiente anaeróbico, los microorganismos oxidan la materia orgánica generando electrones que son recogidos por un electrodo en las CCMBs ensambladas. Se realizó un análisis del sedimento compuesto de la laguna de la Hacienda San Isidro del cantón Rumiñahui al inicio y final de la experimentación para utilizarlo como sustrato. Previo a esto, se inocularon 4 celdas de estudio con dos bacterias aisladas, *Bacillus spp* y *Acinetobacter oleivorans*, las cuales se sometieron a análisis de tinción gram para garantizar su pureza. Una vez construidas e instaladas las celdas, se realizaron las conexiones de los electrodos de cada sistema, tanto para el ánodo con carga positiva como para el cátodo con carga negativa a través de los conductores de voltaje. Estos se conectaron a un sistema de adquisición de datos, Data Q NI USB- 6009, que midió el voltaje generado a través del programa LabVIEW programado para las 6 celdas con un monitoreo de 20 días, midiendo el voltaje cada 60 segundos.



**Ilustración 4-1: Morfología Bacteriana**

Realizado por: Navarro, Emerson. 2023

#### 4.2. Análisis fisicoquímico inicial y final de los sedimentos de las CCMBs

Los sedimentos son materiales complejos que contienen una amplia variedad de componentes, como minerales, materia orgánica, microorganismos y contaminantes, que afectan el rendimiento y la eficiencia de la CCMBs. El pH puede influir en la solubilidad de los minerales y la disponibilidad de nutrientes de los microorganismos de la CCMBs. La conductividad eléctrica puede ser un indicador de la salinidad y la contaminación, y puede afectar la conductividad en la CCMBs. La concentración de nutrientes, metales pesados, pesticidas y otros contaminantes puede indicar la calidad del sedimento y su potencial para afectar la actividad y la eficiencia de la CCMBs (Arias-Madrid, López-Paz y Jiménez-Builes 2012. p 58).

**Tabla 4-1:** Análisis Físicos y Químicos Iniciales y Finales de las muestras de sedimentos

PARÁMETROS	MI	MA	XA	XB	EA	EB	BA	BB
pH	7,83	8,12	5,95	5,76	6,52	6,32	7,13	6,67
T	21,7 °C	21,7 °C	21,6 °C	21,6	21,6	21,6	21,6	21,6
Conductividad	246,9 uS	273,8 uS	605 uS	616 uS	622,5 uS	1,02 uS	300,7 uS	972 uS
Salinidad	242,5 ppm	238,2 ppm	583,5 ppm	595 ppm	602,8 ppm	993 ppm	284,5 ppm	913 ppm
TDS	151,7 ppm	168,1 ppm	365,5 ppm	373 ppm	377,6 ppm	626 ppm	182,6 ppm	583,6 ppm
DBO	620 mg/L	690 mg/L	1.020 mg/L	140 mg/L	80 mg/L	1.009mg/ L	30 mg/L	940 mg/L
DQO	3.260mg/ L	20.570mg /L	10.058mg /L	13.650mg /L	13.890mg /L	9.980mg/ L	10.790mg /L	10.850mg/L
Nitratos	2,6 mg/L	13 mg/L	36 mg/L	56 mg/L	26 mg/L	11 mg/L	79 mg/L	26 mg/L
Fosfatos	0,73mg/ L	12,9mg/L	42 mg/L	7,9 mg/L	23,5 mg/l	17,8 mg/l	4,4 mg/L	4,3 mg/L
Mo	10,63%	9,50%	8,35%	8,37	8,64%	10,54%	8,64%	7,62%

Realizado por: Navarro, Emerson. 2023

En una CCMBs, el pH es un parámetro crítico que influye en la eficiencia de la producción de energía. Varios estudios han investigado el efecto del pH en la CCMBs y han encontrado que el rango óptimo para la oxidación del sustrato es de 6,5 a 8,5. En el análisis realizado a la muestra de sedimento, se identificó un pH de 7,83, sin embargo, los valores finales variaron durante el experimento. En el caso de las muestras BA y BB, los valores finales fueron de 7,13 y 6,67, respectivamente, pero estos valores se mantuvieron dentro del rango óptimo garantizando la eficiencia de las celdas. Por otro lado, para la muestra autoclavada, el valor inicial medido fue de 8,12 y las mediciones realizadas en las diferentes celdas mostraron valores de pH de 5,95 en XA, 5,75 en XB, 6,52 en EA y 6,32 en EB. A pesar de las variaciones en los valores de pH, estos se mantienen dentro del rango óptimo, lo que sugiere que las celdas pueden seguir funcionando de manera eficiente. Valores de pH similares se han identificado en un estudio realizado por (Kalathil, Lee y Cho 2012, p. 85), donde se encontró que el pH óptimo para la producción de electricidad en una CCMBs fue de 7,0 a 8,0 y deduce que los valores de pH más bajos o altos redujeron significativamente la producción de electricidad. En otro estudio de (Lu et al. 2014, p. 74), se investigó el efecto del pH en la CCMS utilizando sedimentos de río y se encontró que el pH óptimo para la producción de energía fue de 7,5. Por otro lado, en un estudio (Behera et al. 2010, p. 63), los pH ácidos presentan un impacto significativo en la eficiencia de las CCMBs, siendo el pH de 4,5 el más favorable para la producción de electricidad, ya que en un ambiente ácido, las bacterias pueden ser más activas y transportar electrones con mayor eficiencia, lo que conduce a una mayor producción de electricidad.

La conductividad eléctrica (CE) es un factor crucial en la comprensión del rendimiento de las celdas y en la optimización de su diseño. En este estudio, se obtuvieron valores iniciales de CE de 246,9 uS para MI y 27,8 uS para MA. Sin embargo, los valores finales variaron, con una CE de 605 uS para XA, 616 uS para XB, 622,5 uS para EA, 300,7 uS para BA y 972 uS para BB. Lamentablemente, una de las celdas arrojó un valor de conductividad eléctrica muy baja, con un valor de EB de 1,02 uS. Esto resultó en una baja generación de bioelectricidad en esa celda en particular. Es evidente que la conductividad eléctrica es un parámetro importante en el diseño y optimización de celdas de combustible microbianas y debe ser cuidadosamente monitoreada y controlada para maximizar el rendimiento. Para el caso de la salinidad, se obtuvieron los valores iniciales de: MI:242,5 ppm y MA: 238,2 ppm; por el contrario, en el análisis final se obtuvieron los siguientes valores: XA:583,5 ppm, XB:595 ppm, EA:602,8 ppm, EB:993 ppm, BA:284,5 y BB:913 ppm. En un estudio (De Schampelaire et al. 2008, p. 152) se destaca que la salinidad del sedimento puede afectar significativamente el rendimiento de las CCMs. En general, se considera que un aumento en la salinidad puede aumentar la CE del sedimento, mejorando la producción de electricidad. Sin embargo, también se observa que niveles extremadamente altos de salinidad pueden afectar la actividad microbiana y, reducir la producción de electricidad.

Los resultados indican que los TDS aumentaron significativamente después de la experimentación en ambas muestras, MI y MA. Los valores iniciales de TDS fueron de 151,7ppm en la muestra MI y de 168,1 ppm en la muestra MA. Después de la experimentación, los valores de TDS aumentaron drásticamente, con BA a 182,6ppm y BB a 583,6ppm en la muestra MI, y con XA a 365,5ppm, XB a 373ppm, EA a 377,6ppm y EB a 626ppm en la muestra MA. El aumento de TDS podría deberse a la adición de sales durante la experimentación, o a la liberación de sales que estaban previamente retenidas en los materiales utilizados en la experimentación. En el análisis de la materia orgánica, se evidenció diferentes valores, por ejemplo, el valor inicial de la muestra fue de MI: 10,63%. Sin embargo, los análisis finales dieron valores más bajos como BA: 8,64% y BB: 7,62%, lo que indica una reducción de la cantidad de materia orgánica en la muestra. En el caso de la muestra inicial pretratada, el valor inicial de MA fue de 9,50%, y el análisis final dio valores más bajos como XA: 8,35%, XB: 8,37%, y EA: 8,64%, lo que indica que también hubo una reducción de la cantidad de materia orgánica en la muestra. Sin embargo, en la muestra de la celda EB, el valor de la materia orgánica aumentó o no hubo ninguna reducción, con un valor de 10,54%. Esto puede ser debido a diferentes factores, como una mayor concentración de nutrientes o un proceso de descomposición diferente.

Otro parámetro que fue analizado corresponde a la DBO, el valor de DBO inicial fue 620 mg/L, posterior al tratamiento, los valores obtenidos para las muestras BA y BB fueron de 30 mg/L y 940 mg/L, respectivamente. Estos valores indican una reducción significativa en la cantidad de

materia orgánica presente en la muestra BB, pero no en la muestra BA. En cuanto a la muestra autoclavada, el valor medido inicialmente fue de 690 mg/L. Sin embargo, después del tratamiento, los valores obtenidos para las muestras XA y EB fueron de 1.020 mg/L y 1.009 mg/L, respectivamente. Estos valores indican que no hubo una reducción efectiva en la cantidad de materia orgánica presente en estas muestras. Finalmente, en la experimentación XB: 140 mg/L y EA: 80 mg/L, se observó una reducción en los valores de DBO, lo que sugiere que el tratamiento utilizado fue efectivo en estas muestras. Un parámetro importante de la calidad de los sedimentos es la DQO, medida de la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica presente en una muestra de agua. En el ensayo la muestra inicial tenía una DQO inicial de 3.260 mg/L, después del tratamiento, los valores obtenidos para las muestras BA y BB fueron de 10.790 mg/L y 10.850 mg/L, respectivamente. Los valores indican un aumento en la cantidad de materia orgánica presente en las muestras, lo que sugiere que el tratamiento no fue efectivo. En cuanto a la muestra autoclavada, el valor medido inicialmente fue de 20.570 mg/L. Después del tratamiento, se realizaron mediciones en las muestras XA, XB, EA y EB, y se observó una reducción en los valores de DQO. Los valores finales para XA, XB, EA y EB fueron de 10.058 mg/L, 13.650 mg/L, 13.890 mg/L y 9.980 mg/L, respectivamente, evidenciándose una reducción efectiva en la cantidad de materia orgánica.

También se realizó una evaluación inicial de nitratos y se encontró un valor de 2.6 mg/L. Después de 20 días, se midieron valores más altos de nitratos en las muestras BA y BB, con 79 mg/L y 26 mg/L, respectivamente. Estos valores elevados sugieren que la contaminación por nitratos puede haber aumentado durante ese período de tiempo, y que el tratamiento utilizado no fue efectivo para reducir los niveles de nitratos. Por otro lado, se evaluó una muestra inicial auto clavada con un valor de nitratos de 13 mg/L. Los valores medidos después de la evaluación final fueron 36 mg/L en la muestra XA, 56 mg/L en la muestra XB, 26 mg/L en la muestra EA y 11 mg/L en la muestra EB. Aunque estos valores siguen siendo elevados, se observó una pequeña reducción en la muestra EB. Esto sugiere que el tratamiento utilizado en esa celda en particular pudo haber sido efectivo para reducir los niveles de nitratos. Para el caso de los sulfatos, se identifica que el tratamiento no fue efectivo en la mayoría de las muestras, porque la medición inicial de la muestra compuesta dio un valor de 0,73mg/L, mientras que la medición final de BA y BB fue de 4,4mg/L y 4,3mg/L, respectivamente, lo que indica una baja efectividad en la remoción del sulfato. Por otro lado, para la muestra previamente auto clavada, los valores iniciales de sulfato fueron muy elevados, con un valor de 12,9mg/L. Después de la experimentación, los valores de sulfato fueron aún más altos, con XA de 42mg/L, EA de 23,5mg/L y EB de 17,8mg/L, pero se observó una reducción de sulfatos en la muestra XB, de 7,9mg/L a una cantidad menor en la medición, sugiriendo que el tratamiento fue parcialmente efectivo en esta muestra.

### 4.3. Análisis microbiológico inicial y final de los sedimentos de las Celdas de Combustion Microbians Bentonicas

#### 4.3.1. Resultados microbiológicos de muestra compuesta de sedimentos

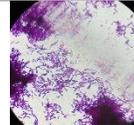
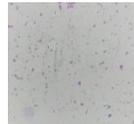
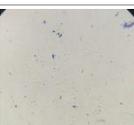
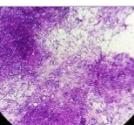
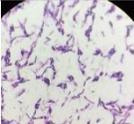
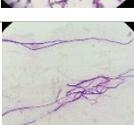
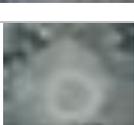
Un análisis microbiológico de una muestra de sedimentos puede proporcionar información valiosa sobre la diversidad y abundancia de microorganismos presentes en el medio sedimentario. Mediante el análisis microbiológico de la muestra a las 72 horas de incubación, se identifica un abundante número de colonias (UFC) en las primeras diluciones, sin embargo, para la dilución  $10^{-3}$  en la repetición 1: 39 UFC y la repetición 2: 34 UFC, en la dilución  $10^{-4}$  obtuvimos en la repetición 1: 9 UFC y en la 2: 11 UFC y en la última dilución de  $10^{-5}$  obtuvimos en la repetición 1:0 UFC y 2: 1 UFC.

**Tabla 4-2:** Análisis Microbiológico de la muestra compuesta

Diluciones	Cajas Petri	# UFC
$10^{-1}$	Repetición 1:	Incontables
	Repetición 2:	Incontables
$10^{-2}$	Repetición 1:	Incontables
	Repetición 2:	Incontables
$10^{-3}$	Repetición 1:	39
	Repetición 2:	34
$10^{-4}$	Repetición 1:	9
	Repetición 2:	11
$10^{-5}$	Repetición 1:	0
	Repetición 2:	1

Realizado por: Navarro, Emerson. 2023

**Tabla 4-3:** Análisis Microbiológico de la muestra compuesta

Código	Bordes	Forma	Elevación	Color	Tinción	Determinación del microorganismo	Forma al microscopio	Imagen
A10 <sup>-4</sup>	Rizado	Irregular	Plana	Blanco	Morada	Bacillus gram positivas		
B10 <sup>-4</sup>	Rizado	Irregular	Plana	Blanco	Morada	cocos gram positivas		
C10 <sup>-4</sup>	Entero	Circular	Plana	Blanco	Azul	Bacillus gram positivas		
D10 <sup>-4</sup>	Lobulada	Irregular	Plana	Blanco	Morada	Bacillus gram positivas		
E10 <sup>-4</sup>	Aserrado	Circular	Plana	Blanco	Morada	Bacillus gram positivas		
F10 <sup>-4</sup>	Ondulado	Irregular	Plana	Blanco	Morada	Bacillus gram positivas		

Realizado por: Navarro, Emerson. 2023

Los resultados obtenidos a través de la técnica de tinción gram y la observación microscópica directa revelaron que la mayoría de las bacterias presentes en las colonias A10<sup>-4</sup>, C10<sup>-4</sup>, D10<sup>-4</sup>, E10<sup>-4</sup> y F10<sup>-4</sup> eran gram positivas con forma de bacilos, teniendo en cuenta que bordes, forma, elevación y color, corresponden a diferentes colonias, tal como se muestra en la tabla 8-3. Sin embargo, solo una colonia, con el código B10-4, presentó una forma circular indicando que se trataba de un coco. Además, la coloración reveló que esta bacteria era gram positiva, lo que se puede verificar en la Tabla 3-8, Para el caso del análisis microbiológico de la muestra auto clavado, el tratamiento fue positivo puesto que no se evidencio crecimiento de micoorganismos inoculados en agar PCA, como se evidencia en la tabla 9-3.

**Tabla 4-4:**Análisis microbiológico muestra auto clavada

Caja Petri	# UFC	Evidencia
<b>Repetición 1:</b>	Ninguna	
<b>Repetición 2:</b>	Ninguna	

**Realizado por:** Navarro, Emerson. 2023

#### 4.4. Configuración de la celda de combustible microbiana

**Tabla 4-5:** Configuración de Celdas

Características	Materiales utilizados para la construcción de las celdas para la parte experimental.	Según en la investigación desarrollada por (Recalde et al. 2023, p. 58)	En la investigación de (Abbas et al. 2019, p. 28))
Cámara de la celda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Celda de cámara única</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Celda de cámara única</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Celda de cámara única</li> </ul>
Material de la celda	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frascos cilíndricos de vidrio de grado alimenticio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Envase cilíndrico de plástico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frascos cilíndricos de acrílico de 176 mm de espesor</li> </ul>
Material de los electrodos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fibra de carbono</li> <li>• Alambre de aleación titanio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fibra de carbono</li> <li>• Alambre de aleación níquel/titanio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• fieltro de grafeno</li> <li>• Alambres de platino</li> </ul>
Membrana de intercambio	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Papel celofán</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Papel celofán</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sin membrana de intercambio</li> </ul>

**Realizado por:** Navarro, Emerson. 2023

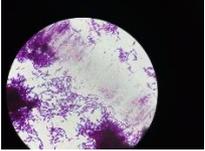
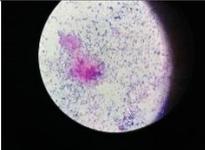
Las CCMBs de las investigaciones reportadas en la Tabla 10-3 fueron configuradas como cámaras simples, sin embargo, se diferenciaron en el material de construcción, por ejemplo, en un artículo publicado por (Recalde et al. 2023, p. 63), los materiales utilizados para la construcción de las CCMBs fueron envases cilíndricos de plástico, los electrodos estaban constituidos por fibra de carbono con alambre de aleación níquel/titanio, con una MIP de papel celofán que permitirá el paso de los electrones de la parte anódica a la catódica. En otra investigación (Abbas et al. 2019, p. 72), la construcción de la CCMBs se lo realizó en acrílico de espesor de 176 mm con forma cilíndrica, como electrodos utilizaron para el ánodo y cátodo fieltro de grafeno con alambre de platino, no se utilizó membrana de intercambio, por lo que el rendimiento fue menor. En la investigación, la configuración se la realizó con frascos de vidrio y electrodos construidos con fibra de carbono y alambre de aleación de titanio con previo tratamiento para el ánodo y cátodo, con el fin de eliminar impurezas presentes en la fibra de carbono, se utilizó la MIP de papel celofán tomada como referencia de (López Pilco 2018<sup>a</sup>, p. 106), la construcción se la realizó en vidrio porque, es un material que puede soportar las altas temperaturas al momento de esterilizar en un autoclave a diferencia del plástico y el acrílico que son materiales que se pueden derretir, y lo que se busca es construir celdas que nos permitan trabajar de manera estéril, ya que se inocularon diferentes microorganismos. Tanto el ánodo como el cátodo fueron construidos de fibra de carbono esto por su alta porosidad para permitir que el microorganismo tenga una máxima adhesión a la superficie lo que hace idóneo este material. Los electrodos se conectan a alambres específicos, en la presente investigación se ocupó alambre de titanio, porque la conductividad eléctrica del titanio es de 22.2

$\times 10^6$  S/m la conductividad eléctrica del alambre de níquel/titanio es de  $0,3 \times 10^6$  S/m y la conductividad eléctrica del alambre de platino es de  $9,4 \times 10^6$  S/m (Sandoval Vidal et al. 2012, p. 205). Siendo un conductor eléctrico adecuado el titanio.

#### 4.5. Verificación de purezas de cepas aisladas

Mediante la tinción gram se verifico que las cepas se mantengan puras, observando bacilos gram positivo y cocos gram negativo, tal como se indica en la Tabla 4-6.

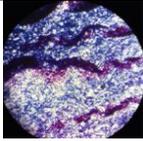
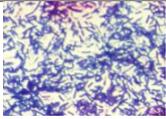
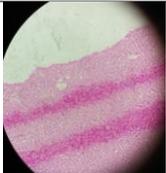
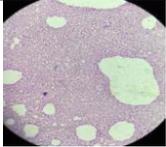
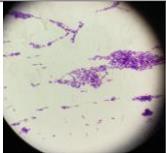
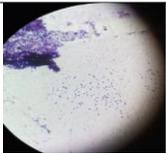
**Tabla 4-6:** Observación y Tinción Gram de Bacterias puras de *Bacillus* spp y *Acinetobacter oleivorans*.

Código	Tinción	Forma	Bacteria	Evidencia
X	Morado (positiva)	Bastón	<i>Bacillus sp</i>	
E	Rojas (negativa )	Coco	<i>Acinetobacter Oleivorans</i>	

Realizado por: Navarro, Emerson. 2023

#### 4.6. Análisis microbiológico final del ánodo de cada celda

**Tabla 4-7:** Análisis Microbiológico del ánodo

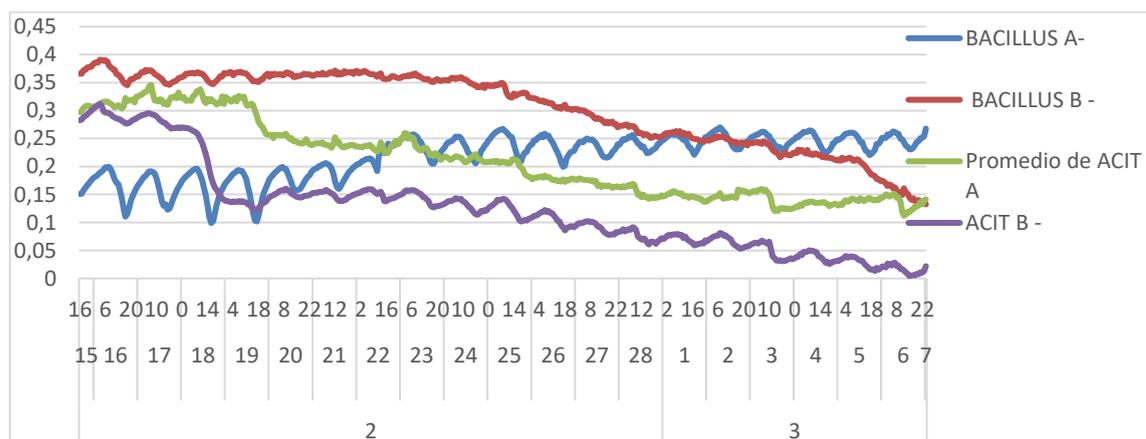
Código	# UFC	Color	Tinción	Prueba de anaerobios	Forma al microscopio
<b>XA</b>	Incontable	Blanco	Morado Bacillus gram positivo	Anaerobio facultativo	
<b>XB</b>	Incontable	Blanco	Azul Bacillus gram positivo	Anaerobio facultativo	
<b>EA</b>	Incontable	Blanco	Rojas coco gram negativa	Anaerobio facultativo	
<b>EB</b>	Incontable	Blanco	rojo coco gram negativa	Anaerobio facultativo	
<b>BA</b>	Incontable	Blanco	Morada Bacillus gram positivo	Anaerobio facultativo	
<b>BB</b>	Incontable	Blanco	Azul Cocos gram negativo	Anaerobio facultativo	

Realizado por: Navarro, Emerson. 2023

Los resultados indicaron que en las celdas XA y XB se mantuvo presente la bacteria *Bacillus ssp* por su forma de bastón, mientras que en las celdas EA y EB se encontró la presencia de la bacteria

*Acinetobacter Oleivorans* con su forma respectiva de coco. En cuanto a las celdas BA y BB, se detectó la presencia de algunos de los microorganismos presentes en la muestra madre, también se evidencio que estos microorganismos son anaerobios facultativos ya que pueden crecer en presencia o ausencia de oxígeno, tal como se indica en la tabla 8-3. La celda de combustible microbiano sedimentaria es un sistema bioelectroquímico que utiliza microorganismos para oxidar materia orgánica y producir electricidad. En este estudio, se realizó un análisis microbiológico del ánodo de una celda de combustible microbiano bentónicas utilizando dos cepas bacterianas *Bacillus spp* y *Acinetobacter Oleivorans* que son dos tipos de bacterias conocidas por ser exoelectrogénicas y tener la capacidad de transferir electrones fuera de la célula. Estudios similares también han trabajado con estas especies microbianas, tal es el caso del ensayo de (Uria, Ferrera y Mas 2017, p. 96) que también encontró que *Bacillus spp* puede utilizarse para la producción de energía en una celda de combustible microbiano bentónica, en su estudio, utilizaron un aislamiento bacteriano de aguas residuales como inóculo para la celda de combustible microbiano sedimentaria. Descubrieron que el aislamiento bacteriano era capaz de degradar el petróleo y producir energía eléctrica en la celda de combustible microbiano sedimentaria. Por otro lado, el estudio de (Kiely et al. 2010, p. 85) encontró que *Acinetobacter Oleivorans* es capaz de producir electricidad en una celda de combustible microbiano. En su estudio, utilizaron una combinación de celda de combustible microbiano y sistema de filtración por gravedad para tratar aguas residuales y descubrieron que *Acinetobacter Oleivorans* era una de las especies bacterianas predominantes en el ánodo de la celda de combustible microbiano.

#### 4.7. Análisis de la generación de voltaje

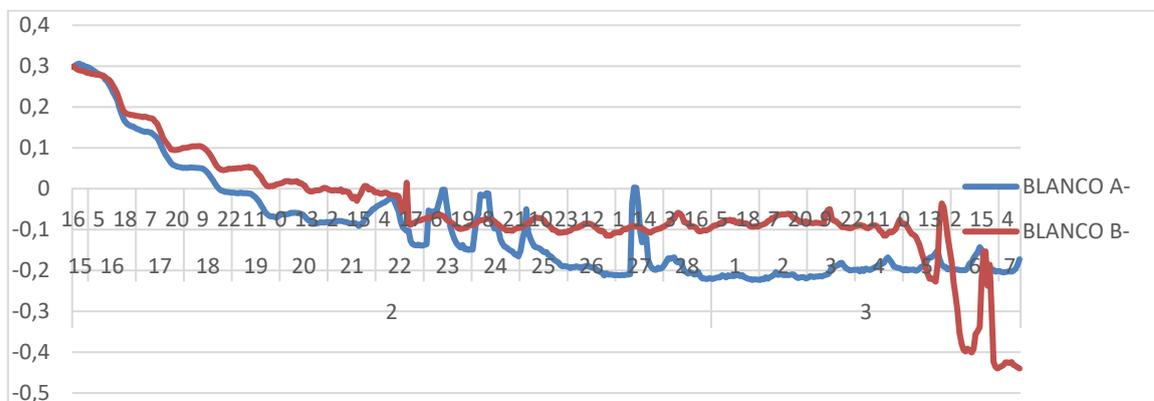


**Ilustración 4-2:** Monitoreo de voltaje de las CCMBs inoculadas

Realizado por: Navarro, Emerson. 2023

Las bacterias utilizadas se cultivaron en una fuente de carbono que permitió su desarrollo, con el fin de poder manipularlas para la inoculación de cada celda microbiana como se muestra en la

(Ilustración 4-2), como medio de cultivo se utilizó caldo nutritivo, cuya composición puede variar según la fuente, pero generalmente contiene peptona, extracto de carne y extracto de levadura (Britanialab [sin fecha], p. 87), Durante un periodo de 20 días, se llevó a cabo el monitoreo y medición de la generación de voltaje de varias bacterias, como bacillus A, bacillus B, acit A y acit B. El primer día de monitoreo, que tuvo lugar el 15/02/2023, se registraron los diferentes voltajes generados por las bacterias. Los valores promedio fueron: bacillus A: 0,16V, bacillus B: 0,37V, acit A: 0,30V y acit B: 0,29V. A partir de estos promedios, se calculó el valor máximo de voltaje generado por cada tipo de bacteria promediado de los 20 días, lo que resultó en los siguientes valores: bacillus A: 0,32V, bacillus B: 0,37V, acit A: 0,41V y acit B: 0,28V, tal como se puede observar en la (Ilustración 4-2), los resultados obtenidos se dan en respuesta a que las bacterias utilizadas en la investigación tienen una característica especial puesto que son resistentes a compuestos tóxicos, ya que su aislamiento se lo realizó después de haber echo pruebas de resistencia a elementos químicos como arsénico y cromo de la investigación de (Burbano Bustamante y López Quinteros 2022, p. 42). En un estudio realizado por (López Pilco 2018b, p. 76), los voltajes obtenidos en las celdas que se implementaron in situ, se obtuvieron valores de voltaje de 0.2214 mW que son valores menores a los de la presente tesis, eso se puede deber a los factores de fuente de carbono indispensable para el metabolismo de los diferentes microorganismos y factores ambientales que no pueden ser controlados



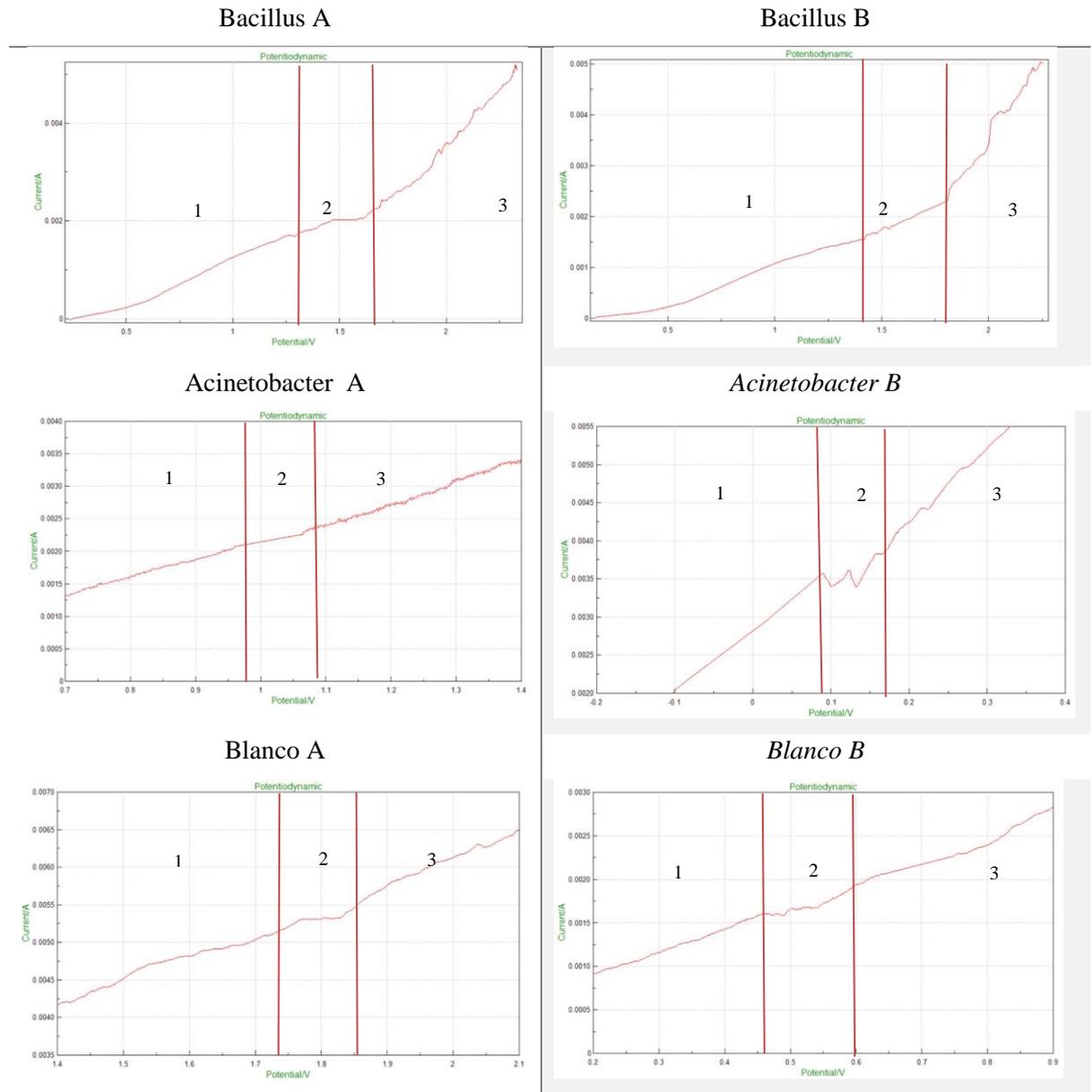
**Ilustración 4-3:** Monitoreo de voltaje de las CCMBs blancos

**Realizado por:** Navarro, Emerson. 2023

También, se trabajaron con dos CCMBs como se muestra en la (Ilustración 4-3), con las bacterias propias del sedimento proveniente de la laguna, con el fin de comparar la generación de bioelectricidad, los valores que se obtuvieron el primer día de monitoreo del 15/02/2023, tanto para el blanco A y B fue de 0,30V y 0,29V respectivamente, al tercer día a diferencia de las otras celdas, la generación de electricidad disminuyó respectivamente en el transcurso del tiempo, proporcionando incluso valores negativos, esto puede estar influenciado por diferentes factores, como el suministro de fuente de carbono adicionada en las celdas como bacillus A, bacillus B,

acit A y acit B, a diferencia del blanco A y B que no se adiciono ninguna fuente de carbono. También la disminución de voltaje puede estar relacionado con la ruptura de la MIP la cual interfiere en el paso de los electrones del ánodo al cátodo, las bacterias que se encontraron en el ánodo fueron identificadas a través del microscopio como Bacillus gram positivos y cocos gran positivos.

#### 4.8. Curvar de polarización mediante el equipo de potenciostato



**Ilustración 4-4:** Curvas de polarización

**Realizado por:** Navarro, Emerson. 2023

Las curvas de polarización de las 6 CCMBs de membrana de intercambio de protones proporcionaron una comprensión visual de la relación entre la corriente que atraviesa la

membrana y la diferencia de potencial. En la Ilustración 4-4 representan el flujo de electrones que se generan en el ánodo con carga negativa como resultado de la degradación de la materia orgánica, los electrones atraviesan la MIP hacia el cátodo, lo cual genera voltaje. Al analizar las gráficas correspondientes a Bacillus A, Bacillus B, Acinetobacter A, Acinetobacter B, así como a las muestras en blanco A y B, se puede observar una curva de polarización característica con tres distintas regiones bien definidas 1, 2 y 3, esto a su vez se puede comparar con la curva de crecimiento microbiano, donde la zona 1 representa la fase exponencial donde se liberan electrones debido a la degradación de la fuente de carbono y cumple la ley de Ohm incrementando la carga de electrones en el ánodo, la zona 2 la fase estacionaria las bacterias muertas y vivas tiene la misma proporción, donde solo se da la formación de iones hidrogeno formando la pseudomeseta y la zona 3 no hay portadores de carga (bacterias) y está relacionada con la porosidad de la MIP, donde la corriente y el potencial toman una relación lineal (Rodríguez et al. 2019, p. 74), los iones atraviesan la MIP de distintas formas tanto tangencial como perpendicular. Las curvas de polarización en el estudio de (Rodríguez et al. 2019, p. 80), se analizó como un ion actúa a través de una membrana de intercambio iónico permitiendo el análisis de las curvas y la diferenciación de las diferentes zonas que caracterizan una las curva de polarización.

## CONCLUSIONES

El pretratamiento de las muestras de sedimento fue eficiente en su objetivo principal de eliminar la carga microbiana sin alterar los componentes originales de la muestra. La eficacia de este tratamiento se demostró mediante la siembra de la muestra tratada en superficie, lo cual arrojó resultados positivos al no evidenciarse crecimiento de microorganismos como se muestra en el anexo D. Este proceso se llevó a cabo para poder utilizar la muestra como sustrato para las CCMBs con bacterias específicas.

Las CCMBs tienen una estructura simple, compuesta por una cámara anódica y catódica separadas por una MIP, construidas con fibra de carbono en un mismo sistema. El cátodo está en contacto con el agua, la cual se oxigena mediante bombas y se encuentra en un recipiente de 400 ml. Las celdas se fabricaron con material de vidrio de grado alimenticio para permitir la esterilización y la inoculación de bacterias específicas, como *Bacillus spp* y *Acinetobacter Oleivorans*. Se configuraron seis celdas con volumen de 0.3 L cada una, para llevar a cabo el estudio en duplicado con cada uno de los microorganismos empleados.

El comportamiento microbiano de las diferentes CCMBs se las analizo tanto microscópicamente como en la generación de voltaje, el análisis microscópico se lo realizo en base a siembras y análisis de tinción gram del ánodo de cada una de las diferentes celdas, permitiéndonos observar y describir si el microorganismo utiliza de manera individual pertenecía al inóculo utilizado en cada CCMBs, en cambio en el monitoreo de la generación de voltaje los datos que se registran nos permite observar cómo se dio el proceso de adaptación, crecimiento y disminución de las bacterias puesto que el voltaje se relación entre la disminución de materia orgánica y la generación de voltaje, *Bacillus spp* en las celdas genero 0,34 V correspondiente al valor máximo en los 20 días de monitoreo y *Acinetobacter Oleivorans* genero 0.41 V la más eficiente.

## **RECOMENDACIONES**

- Identificar los microorganismos mediante técnicas moléculas de las muestras de sedimento
- Es recomendable investigar nuevas MIP de bajo costo, que sean más resistente para su utilización en nuevas investigaciones.
- Realizar investigaciones in situ con la configuración que se realizó en esta investigación y analizar la generación de voltaje que se podría obtener en el lugar de estudio.

## BIBLIOGRAFIA

**ABBAS, S.Z., RAFATULLAH, M., KHAN, M.A. y SIDDIQUI, M.R.**, Bioremediation and Electricity Generation by Using Open and Closed Sediment Microbial Fuel Cells. *Frontiers in Microbiology*, 2019. vol. 9, ISSN 1664-302X. DOI 10.3389/fmicb.2018.03348.

**ARBIANTI, R., UTAMI, T.S., HERMANSYAH, H., NOVITASARI, D., KRISTIN, E. y TRISNAWATI, I.**, Performance Optimization of Microbial Fuel Cell (MFC) Using *Lactobacillus bulgaricus*. 2013. *MAKARA Journal of Technology Series* [en línea], vol. 17, no. 1, [consulta: 4 abril 2023]. ISSN 1693-6698. DOI 10.7454/mst.v17i1.1925. Disponible en: <https://scholarhub.ui.ac.id/mjt/vol17/iss1/7/>.

**ARIAS-MADRID, D., LÓPEZ-PAZ, O.A. y JIMÉNEZ-BUILES, J.A.**, Análisis de sedimentos utilizando un enfoque de la programación estructurada. 2012. *TecnoLógicas*, no. 29, ISSN 2256-5337, 0123-7799. DOI 10.22430/22565337.21.

**BEHERA, M., JANA, P.S., MORE, T.T. y GHANGREKAR, M.M.**, Rice mill wastewater treatment in microbial fuel cells fabricated using proton exchange membrane and earthen pot at different pH. *Bioelectrochemistry*, vol. 79, no. 2, 2010. ISSN 1567-5394. DOI 10.1016/j.bioelechem.2010.06.002.

**BHUSHAN, B.**, Microbial Fuel Cell. En: *Encyclopedia of Nanotechnology* [en línea]. Dordrecht: Springer Netherlands, pp. 2137-2137. 2016. [consulta: 4 abril 2023]. ISBN 978-94-017-9779-5. Disponible en: [http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-9780-1\\_100570](http://link.springer.com/10.1007/978-94-017-9780-1_100570).

BRITANIALAB, [sin fecha]. Nutritivo Caldo. , no. 1,

**BURBANO BUSTAMANTE, G.G. y LÓPEZ QUINTEROS, G.C.**, Identificación molecular de bacterias resistentes al arsénico (As) y al cromo (Cr) de la microcuenca del río Gala del cantón Camilo Ponce Enríquez. En: Accepted: 2022-10-24T14:50:22Z [en línea], [consulta: 8 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.esoch.edu.ec/handle/123456789/17628>.

**CELI, K.F.D., CARRANZA, M.M.H., FAJARDO, J.A.R. y TAHUA, P.L.G.**, Nitrógeno amoniacal en aguas residuales domesticas utilizando sedimentador primario con diferentes condiciones hidráulicas, 2021. marcará 2019. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, vol. 5, no. 4, ISSN 2707-2215. DOI 10.37811/cl\_rcm.v5i4.621.

**CONDORI PACHECO, A.E. y TORRES ZAMATA, G.,** Biodegradación de la materia orgánica y producción de Bioelectricidad en Celdas de Combustible Microbiano (CCM) a partir del agua residual doméstica – Lima. 2019. En: Accepted: 2019-03-11T22:05:45Z, *Universidad Peruana Unión* [en línea], [consulta: 28 abril 2022]. DOI 10.24850/j-tyca-2020-06-01. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1655>.

**CORNEJO, A.,** Electromicrobiología del microbioma presente en celdas de combustible microbianas\_rees - 2017. PDF Drive. [en línea]. [consulta: 2 mayo 2022]. Disponible en: [http://www.pdfdrive.com/electromicrobiolog%C3%ADa-del-microbioma-presente-en-celdas-de-combustible-microbianas\\_rees-e92434497.html](http://www.pdfdrive.com/electromicrobiolog%C3%ADa-del-microbioma-presente-en-celdas-de-combustible-microbianas_rees-e92434497.html).

**DAS, D.,** *Microbial Fuel Cell* [en línea]. 2018. Cham: Springer International Publishing. [consulta: 4 abril 2023]. ISBN 978-3-319-66792-8. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-66793-5>.

**DE SCHAMPHELAIRE, L., RABAEY, K., BOECKX, P., BOON, N. y VERSTRAETE, W.,** Outlook for benefits of sediment microbial fuel cells with two bio-electrodes. *Microbial Biotechnology*, 2008. vol. 1, no. 6, ISSN 1751-7915. DOI 10.1111/j.1751-7915.2008.00042.x.

**DUCHE Y., X. y BAHAMONDE S., R.,** Avances en el tratamiento de aguas residuales alimenticias para la producción de bioenergía en celdas de combustible microbianas: una revisión. *infoANALÍTICA*, 2021. ISSN 2602-8344, 2477-8788. DOI 10.26807/ia.vi.193.

**FENG, Y., YANG, Q., WANG, X. y LOGAN, B.E.,** Treatment of carbon fiber brush anodes for improving power generation in air–cathode microbial fuel cells. 2010. *Journal of Power Sources*, vol. 195, no. 7, ISSN 0378-7753. DOI 10.1016/j.jpowsour.2009.10.030.

**GAMBOA, N.K.G.,** Evaluación de sedimentos de la bahía de campeche en un stack de celdas de combustible microbianas bénticas con cátodos aireados y almacenamiento de energía en circuito de baja potencia. 2019.

**HAILE, S.M., BOYSEN, D.A., CHISHOLM, C.R.I. y MERLE, R.B.,** Solid acids as fuel cell electrolytes. 2001. *Nature*, vol. 410, no. 6831, ISSN 0028-0836, 1476-4687. DOI 10.1038/35073536.

**HINDATU, Y., ANNUAR, M.S.M. y GUMEL, A.M.,** Mini-review: Anode modification for improved performance of microbial fuel cell. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017. vol. 73, ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2017.01.138.

**INEN, AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO.** 2013. S.l.: s.n.

**JIMÉNEZ-ESCAMILLA, GARIBAY-ORIJEL y BORJA-SALIN, M.A.,** Modelo bioquímicamente estructurado para la estimación de la eficiencia de una celda de combustible microbiana. 2018. [en línea]. [consulta: 28 abril 2022]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992018000200331&script=sci\\_abstract&tlng=pt](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992018000200331&script=sci_abstract&tlng=pt).

**KIELY, P.D., CALL, D.F., YATES, M.D., REGAN, J.M. y LOGAN, B.E.,** Anodic biofilms in microbial fuel cells harbor low numbers of higher-power-producing bacteria than abundant genera. 2010. *Applied Microbiology and Biotechnology*, vol. 88, no. 1, ISSN 0175-7598, 1432-0614. DOI 10.1007/s00253-010-2757-2.

**KUMAR, G.G., SARATHI, V.G.S. y NAHM, K.S.,** Recent advances and challenges in the anode architecture and their modifications for the applications of microbial fuel cells. *Biosensors and Bioelectronics*, 2013. vol. 43, ISSN 09565663. DOI 10.1016/j.bios.2012.12.048.

**LI, S., CHENG, C. y THOMAS, A.,** Carbon-Based Microbial-Fuel-Cell Electrodes: From Conductive Supports to Active Catalysts. *Advanced Materials*, 2017. vol. 29, no. 8, ISSN 09359648. DOI 10.1002/adma.201602547.

**LÓPEZ PILCO, D.F.,** *Desarrollo de un equipo de monitoreo inalámbrico de sensores alimentado mediante celdas de combustible microbianas para el Centro de Energías Alternativas y Ambiente de la ESPOCH.* 2018a. [en línea]. bachelorThesis. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10822>.

**LÓPEZ PILCO, D.F.,** *Desarrollo de un equipo de monitoreo inalámbrico de sensores alimentado mediante celdas de combustible microbianas para el Centro de Energías Alternativas y Ambiente de la ESPOCH.* 2018b. [en línea]. bachelorThesis. S.l.: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/10822>.

**MATEO, S., CAÑIZARES, P., FERNANDEZ-MORALES, F.J. y RODRIGO, M.A.,** A Critical View of Microbial Fuel Cells: ¿What Is the Next Stage? *ChemSusChem*, 2018. vol. 11,

no. 24, ISSN 1864-5631, 1864-564X. DOI 10.1002/cssc.201802187.

**MOHARIR, P.V. y TEMBHURKAR, A.R.**, Effect of recirculation on bioelectricity generation using microbial fuel cell with food waste leachate as substrate. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2018. vol. 43, no. 21, ISSN 03603199. DOI 10.1016/j.ijhydene.2018.04.072.

**MORALES, L.V.V. y BARÓN, L.D.Z.**, Desempeño De Un Sistema De Celdas De Combustible Microbiano Para El Tratamiento Y Generación De Bioelectricidad A Partir De Efluentes De Una Industria De Curtiembre Ubicada En El Municipio De Villapinzón, Cundinamarca. 2021., DOI <https://doi.org/10.14483/2322939X.15188>.

**NÚÑEZ, L.T.**, Incentivos Ambientales, 2015. .... 79. ,

**ÑACATO CHICAIZA, D.C.**, Evaluación de la aplicación del campo magnético en la producción de energía eléctrica a partir de la degradación de aguas residuales domésticas utilizando celdas de combustible microbianas tipo batch 2018. [en línea]. bachelorThesis. S.l.: Quito: UCE. [consulta: 5 abril 2023]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/14585>.

**OBILEKE, K., ONYEAKA, H., MEYER, E.L. y NWOKOLO, N.**, Microbial fuel cells, a renewable energy technology for bio-electricity generation: A mini-review. *Electrochemistry Communications*, 2021. vol. 125, ISSN 1388-2481. DOI 10.1016/j.elecom.2021.107003.

**OMINE, K., SIVASANKAR, V. y CHICAS, S.D.**, Bioelectricity Generation in Soil Microbial Fuel Cells Using Organic Waste. 2018. En: V. SIVASANKAR, P. MYLSAMY y K.

**OMINE (eds.)**, *Microbial Fuel Cell Technology for Bioelectricity* [en línea]. Cham: Springer International Publishing, pp. 137-150. [consulta: 29 junio 2022]. ISBN 978-3-319-92904-0. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-92904-0\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92904-0_7).

**OTZEN, T. y MANTEROLA, C.**, Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 2017. vol. 35, no. 1, ISSN 0717-9502. DOI 10.4067/S0717-95022017000100037.

**PÍREZ, M. y MOTA, M.**, Introducción e importancia del tema. 2018,

**RECALDE, C., LÓPEZ, D., AGUAY, D. y GARCIA, V.**, Environmental Sensing in High-Altitude Mountain Ecosystems Powered by Sedimentary Microbial Fuel Cells. *Sensors*, 2023.

vol. 23, DOI 10.3390/s23042101.

**REVELO, D.M., HURTADO, N.H. y RUIZ, J.O.,** Celdas de Combustible Microbianas (CCMs): Un Reto para la Remoción de Materia Orgánica y la Generación de Energía Eléctrica. *Información tecnológica*, 2013. vol. 24, no. 6, ISSN 0718-0764. DOI 10.4067/S0718-07642013000600004.

**RODRÍGUEZ, L.M.T., ROJAS, A.M., RODRÍGUEZ, G.V. y DÍAZ, E.P.,** Uso de curvas de polarización para entender el transporte de iones a través de una membrana de intercambio iónico. *Educación Química*, 2019. vol. 30, no. 4, ISSN 1870-8404. DOI 10.22201/fq.18708404e.2019.4.67333.

**RUGEL, L.S.,** 2 -- Edición Especial N° 316 - Registro Oficial. Lunes 4 de mayo de 2015. ,

**SAKAI, K., IWAMURA, S., SUMIDA, R., OGINO, I. y MUKAI, S.R.,** Carbon Paper with a High Surface Area Prepared from Carbon Nanofibers Obtained through the Liquid Pulse Injection Technique. *ACS Omega*, 2018. vol. 3, no. 1, ISSN 2470-1343, 2470-1343. DOI 10.1021/acsomega.7b01822.

**SANDOVAL VIDAL, P., LARA L, A., MINTE HIDALGO, C. y GUTIÉRREZ MORAGA, P.,** Caracterización de los Alambres Termoactivados para Uso Ortodóncico: Reporte de Caso. *International journal of odontostomatology*, 2012. vol. 6, no. 1, ISSN 0718-381X. DOI 10.4067/S0718-381X2012000100009.

**SANTORO, C., ARBIZZANI, C., ERABLE, B. y IEROPOULOS, I.,** Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review. *Journal of Power Sources*, 2017. vol. 356, ISSN 0378-7753. DOI 10.1016/j.jpowsour.2017.03.109.

**TELLEZ-CRUZ, M.M., ESCORIHUELA, J., SOLORZA-FERIA, O. y COMPAÑ, V.,** Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFCs): Advances and Challenges. *Polymers*, 2021. vol. 13, no. 18, ISSN 2073-4360. DOI 10.3390/polym13183064.

**TELLO, L.G., SÁNCHEZ, A.A. y ZÚNIGA-GONZÁLEZ, E.A.P.D.C.A.,** La contaminación ambiental en los acuíferos de Ecuador. Necesidad de su reversión desde las políticas públicas con enfoque bioético. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 2019. vol. 5, no. 9, DOI <https://doi.org/10.5377/ribcc.v5i9.7946>.

**FERNANDEZ, A.** Titanio Propiedades Precio Aplicaciones Producción. *Material Properties* [en línea], 2021. [consulta: 2 mayo 2023]. Disponible en: <https://material-properties.org/es/titanio-propiedades-precio-aplicaciones-produccion/>.

**TORTORA, G.J., FUNKE, B.R. y CASE, C.L.,** *Introducción a la microbiología*. 2007. S.l.: Ed. Médica Panamericana. ISBN 978-950-06-0740-7.

**URIA, N., FERRERA, I. y MAS, J.,** Electrochemical performance and microbial community profiles in microbial fuel cells in relation to electron transfer mechanisms. *BMC Microbiology*, 2017. vol. 17, no. 1, ISSN 1471-2180. DOI 10.1186/s12866-017-1115-2.

**VALDÉS, J. y CASTILLO, A.,** Evaluación de la calidad ambiental de los sedimentos marinos en el sistema de bahías de Caldera (27°S), Chile. *Latin american journal of aquatic research*, 2014. vol. 42, no. 3, ISSN 0718-560X. DOI <https://doi.org/10.3856/vol42-issue3-texto-completo-10>.

**VALDIVIESO, L.N.V.,** “Evaluación De Mecanismos De Reactivación En Celdas De Combustible Microbianas Para La Producción De Bioelectricidad”. 2017.

**VENKATA MOHAN, S., VEER RAGHAVULU, S. y SARMA, P.N.,** Biochemical evaluation of bioelectricity production process from anaerobic wastewater treatment in a single chambered microbial fuel cell (MFC) employing glass wool membrane. *Biosensors and Bioelectronics*, 2008. vol. 23, no. 9, ISSN 09565663. DOI 10.1016/j.bios.2007.11.016.

**YAQOOB, A.A., IBRAHIM, M.N.M. y RODRÍGUEZ-COUTO, S.,** Development and modification of materials to build cost-effective anodes for microbial fuel cells (MFCs): An overview. *Biochemical Engineering Journal*, 2020. vol. 164, ISSN 1369-703X. DOI 10.1016/j.bej.2020.107779.

**YAQOOB, A.A., MOHAMAD IBRAHIM, M.N., RAFATULLAH, M., CHUA, Y.S., AHMAD, A. y UMAR, K.,** Recent Advances in Anodes for Microbial Fuel Cells: An Overview. *Materials*, 2020. vol. 13, no. 9, ISSN 1996-1944. DOI 10.3390/ma13092078.

**ZHANG, S., WANG, H., LIU, J. y BAO, C.,** Measuring the specific surface area of monolayer graphene oxide in water. *Materials Letters*, 2020. vol. 261, ISSN 0167577X. DOI 10.1016/j.matlet.2019.127098.

## ANEXOS

### ANEXO A: PERMISO DE TOMAS DE MUESTRAS DEL GADMUR



Oficio Nro. GADMUR-DA-2022-0406-O

Sangolquí, 22 de noviembre de 2022

**Asunto:** AUTORIZACIÓN TOMA MUESTRAS DE SEDIMENTO Y AGUA LAGUNA HACIENDA SAN ISIDRO.

Señor  
Emerson Andrés Navarro Maldonado  
Presente.

De mi consideración,

En atención al oficio S/N, signado con número de trámite GADMUR-DSC-2022-19702, mediante el cual se solicita: "...que se me permita obtener unas muestras de sedimento y agua de la laguna de la Hacienda San Isidro, a su vez la recopilación de datos de los diferentes análisis obtenidos serán entregados al departamento de ambiente como información, puesto que fue donde desarrolle mis prácticas preprofesionales y hasta el momento no se ha realizado ningún análisis de la laguna, toda la información son con fines académicos e investigativos...".

Al respecto, me permito informar que con el propósito de atender su requerimiento en concordancia a las competencias establecidas en el ESTATUTO ORGÁNICO SUSTITUTIVO DE GESTIÓN ORGANIZACIONAL POR PROCESOS DEL GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN RUMIÑAHUI se solicitó a la Dirección de Protección Ambiental se informe si es procedente otorgar la autorización por usted requerida.

En este contexto, pongo en su conocimiento que mediante Memorando Nro. GADMUR-DPA-2022-2069-M de 22 de noviembre de 2022 la Magister María Clara Luz Peralta Arias - Directora de Protección Ambiental, en su parte pertinente describe "...se informa que es procedente dar paso al requerimiento, además que el proyecto de tesis que se va a desarrollar es de interés ambiental para el GADMUR..."

Con estos antecedentes, esta Dirección autoriza a Usted a fin de que proceda con la toma de muestras de sedimento y agua de la laguna de la Hacienda San Isidro.

Hago propicia la oportunidad para reiterarle mi sentimiento de distinguida consideración y alta estima.

Atentamente,



JOSE ALBERTO SANDOVAL ATAPUMA

Abg. Jorge Alberto Sandoval Atapuma  
**DIRECTOR ADMINISTRATIVO**

Referencias:  
- GADMUR-DSC-2022-19702-E

Anexos:  
- TR.19702.pdf

Copias:  
Señorita Ingeniera  
Katherine Gabriela Narinba Narinba  
Servidor Público de Apoyo 2

**ANEXO B: AVAL DEL GRUPO GEAA**



**AVAL**

EL DIRECTOR DEL GRUPO DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS Y AMBIENTE  
(GEAA)

DOCTOR CELSO GUILLERMO RECALDE MORENO, SUSCRIBE

**AVALA:**

Que el señor **Emersón Andrés Navarro Maldonado** con CI: 030198512-3, estudiante de la Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, va a desarrollar el trabajo titulación denominado: **DESEMPEÑO DE CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANO BENTÓNICAS CON SEDIMENTOS LACUSTRES DE LA LAGUNA DE LA HACIENDA SAN ISIDRO DEL CANTÓN RUMIÑAHUI PARROQUÍA SANGOLQUÍ**, bajo la tutoría del Dr. Celso Guillermo Recalde Moreno.

Se extiende el presente documento a solicitud del interesado, para los fines que estime convenientes.

Riobamba, 28 de junio del 2022

Firmado  
CELSO GUILLERMO digitalmente por  
RECALDE MORENO CELSO GUILLERMO  
RECALDE MORENO

Dr. Celso Guillermo Recalde

**DIRECTOR GEAA-FAC. CIENCIAS**

Teléfono: 593(03) 2998-200 Ext.2221  
geaesPOCH@gmail.com

## ANEXO C: ANÁLISIS FÍSICOS QUÍMICOS MONITOREO IN SITU

Puntos de recolección de muestra de sedimentos laguna Hacienda san Isidro

<b>Punto</b>	<b>Longitud</b>	<b>latitud</b>	<b>Altitud</b>	<b>Parámetros in situ</b>
<b>coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 sur</b>				
				°T:18,8 °C
				pH:7,32
<b>1</b>	782571,4	782571,4	2491	CE:137 uS
				TDS:0,276 ppm
				Prof: 70cm
				Hora:11:12 am
				°T:19,1 °C
				pH:6,85
<b>2</b>	782584,6	9963345,8	2496	CE:24 uS
				TDS:0,48 ppm
				Prof: 68cm
				Hora:11:20 am
				°T:20,8 °C
				pH:7,66
<b>3</b>	782606,4	9963377,7	2491	CE:13 uS
				TDS:0,276 ppm
				Prof: 1,09m
				Hora: 11:45 am
				°T:20 °C
				pH:7,65
<b>4</b>	782589,7	9963405,8	2491	CE:0,57 uS
				TDS:0,100 ppm
				Prof: 1,23m
				Hora:12:25 pm

Realizado por: Navarro, E, 2023

**ANEXO D: PRUEBAS DE MICROORGANISMOS ANAEROBIOS DE LAS CCMBS**

<b>Código</b>	<b>Imagen</b>
<b>X</b>	
<b>E</b>	
<b>B</b>	

**Realizado por:** Navarro, E, 2023



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 27 / 07 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Emersón Andrés Navarro Maldonado
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Ciencias
<b>Carrera:</b> Ingeniería en Biotecnología Ambiental
<b>Título a optar:</b> Ingeniero en Biotecnología Ambiental
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo, MSc.



1572-DBRA-UPT-2023