



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**OBTENCIÓN DE BIOCARBÓN Y BIOL A PARTIR DE BAGAZO
DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU USO POTENCIAL EN CELDAS
DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA: JHOSELIN MABEL LAGLA MOLINA

DIRECTORA: ING. CRISTINA GABRIELA CALDERÓN TAPIA. MSc.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Jhoselin Mabel Lagla Molina

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, Jhoselin Mabel Lagla Molina, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Aquellos textos de otras fuentes están correctamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos presentes en este Trabajo de Integración Curricular, el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23 de junio de 2023

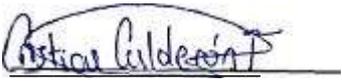
A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Jhoselin Mabel Lagla Molina', with a stylized flourish at the end.

Jhoselin Mabel Lagla Molina

172253103-3

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **OBTENCIÓN DE BIOCARBÓN Y BIOL A PARTIR DE UN PROCESO DE PIRÓLISIS DE BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR PARA SU USO POTENCIAL EN CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS**, realizado por la señorita: **JHOSELIN MABEL LAGLA MOLINA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. María Soledad Núñez Moreno MsC. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-06-23
Ing. Cristina Gabriela Calderón Tapia MsC. DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-23
Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes MsC. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-06-23

DEDICATORIA

A Dios quien ha sido el forjador de mi camino y mi espíritu. Con todo mi amor a mi madre y con gran nostalgia a mi padre que hoy me acompaña desde el cielo, quienes son las personas que me inspiraron a ser mi mejor versión. A mis hermanas, mi familia de sangre y la familia y amigos que pude elegir, por estar y jamás permitir que me sintiera sola tan lejos de mi hogar.

Mabel

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) que desde el primer día como universitaria me hizo sentir en casa y por el gran nivel de desarrollo académico que me impartió. Al Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio climático (GIDAC), a las facultades de Ciencias, Mecánica y Recursos Naturales de la ESPOCH por su contribución y siempre estar prestos al desarrollo de las actividades realizadas dentro del mi trabajo de investigación. Mis más sinceros agradecimientos a la Ing. Cristina Gabriela Calderón Tapia, MSc, Ing. Paúl Gustavo Palmay Paredes, Msc. y al Ing. Alex Fernando Guambo Galarz, MSc a que desde el primer momento vio en mí un gran potencial como investigadora. Gracias por su tiempo, apoyo y verdadera amistad. Mi gratitud a la Ing. Mónica Yolanda Molina Vivas y al Sr. Henry Raúl Barrionuevo Avalos propietarios de la finca cañicultora por su apertura y colaboración en las actividades realizadas para el cumplimiento del presente trabajo.

Mabel

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.3 Justificación.....	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Antecedentes de investigación.....	6
2.2 Referencias teóricas.....	7
2.2.1 <i>Bioenergía</i>	7
2.2.2 <i>Bioelectricidad</i>	7
2.2.2.1 <i>Bioelectricidad producida por celdas</i>	8
2.2.3 <i>Celdas de Combustible Microbianas (MFCs)</i>	8
2.2.3.1 <i>Configuración</i>	8
2.2.3.2 <i>Elementos</i>	9
2.2.4 <i>Biol usado como combustible de una MFCs</i>	12
2.2.5 <i>Bacterias electrogénicas</i>	12
2.2.6 <i>Pirólisis</i>	13
2.2.6.1 <i>Pirólisis de residuos orgánicos (bagazo de caña de azúcar)</i>	14
2.2.6.2 <i>Biocarbón</i>	14
2.2.7 <i>Fermentación anaerobia (FA)</i>	16

2.2.7.1	<i>Digestión anaerobia</i>	16
2.2.7.2	<i>Biol</i>	16
2.2.8	<i>Sistema de adquisición de datos</i>	17

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	18
3.1	Enfoque de investigación	18
3.1.1	<i>Cuantitativo</i>	18
3.2	Nivel de investigación	18
3.2.1	<i>Exploratorio</i>	18
3.2.2	<i>Descriptivo</i>	18
3.2.3	<i>Explicativo</i>	19
3.3	Diseño de investigación	19
3.3.1	<i>Tipo experimental</i>	19
3.4	Selección y cálculo del tamaño de la muestra	20
3.4.1	<i>Población de estudio</i>	20
3.4.1.1	<i>Sustrato y membrana</i>	20
3.4.1.2	<i>Inóculo</i>	20
3.4.2	<i>Selección de muestra</i>	21
3.4.2.1	<i>Métodos de muestreo</i>	21
3.4.3	<i>Tamaño de muestra</i>	22
3.4.3.1	<i>Biocarbón</i>	22
3.4.3.2	<i>Biol</i>	22
3.5	Métodos, técnicas e instrumentos de investigación	23
3.5.1	<i>Técnicas de recolección de datos</i>	23
3.5.1.1	<i>Recolección de microorganismos electrogénicos</i>	23
3.5.1.2	<i>Pirólisis de bagazo de caña de azúcar</i>	24
3.5.1.3	<i>Biodigestión anaerobia para la obtención de biol de bagazo de caña de azúcar</i>	27
3.5.2	<i>Métodos e instrumentos</i>	28
3.5.2.1	<i>Configuración de MFCs</i>	28
3.5.2.2	<i>Sustratos incorporados</i>	29
3.5.2.3	<i>Preparación de la cámara anódica</i>	30
3.5.2.4	<i>Membrana de biocarbón</i>	30
3.5.2.5	<i>Pre- tratamiento de las membranas</i>	30
3.5.2.6	<i>Análisis de la fibra de carbono y biocarbón añadido</i>	31

3.5.2.7	<i>Análisis bromatológicos de los sustratos</i>	31
3.5.2.8	<i>Análisis físicos Químicos de los sustratos</i>	32
3.5.3	<i>Sistema de adquisición de datos</i>	32
3.5.4	<i>Tasa de remoción o incremento de contaminante</i>	32
3.5.5	<i>Lugar Experimental</i>	33
3.5.5.1	<i>Materiales de experimentación</i>	33
3.5.5.2	<i>Equipos, materiales y reactivos de laboratorio</i>	34
3.5.6	<i>Modelo estadístico</i>	36
3.5.6.1	<i>Hipótesis Textual</i>	36
3.5.6.2	<i>Hipótesis Estadística</i>	36

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	38
4.1	Procesamiento y discusión de resultados	38
4.1.1	<i>Microorganismos electrogénicos</i>	38
4.1.2	<i>Biocarbón</i>	39
4.1.3	<i>Biol</i>	41
4.1.4	<i>Configuración</i>	42
4.1.4.1	<i>Sustratos</i>	42
4.1.4.2	<i>Membranas</i>	43
4.1.5	<i>Análisis de los materiales de las membranas usadas</i>	44
4.1.6	<i>Análisis bromatológicos de los sustratos</i>	48
4.1.7	<i>Análisis físico químico de los sustratos</i>	50
4.1.7.1	<i>pH</i>	50
4.1.7.2	<i>Temperatura</i>	51
4.1.7.3	<i>Conductividad eléctrica</i>	52
4.1.7.4	<i>DBO</i>	53
4.1.7.5	<i>DQO</i>	54
4.1.7.6	<i>Nitrógeno amoniacal</i>	55
4.1.8	<i>Sistema de adquisición de datos</i>	56
4.1.9	<i>Comprobación de hipótesis</i>	57
4.1.9.1	<i>Análisis de normalidad</i>	57
4.1.9.2	<i>Comparación de tratamientos</i>	58
4.1.9.3	<i>Contraste-TUKEY</i>	59
4.1.9.4	<i>Análisis de correlación</i>	61

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	63
5.1	Conclusiones	63
5.2	Recomendaciones	63

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Densidad de corriente generada en mW/m ² acorde al sustrato	11
Tabla 2-2: Propiedades del Bagazo de Caña de azúcar Industrial y Artesanal	12
Tabla 2-3: Clasificación de microorganismos electrogénicos acorde la intensidad de corriente producida	13
Tabla 2-4: Potencial generado acorde a la función del biocarbón en la MFCs.....	15
Tabla 4- 1: Diseño Experimental	19
Tabla 4-2: Parámetros cinéticos de reacción de Pirólisis	25
Tabla 4-3: Análisis bromatológicos de los sustratos.....	31
Tabla 4-4: Análisis fisicoquímicos de los sustratos	32
Tabla 4-5: Lugares usados en las actividades necesarias para experimentación.....	33
Tabla 4-6: Materiales de experimentación.....	33
Tabla 4-7: Equipos, materiales y reactivos usados de laboratorio.	35
Tabla 4-8: Cultivo de microorganismos usados.....	38
Tabla 4-9: Análisis bromatológicos de la base sólida de los sustratos.....	42
Tabla 4-10: Microscopia SEM de las MIP de las MFCs	44
Tabla 4-11: Análisis bromatológicos de los sustratos (Iniciales).....	48
Tabla 4-12: Análisis bromatológicos de los sustratos (Finales).....	49
Tabla 4-13: Resultados de pH.....	50
Tabla 4-14: Resultados de temperatura.....	51
Tabla 4-15: Resultados de CE.....	52
Tabla 4-16: Resultados de DBO	53
Tabla 4-17: Resultados de DQO	54
Tabla 4-18: Resultados de Nitrógeno amoniacal	55
Tabla 4-19: Prueba de normalidad.....	58
Tabla 4-20: Prueba de Kruskal-Wallis del Voltaje	59
Tabla 4-21: Prueba de Kruskal-Wallis de la tasa de remoción de DBO	59
Tabla 4-22: Prueba de Tukey	60
Tabla 4-23: Prueba de correlación Spermán	61

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1: Localización de la Finca Barrionuevo Molina.....	20
Ilustración 3-2: Mapa de muestreo.....	21
Ilustración 3-3: Pretratamiento de muestras; A) Secado, B) Triturado y C) Tamizado	25
Ilustración 3-4: Equipo de pirólisis; A) Equipo y B) Interior del reactor.....	26
Ilustración 3-5: Biodigestor.....	27
Ilustración 3-6: Configuración de las MFCs	28
Ilustración 3-7: Obtención del lixiviado de frutas y verduras; A) Frutas y verduras recolectadas y B) obtención de lixiviado.....	29
Ilustración 4-1: Cultivo e inoculación de microorganismos; A) Cultivo de microorganismos, B) Incubación de microorganismos y C) Esterilización y armado de MFCs.....	38
Ilustración 4-2: Biocarbón obtenido de la Pirólisis	39
Ilustración 4-3: Productos de la digestión anaerobia; A) Biosol, B) Biogás en una trampa de gas y C) Biol	41
Ilustración 4-4: Pruebas de resistencia y conducción de voltaje; A) Fibra de carbón impregnada de biocarbón, B) Medición en fibra impregnada de biocarbón y C) Medición en fibra de carbón pura	43
Ilustración 4-5: A) Cromatografía de Fibras impregnadas de Biocarbón. B) Cromatografía de la membrana MFC-FB-2.....	46
Ilustración 4-6: Cromatografía de Membran MFC-BB-2	47
Ilustración 4-7: Caracterización bromatológica de sustratos-Inicial	48
Ilustración 4-8: Caracterización bromatológica de sustratos-Final	49
Ilustración 4-9: Voltaje generado en función del tiempo	56
Ilustración 4-10: Sistema de adquisición de datos.	57
Ilustración 4-11: Medias marginales estimadas de Voltaje en mV por celda	61
Ilustración 4-12: Relación de voltaje y tasa de remoción de DBO, DQO y Nitrógeno amoniacal	62

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** CONSTRUCCIÓN DEL DIGESTOR
- ANEXO B:** ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS
- ANEXO C:** ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS
- ANEXO D:** RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS INICIALES Y FINALES
- ANEXO E:** ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS INICIALES Y FINALES
- ANEXO F:** DATOS DE DIFERENCIA DE POTENCIA GENERADA AL CABO DE 15 CICLOS
- ANEXO G:** INTERPRETACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN
- ANEXO H:** AVAL DE INVESTIGACIÓN

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue obtener biocarbón y biol a partir de Bagazo de Caña de Azúcar (BCA) para su uso potencial en las Celdas de Combustible Microbianas (MFCs), para lo cual se generó un proceso de pirólisis y fermentación para la obtención de electrodos y combustible, respectivamente. Posteriormente, se implementó los bioproductos para evaluar su rendimiento en la producción de bioelectricidad y remoción de carga orgánica. La pirólisis se llevó a cabo en un reactor, una vez obtenido el micro y nano material se impregnó en fibra de carbón para ser usada como Membrana de Intercambio de Protones (MIP) en las MFCs que tuvieron como sustratos; lixiviados de frutas y verduras y biol obtenido de la digestión anaeróbica del BCA procesada artesanalmente. Por otro lado, se inocularon con *Delftia acidovorans* y *Citrobacter freundii* y armaron las celdas configuradas de forma simple con el cátodo expuesto de las que se monitoreó el voltaje generado durante 15 días. Se realizaron análisis fisicoquímicos y bromatológicos a los sustratos, previo y al finalizar para el cálculo de las tasas de remoción de contaminantes. Para el análisis de la formación del biofilm se visualizó por microscópica avanzada las membranas. Se obtuvo 4 celdas compuestas por lixiviado y 4 con biol con 2 diferentes combinaciones de MIP, con una tasa de remoción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), nitrógeno amoniacal y generación de bioelectricidad. El análisis estadístico y resultados de la caracterización de los sustratos y MIP demostraron que las celdas compuestas por fibra de carbón impregnada de biocarbón generó mayor voltaje y las celdas compuestas por lixiviado y fibras de carbón puras la mayor tasa de remoción de contaminantes. Se recomienda hacer estudios sobre el uso de micro y nanomateriales en la bioelectricidad y la recuperación de elementos.

Palabras clave: <BIOELECTRICIDAD>, <CELDA DE COMBUSTIBLE MICROBIANO>, <BIOELECTROQUÍMICOS>, <BIOCARBÓN>, <BIOL>.

1463-DBRA-UPT-2023



ABSTRACT

This research aimed to obtain biochar and biol from Sugarcane Bagasse (BCA) for its potential use in microbial fuel cells (MFCs). A pyrolysis and fermentation process was generated to obtain electrodes and fuel, respectively, and subsequently implement the bioproducts to evaluate their performance in bioelectricity production and organic load removal. The pyrolysis was carried out in a reactor that, once the micro and nanomaterial were obtained, was impregnated in carbon fibre to be used as Proton Exchange Membrane (IPM) in the MFCs that had as substrates, leached from fruits and vegetables and biol obtained from the anaerobic digestion of BCA processed by hand. On the other hand, they were inoculated with *Delftia acidovorans* and *Citrobacter freundii*, and they assembled the cells configured simply with the exposed cathode from which the generated voltage was monitored for 15 days. Physicochemical and bromatological analyzes were carried out on the substrates before and at the end to calculate the rates of removal of contaminants. For the analysis of biofilm formation, the membranes were visualized by advanced microscopy. Four cells composed of leachate and four with biol were obtained with two different combinations of IPM, with a removal rate of biochemical and chemical oxygen demand (BOD and COD) and ammoniacal nitrogen and bioelectricity generation. The statistical analysis and results of the characterization of the substrates and IPM showed that the cells composed of carbon fibre impregnated with biochar generated the highest voltage, and the cells composed of leachate and pure carbon fibres had the highest rate of contaminant removal. It is recommended to conduct studies on using micro and nanomaterials in bioelectricity and the recovery of elements.

Keywords: <BIOELECTRICITY>, <MICROBIAL FUEL CELLS>, <BIOELECTROCHEMICALS>, <BIOCARBON>, <BIOL>.



Ing. Paúl Obregón MsC.

0601927122

INTRODUCCIÓN

Hoy en día nuestra mayor fuente de energía y de combustible sigue siendo el petróleo como una fuente no renovable de recursos (Mastepanov y Chigarev 2020), por otro lado se usa fuentes renovables pero con un alto impacto ambiental como son las hidroeléctricas para dotar de electricidad a la población de países en vías de desarrollo. Otro punto es que nuestra falta de gestión y aprovechamiento energético de residuos sólidos aprovechables considerada como biomasa se ha convertido en un foco de contaminación por la emisión de gases de descomposición que por lo general son de efecto invernadero y lixiviados con alta carga contaminante.

Como se estima en los informes de la Agencia de Regulación y control de electricidad y del Concejo Nacional de Electricidad en el año 2022 se generó para febrero una potencia efectiva a partir de fuentes renovables de 5 264,78 MW de las cuales 5 072,26 MW (62,60%) corresponde a hidroeléctricas y tan solo 136, 40 MW (1,68%) de biomasa aprovechada para la generación de electricidad. Debido a los fenómenos naturales como la sequía, erosión y cambio de cauce de los ríos nuestra principal fuente de energía en el Ecuador se vería afectada. Por lo que, la búsqueda de fuentes de energía alternativas como las celdas de combustible microbianas (MFCs) nos dan una nueva perspectiva del aprovechamiento de recursos que antes considerábamos residuos orgánicos biodegradables de la industrial para la generación de energía.

Esta tecnología genera electricidad como producto de la oxidación de la materia orgánica resultado del proceso metabólico de las bacterias (Kakarla y Min 2019) que al lograr la biodegradación de la materia orgánica e inorgánica (compuestos simples) por medio de un intercambio iónico genera electricidad. Una de las limitaciones que se ha visto en esta tecnología es la producción estable de voltaje y los altos costos de electrodos como su eficiencia en la remoción de carga orgánica de sustratos con alta carga contaminante, debido a ellos, se han estudiado la aplicación de micro o nano materiales como el biocarbón a partir de bases orgánicas como mecanismo de mejora de las características de las membranas de intercambio tanto fisiológicas y bioquímicas (Abd-Elrahman et al. 2022) tales como; el área de contacto superficial, naturaleza porosa, el potencial del intercambio iónico, regulación de pH (Patwardhan et al. 2022) lo que facilita el tratamiento de aguas residuales como de efluentes provenientes de digestores anaerobios de desechos de alimentos (biol). Investigaciones sobre este tipo de sustrato dentro de MFC han demostrado tener hasta un 50% de la eliminación de compuestos orgánicos, nitrógeno y fósforo alcanzando densidades de potencia máximas de hasta 200 mW/m² (Yoshizu, Kouzuma y Watanabe 2023).

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Con una sociedad mundial integral y con un crecimiento demográfico exponencial, las fuentes de energía son limitadas (CONELEC 2022). La seguridad energética para países que poseen las más grandes reservas de gas y petróleo y para aquellos que se encuentran enfocados en la diversidad de energía, la producción de energía verde es una línea de acción. Hoy en día la producción de energía eléctrica sugiere daños ambientales por la emisión de gases de efecto invernadero lo que ha dado paso a la generación de energía segura, equitativa, asequible y ambientalmente sostenible (Mastepanov y Chigarev 2020). En latino América y a nivel global el incremento de la generación de energías renovables como mecanismo del cambio de la productividad de un país y la electrificación de sectores aislados son medidas prioritarias para varios gobiernos a mediano plazo (Ampuño, Lata-Garcia y Jurado 2020).

En el Ecuador la Agencia de Regulación y control de electricidad para febrero de 2022 reportó que el 60,77% de la energía del país es de fuentes renovables, del cual; el 58,45% es de origen hidráulico, 0,24% eólico, 0,33% fotovoltaico, 1,65 % de biomasa y el 0,10 % a partir del biogás (ARCONEL 2022). En nuestro país existen grandes inversiones para la construcción de centrales hidroeléctricas, sin embargo hay evidencia actualmente que este tipo de infraestructuras acarrear problemas ambientales por su inmensa alteración de ecosistemas, del ciclo natural de los ríos y paisajística debido a sus procesos de instalación (Oviedo Ocaña 2018), en consecuencia se sugiere se lleve a cabo investigaciones de fuentes de energía renovable como del uso de biomasa dentro de tecnologías amigables con el ambiente como son las celdas de combustible microbianas (MFCs) las cuales pueden llegar a resolver varios problemas ocasionados por la producción de energías de fuentes no renovables (Cárdenas Robles et al. 2022) y ser aplicadas en diversos campos; como la producción de biocombustible, biosensores, recuperación de nutrientes, tratamiento de aguas residuales, la eliminación de metales pesados (Apollon et al. 2022) y el manejo de residuos sólidos.

Las MFCs representan un sistema no convencional de generación de energía verde y sostenible. Estas integran biopelículas bacterianas dentro de una configuración electroquímica confinada por dos electrodos para producir electricidad a partir de una amplia gama de contaminantes. Están constituidas por una cámara anódica (sustrato a oxidar -donador de electrones) y una cámara catódica (aceptor de electrones que en condiciones aerobias es el oxígeno molecular (Greenman et al. 2022)) y una membrana de intercambio de electrones. Entre los sustratos usados en las MFCs

se incluyen; acetato, aguas residuales de cervecería con glucosa, biomasa lignocelulósica, aguas residuales sintéticas, aguas residuales del procesamiento de almidón, aguas residuales de tintes, lixiviados de vertederos, glucosa (Obileke et al. 2021) y compuestos con una alta capacidad de oxidación.

Uno de los problemas con mayor incidencia en el Ecuador es el manejo de sus residuos sólidos (RS) tanto domésticos como industriales. Para el año 2020 en el Ecuador se recolectaron 12 613 toneladas de residuos sólidos al día. De los RS correspondiente al área urbana y caracterizado por los GADs, el 56 % corresponde a residuos orgánicos y el 44 % a inorgánicos (INEC 2020). Los residuos sólidos se integran los emitidos por la industria, especialmente agropecuaria, como los generados por las industrias cañicultoras del Ecuador que no reciben tratamiento y su disposición final sigue obsoleta. En 2020, la superficie de zafra nacional de caña de azúcar será de 139 406 hectáreas, con una producción de 11 016 167 toneladas métricas. Acorde al cálculo de la cantidad de residuos sólidos anuales generado por la agroindustria en el Ecuador, se recabo que un poco más de 2 200 millones de Kg corresponden a componentes del bagazo de caña de azúcar y a racimos de palma aceitera (Riera, Maldonado y Palma 2019) sin una disposición final.

A partir del planteamiento del problema mencionado, este estudio dirige la siguiente pregunta: ¿El uso del bagazo de caña de azúcar en calidad de sustrato y parte de la membrana en una celda de combustible microbiana tiene un rendimiento significativo en la producción de bioelectricidad y remoción de carga orgánica?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Obtener biocarbón y biol a partir de bagazo de caña de azúcar para su uso potencial en celdas de combustible microbianas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Generar un proceso de pirólisis y fermentación de bagazo de caña de azúcar para la obtención de electrodos y combustible, respectivamente.
- Implementar los bioproductos de pirólisis y fermentación en una celda de combustible microbiana ensamblada previamente.
- Evaluar el rendimiento de la celda de combustible microbiana en la producción de

bioelectricidad y remoción de carga orgánica.

1.3 Justificación

El uso de material Orgánico en Celdas de Combustible Microbiana (MFCs) se convierte en un dispositivo con beneficios duales ecológicos como es la generación de bioelectricidad y la gestión de residuos (Xu et al. 2017). En las investigaciones de los últimos años el uso de biomasa lignocelulósica (bagazo de caña de azúcar) se ha convertido en una de las principales fuentes de energía y de la más versátil dentro de la producción de biocombustibles, productos químicos de valor agregado y en la producción de bioenergía (Chen et al. 2022). Además, los sistemas bioelectroquímicos (BES) los cuales aprovechan la respiración microbiana para generar energía a partir de biomasa lignocelulósica o subproductos de desecho utilizan comunidades bacterianas que forman biopelículas con mayor facilidad si el sustrato del ánodo contiene proteínas funcionales que por lo general se asocia a la gluconeogénesis, el ciclo glioxilato, entre otros (Chignell, De Long y Reardon 2018).

Algunos microorganismos se adhieren al electrodo a manera de biopelícula y los electrones se transfieren de la cámara catódica de forma directa o a través de una membrana (Rachinski et al. 2010) hacia el ánodo. Como una forma de incrementar la eficiencia de las MFCs se ha usado el desarrollo de ánodos de bajo costo y de alto rendimiento. El uso de biocarbón producto de procesos de pirólisis y gasificación como electrocatalizador en MFCs como membrana separadora y catalizadores de cátodo, han mostrado un rendimiento significativo en comparación con carbón activado y gránulos de grafito convencional (Patwardhan et al. 2022). Por otro lado, el producto líquido o alquitrán recuperado de los procesos pirolíticos es de gran interés por su uso como biocidas, insecticidas, fungicidas, estimulador de crecimiento para plantas (Boer et al. 2020) y como un combustible alternativo (Gonçalves, Pereira y Veit 2016). Estos subproductos tienen gran similitud con los obtenidos a partir del petróleo que ha de ser aprovechable como combustible o generador de energía (Guida y Hannioui 2017). Por otra parte, el proceso como la fermentación de desperdicios orgánicos se ha convertido en uno de los principales métodos de tratamiento a gran escala no solo obteniendo energía limpia sino también reduciendo la emisión de contaminantes (Liu et al. 2019). El biol producido por el proceso de fermentación anaerobia de los residuos se ha considerado como un producto muy rico en nutrientes y ácidos grasos volátiles que por acción microbiana dentro de una MFCs generan electricidad de forma eficiente (Dahunsi 2020).

El propósito de realizar el proceso pirolítico del material lignocelulósico obtenido como subproducto de la industria de la caña de azúcar, es adquirir productos útiles como carbón

(Gonçalves, Pereira y Veit 2016) aprovechables en una MFC dándole un uso a los residuos generados por la industria del etanol y azucarera que no ha tenido ninguna disposición hasta la actualidad. El aprovechamiento de los residuos por un proceso de conversión y descomposición térmica de los elementos hemicelulósico y celulósicos (Guida y Hannioui 2017) por el alto contenido de materia orgánica en el bagazo de caña de azúcar resulta eficiente y aplicable a industrias dedicadas a la generación de combustibles y energías sustentables. Por otro lado, se ha tenido resultados prometedores de MFCs productoras de electricidad con la aplicación de fermentación anaerobia de materia orgánica/inorgánica es decir a partir de materia de fáciles metabolismos usando como biocatalizadores, microorganismos (Bhargavi, Venu y Renganathan 2018).

Esta investigación generará un aporte importante en el estudio de esta tecnología dentro de la eficiencia y rendimiento del sustrato usado y la membrana de intercambio de las MFCs para la generación de energía eléctrica. Además, el trabajo se desarrollará en conjunto con el Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio climático (GIDAC) de la ESPOCH, por lo tanto, los resultados generados contribuirán al avance del proyecto institucional: “Opportunities and challenges of renewable energies as a territorial development in zones of the province of Chimborazo” lo que ayudará a dar un paso más en la búsqueda de implementar a escala real esta tecnología emergente.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

Con el crecimiento industrial y demográfico de todo el mundo la demanda de energía y el acelerado gasto de depósitos de petróleo en el mundo, nos ha puesto en la búsqueda, identificación y desarrollo de fuentes alternativas y renovables de energía (Nawaz et al. 2022). Durante los últimos 20 años la generación de electricidad usando MFCs ha tenido un gran salto tecnológicamente. Este método de generación de energía verde y sostenibles incorporado por un proceso electroquímico formado por dos electrodos con el objetivo de generar electricidad a partir de residuos (Greenman et al. 2022) ha tenido resultados significativos. Debido al avance en el estudio y configuración de las MFCs surge la investigación con el objetivo de lograr una mayor eficiencia en la producción de electricidad a partir de residuos orgánicos producto de la industria cañicultora del Ecuador como fuente de carbono para los microorganismos y parte de la membrana de intercambio de protones (MIP).

Con la finalidad de usar biomasa, siendo uno de los recursos renovales más abundante del planeta y el de reducir residuos orgánicos de la industria, la captación de la energía almacenada en los enlaces químicos de estos compuestos puede ser aprovechada debido a los procesos catalíticos de microorganismos que de forma directa pueden transformar la energía química en energía eléctrica (Moradian, Fang y Yong 2021). Adicionalmente, el método para mejorar la eficiencia de las MFCs y reducir la restricción de las reacciones de óxido reducción (ORR) del cátodo que es de las principales limitantes en la eficiencia de las celdas, se ha propuesto el uso de biocarbón producto de desechos agrícolas o lodos en condiciones de oxígeno limitado (Li et al. 2021).

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo dentro del Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC) varios de sus investigadores han desarrollado trabajos de relevancia en el uso de MFCs. Como inicio de sus trabajos, en el año 2016 se realizó un análisis de cepas bacterianas de suelos de páramos no intervenidos entre los 4000 a 4200 m.s.n.m. con el objetivo de diferenciar cepas electroquímicas capaces de actuar como consorcio microbiano degradativo de materia orgánica y como productor de electricidad dentro de MFCs (Guambo et al. 2020). Como respuesta al trabajo previo, se han desarrollado trabajos como “La evaluación de las capacidades oxido-reductoras de bacterias aisladas de suelos de páramo para la producción de bioelectricidad a partir de sustratos orgánicos compuestos por frutas y verduras

además de un preámbulo a la aplicación de estas tecnologías para la degradación de la DBO presentes en aguas residuales sintéticas” (Guambo, Washington-Nelson Logroño y Mendoza 2016). “La producción de bioelectricidad a base de diversos sustratos; orgánicos, nitratos y plomo en suelos altoandinos”, “La evolución de las Celdas de Combustible Microbianas como potenciales biosensores ambientales en la reducción de nitrato” (Guambo et al. 2017), entre otras. Adicionalmente para el año 2021 se publicó el trabajo de la “Evaluación tanto del grafeno como de la magnetita como membrana de intercambio catiónico en celdas de combustible microbiano con sustrato orgánico para la producción de bioelectricidad” (Guambo Galarza, Calderon y Echeverría 2021).

En el mundo de las MFCs no solo se han usado los microorganismos (bacterias, microalgas, entre otras) como agentes biodegradadores de la materia orgánica. En la Investigación realizada por Tang X. Cui Y y Liu, L (2021) usó la pirólisis de piritita y microalgas para mejorar el rendimiento del ánodo. De igual importancia en la investigación respecto a estas tecnologías se han incorporado agentes electrocatalizadores como biocarbón para mejorar la cinética de la reacción de reducción de oxígeno del cátodo el cual influye en la salida de voltaje y corriente (Li et al. 2021).

2.2 Referencias teóricas

2.2.1 Bioenergía

La organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura define a la bioenergía como la energía con origen en la biomasa conociéndose a ésta como la materia de origen biológico incluyendo; las heces de animales, el carbón vegetal, madera y la materia resultante de las transformaciones fósiles y formaciones geológicas (FAO 2017).

La bioenergía ha sido considerada uno de los puntos centrales tanto para la Agencia Internacional de Energía y el IPCC para alcanzar el cumplimiento del acuerdo de París y el crecimiento Neto Cero tomando en cuenta su papel fundamental en las acciones a favor del acceso a energías limpias, la seguridad alimentaria, la preservación de diversidad y el desarrollo sostenible y ambientalmente equilibrado (Coldwell et al. 2016; Masson Delmotte et al. 2019).

2.2.2 Bioelectricidad

Se define a la bioelectricidad como el resultado de las reacciones electroquímicas donde son convertidos los sustratos orgánicos en electrodos exocelulares o extracelulares y protones que han de ser captados ya sea de forma directa o indirecta para la producción de energía eléctrica teniendo como subproductos dióxido de carbono y agua (Spúlveda Asprilla 2015).

2.2.2.1 Bioelectricidad producida por celdas

Las bioenergías sostenibles como biogás, biodiesel, biobutanol y bioelectricidad son el producto final de la biotecnología y una solución aceptable a la eliminación de materias orgánicas. De la materia orgánica usada, los carbohidratos componen la fracción orgánica más representativa los cuales son degradados por microorganismos (Al Makishah 2017). Las MFC representan uno de los sistemas de energía verde y sostenible en el que se involucra una reacción de óxido reducción en la cual se incluye un donador de electrones que por lo general son sustratos orgánicos reducidos y un aceptor de electrones que en condiciones aerobias es el oxígeno molecular y en condiciones anaerobias es el mismo ánodo que puede actuar como el aceptor de electrones (Greenman et al. 2022).

2.2.3 Celdas de Combustible Microbianas (MFCs)

Las Celdas de combustible microbianas tienen la capacidad de transformar la energía química presente en la materia orgánica biodegradable de forma directa en bioelectricidad (Lóránt, László y Tardy 2022). Las MFCs se fundamentan en el uso de microorganismos electroactivos o electrogénicos (EAM) que pueden llegar a degradar la materia orgánica direccionadas en varias rutas metabólicas con el propósito de pasar los electrones liberados al electrodo anódico (Moradian, Fang y Yong 2021). De forma sencilla se describe como una tecnología empleada con el propósito de producir energía de forma sostenible utilizando varios carbohidratos y otros sustratos que se encuentran presentes en las aguas residuales (Kiminaité et al. 2022).

2.2.3.1 Configuración

- MFC de doble cámara

Las MFCs de composición simple de doble cámara han de estar constituidas por la cámara anódica y la catódica separadas comúnmente por una membrana de intercambio de protones (MIP). En esta estructuración la membrana es el principal elemento debido a que esta facilita que los protones lleguen a cámara catódica. Puede estar compuesta por diferentes diseños como; de modo cilíndrico (mayor eficiencia), cuadrada o rectangular (menor eficiencia por el área de las esquinas) de forma apilada de forma horizontal o vertical (Nawaz et al. 2022).

- MFC de una sola cámara

En el caso de las celdas de una sola cámara estas se encuentran estructuras por un solo compartimento en el cual es incorporado tanto ánodo como cátodo que de igual forma se

encuentran separadas por una MIP con la única diferencia que la cercanía de sus componentes incrementa la densidad de potencia mientras que se reduce la resistencia (Nawaz et al. 2022).

- Cámaras anódicas

El ánodo o cámara anódica se encuentra compuesta por un electrodo anódico, microorganismos (biocatalizadores) y un anolito (sustrato, fuente de combustible (Sato et al. 2021)). En el caso del electrodo presente en la cámara ha tenido modificaciones para repotenciar la función del ánodo. Se ha demostrado que los ánodos de carbón de material poroso impregnado de nitrógeno facilitan el crecimiento microbiano y la transferencia de electrones lo que por otro lado incrementa la eficiencia de la MFCs (Nawaz et al. 2022).

- Cámara catódica

La cámara del cátodo es el espacio físico donde se producen los protones que han de moverse a través de la membrana de intercambio de protones (PEM) y donde los electrones reaccionan con el oxígeno. En los últimos estudios se ha usado al oxígeno como el aceptor de electrones en el cátodo debido a su potencial de oxidación, su fácil acceso y su capacidad de no generar residuos químicos más que el agua como producto final (Rahimnejad et al. 2015). Se conoce que se ve limitada las reacciones del cátodo si existe un alto flujo de oxígeno el cual puede relacionarse con la reducción considerable del rendimiento de las celdas debido a que se da una inmovilización de microorganismos en el cátodo (Ferrari et al. 2022).

2.2.3.2 Elementos

- Electrodo

Los electrodos establecidos acorde a su signo de carga se han clasificado en ánodo y cátodo. En electricidad, el ánodo es un electrodo cargado negativamente o el polo negativo, mientras que el polo positivo o electrodo cargado positivamente se define como cátodo. La relación entre ambos electrodos está en la transferencia de electrones desde el ánodo hacia el cátodo por la atracción de cargas donde por la diferencia de potencial se crea una corriente eléctrica (Kiminaité et al. 2022).

- Electrodo usado

Comúnmente los electrodos usados en las MFCs son estructuras a base de carbón lo que incluye filtros, tela o malla de carbón, materiales de grafito, entre otros debido a su alta biocompatibilidad, conductividad y a su rentabilidad económica (Kiminaité et al. 2022). Los electrodos usados dentro de las MFCs deben tener un rango bastante alto respecto a la adhesión bacteriana, la transferencia de electrones y a la eficiencia electroquímica. Tomando en cuenta el bajo costo, flexibilidad y la abundancia el carbono es el material más adecuado para los electrodos (Patwardhan et al. 2022).

- Membrana de Intercambio de Protones (MIP)

Las membranas de intercambio de protones permiten el paso de iones entre la cámara anódica y la catódica. Por lo general, estas membranas son hojas delgadas que sirven de aislante electrónico y conductor de protones. Ésta impide la difusión del oxígeno hacia la cámara anódica que de forma simultánea favorece al paso de protones generados en la cámara anódica hacia la cámara catódica (Rachinski et al. 2010).

- Sustrato

Se ha establecido como sustrato a cualquier material natural en su forma sólida, orgánica o mineral ya sea en su forma pura o mezclada que nos permite el anclaje del sistema cumpliendo con el papel de soporte (Del Ángel Coronel et al. 2019) además de integrar los nutrientes necesarios para el crecimiento microbiano.

- Sustratos usados

El sustrato que ha de ser incorporado dentro de la cámara anódica de las MFCs de composición simple para ser oxidado por la acción microbiana que como resultado se da la transferencia de electrones y la generación de voltaje. La incorporación de sustratos y de cosustratos es uno de los parámetros a tomar en cuenta a la hora de incrementar la producción de energía y en el caso de sustratos con carga contaminante, la reducción de las concentraciones de dicho contaminante será menor al esperado (Cárdenas Robles et al. 2022). Estudios previos han demostrado los efectos del tipo de sustrato orgánico usado, los cuales están resumidos en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1: Densidad de corriente generada en mW/m² acorde al sustrato

Sustrato	Densidad de corriente mW/m ²
Ácido acético	347,85
Sacarosa	74,805
Albumina	8,61
Sangre	2,18
Sustratos mixtos (Mezcla de ácido acético, sacarosa, albúmina y sangre)	6,03
Agua residual	101
Turba	438,116
Agua residual sintética	23,32
Tierra de compostaje	3,16
Lactosa añadida	400,92
Melaza	68
Biol (flujo constante)	16000-13000

Fuente: (Khoirunnisa et al. 2021; Magotra et al. 2020; Narayanan, Selvaraj y Parthasarathy 2012; Rossi, Evans y Logan 2019; Tariq et al. 2021; Dahunsi 2020)

Realizado por: Lagla J., 2023

- Bagazo de la Caña de azúcar

El bagazo de la caña de azúcar es un subproducto de la industria azucarera y cañicultora a pequeña, mediana y gran escala. Este subproducto cubre el 24 a 30% de los residuos del ingenio azucarero. Además, tiene un gran valor económico potencial por su uso en la bioenergía y bioquímica tras pasar por procesos de combustión directa o alternos como la gasificación y pirólisis por su alta eficiencia térmica. El bagazo de caña de azúcar seco se encuentra comprendido por el 40-50% de celulosa, el 24-32 % de hemicelulosa, del 13 a 22 % de lignina y de un 1 a 4 % de otros componentes (Yanto et al. 2016).

Las características fisicoquímicas del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal se encuentran presentada en la Tabla 2-2.

Tabla 2-2: Propiedades del Bagazo de Caña de azúcar Industrial y Artesanal

Propiedad	Bagazo de Caña de Azúcar Industrial		Bagazo de Caña de Azúcar Artesanal
Humedad	Fresco	43,94-44,42 %	57,66
	Almacenado	37,82-39,09 %	
Cenizas	Fresco	15,22-12,43 %	2,14 %
	Almacenado	14,22-10,09 %	
Material Insoluble en ácido	Fresco	5,82 %	1,29 %
	Almacenado	5,63 %	
Materia Orgánica*(Aproxi.100-%ceniza)	Fresco	84,78-87,57 %	97,86 %
	Almacenado	85,05 – 89,91 %	
*Brix (sólidos solubles)	Fresco	1,20 %	6,00 %
	Almacenado	2,00 %	
Fibra detergente ácida (FDA)	Almacenado	52,65 %	35,50 %
Fibra detergente neutra (FDN)	Almacenado	80,57%	56,11 %
Lignina detergente ácida (LDA)	Almacenado	9,74 %	5,70 %
Celulosa	Almacenada	42,91 %	29,80 %
Hemicelulosa	Almacenada	27,92 %	20,61 %
Fibra cruda	Fresco	37,71 %	-
	Almacenado	3,04 %	

Fuente: (Resano et al. 2022)

Realizado por: Lagla J., 2023

2.2.4 *Biol usado como combustible de una MFCs*

La aplicación de un biol dentro del sistema bioquímico se ha realizado mezclando y fermentando por un proceso anaerobio (digestión anaerobia) de residuos de alimentos y vegetales (lignocelulósicos) de las camas de animales para la producción de este líquido de fermentación. El biol captado de forma continua alimenta a modo de combustible a la celda de combustible microbiana. Una de las principales ventajas al usar este tipo de sustrato es la eficiencia, la estabilidad y la eliminación de inhibición metanogénica (Dahunsi 2020).

2.2.5 *Bacterias electrogénicas*

Los microorganismos electrogénicos o eléctricamente activos tienen la función de oxidar los sustratos orgánicos a través del metabolismo bacteriano aplicados en el ánodo de la MFCs con el objetivo de producir protones (H^+) y electrones dentro de la cámara anódica (Banerjee, Calay y Mustafa 2022). Los microorganismos capaces de transferir electrones a un electrodo son denominados exoelectrógenos o electrogénicos, los cuales cuentan con el mecanismo adecuado para trasladar los electrones al ánodo de diversas formas. Los microorganismos de este tipo han

sido clasificados dependiendo de la intensidad de corriente generada en las MFCs como débiles o fuertes (Cárdenas Robles et al. 2022).

La selección de los microorganismos adecuados influye directamente con la eficiencia y rendimiento de las MFCs. Los microorganismos identificados como electrogénicos generarán electricidad si cuentan con un sustrato el cual puedan consumir. Algunos de estos microorganismos han sido estudiados por la energía producida como se muestra en la Tabla 2-3.

Tabla 2-3: Clasificación de microorganismos electrogénicos acorde la intensidad de corriente producida

Microorganismos electrogénicos débiles	Energía producida (mW/m ²)	Microorganismos electrogénicos fuertes	Energía producida (mW/m ²)
<i>Shewanella oneidensis</i>	4,5	<i>Tolomonas osonensis</i>	509
<i>Enterobacter cloacae</i>	5,4	<i>Rhodopseudomonas palustris</i>	2720
<i>Bacillus subtilis</i>	10,5	<i>Escherichia coli DH50α</i>	3800
<i>Gluconobacter roseus</i>	11,0	<i>Geobacter sulfurreducens</i>	3900
<i>Rhodoferrax ferrireducens</i>	33,0	<i>Shewanella putrefaciens</i>	4400
		<i>Delftia acidovorans AR</i>	25602 (pH neutro)

Fuente: (Logan et al. 2019; Mazo Rodriguez 2020)

Realizado por: Lagla J., 2023

2.2.6 Pirólisis

Proceso de quema de biomasa en un medio cerrado (interno) a temperaturas elevadas que van de los 300°C a 900°C a una atmósfera inerte por lo general N₂. Transformación de ciertas biomásas como desechos es convertido en un material con alto contenido de carbón (piro carbón) y puede llegar a ser usado a modo de electrodo potencial con un rendimiento electroquímico igual o mayor al proporcionado por electrodos de origen fósil (Bishir et al. 2021). Este es un ejemplo de los procesos de descomposición de biomasa al igual que la gasificación por calentamiento con microondas, carbonización hidrotermal y la torrefacción.

2.2.6.1 Pirólisis de residuos orgánicos (*bagazo de caña de azúcar*)

La pirólisis se ha considerado como el proceso más común usado para la obtención de biocarbón a partir de biomasa renovable para conseguir electrodos o supercondensadores (Kiminaité et al. 2022). Este proceso aplicado a los residuos orgánicos se da de tipo lento, es decir se aplica el calentamiento en un intervalo prolongado de tiempo con la ausencia de oxígeno con el objetivo de descomponer la celulosa, lignina y hemicelulosa presente en la biomasa teniendo como resultado material poroso como ceniza, biocarbón además de bioaceites y gases sintéticos (Quosai et al. 2018).

La pirólisis-gasificada aplicada en el bagazo de caña de azúcar es uno de los modelos usados como parte de un estudio de la determinación de la cinética de las reacciones de la pirólisis. Como resultados de los estudios previos se ha determinado que en la pirólisis rápida se degrada la celulosa presente en el bagazo entre los 260 a 340 °C mientras que la lignina se degrada entre los 340 a 480 °C. Finalmente, como resultado del proceso se obtiene carbón (Yanto et al. 2016).

2.2.6.2 Biocarbón

Se ha definido al biocarbón como un material sólido derivado de la carbonización de la biomasa, este es el resultado de la degradación termoquímica de la biomasa (Patwardhan et al. 2022). Se crea como producto primario del pirólisis lenta de biomasa y como producto secundario en los procesos de pirólisis rápidas del bioaceite. Las características físicas de este material dependen de la biomasa utilizada, la temperatura añadida al proceso de transformación y la duración de la pirólisis (Quosai et al. 2018).

- Aplicaciones del biocarbón producto de pirólisis

Comparados con materiales de carbón de bajo costo, el biocarbón es un conveniente sustituto de los materiales tradicionales debido a su gran superficie, bajo consumo energético, alta capacidad de intercambio catiónico además de su alta estabilidad en su estructura. El biocarbón puede realizarse a base de varias materias primas incluyendo biomasa lignocelulósica, microalgas y desechos domésticos orgánicos (Patwardhan et al. 2022).

El biocarbón obtenido a partir de biomasa lignocelulósica, microalgas, los desechos como cascaras de banano (Patwardhan et al. 2022), sandía, tallos de caña, flores secas, vertidos de aguas, mazorcas de maíz, cascara de nuez (Li et al. 2021) subproductos forestales, lodos de depuración

entre otros, puede ser incluido en las MFCs. La aplicación del biocarbón dentro de las MFCs va desde una incorporación a las membranas de intercambio de protones, como parte del sustrato de textura porosa, como electrodo o como electrocatalizador. El biocarbón ha sido catalogado como electrocatalizador de las reacciones de óxido reducción (ORR). La principal razón de la aplicación de un electrocatalizador es acelerar la velocidad de las reacciones y reducir el sobrepotencial que suele darse en el cátodo el cual sigue siendo un problema en la eficiencia de las MFCs (Li et al. 2021).

Debido a que su conductividad eléctrica o intercambio de electrones es funcional y adicionalmente es eficaz como mediador inter espacial microbiano cuando las partículas son de gran tamaño nos permite tener un intercambio de electrones a distancias considerables (González Marquetti et al. 2021). Por las notables características del biocarbón sus aplicaciones como ánodo y cátodo en las celdas de combustible microbiano y la eliminación de contaminante a la par de la generación de electricidad resulta tener un gran potencial. Por otra parte, la aplicación de este producto en los procesos de pretratamiento de agua puede ser usado para la eliminación de productos químicos peligrosos antes de iniciar el tratamiento biológico (Patwardhan et al. 2022). Alguno de los resultados del uso del biocarbón dentro de MFCs se presenta en la Tabla 2-4.

Tabla 2-4: Potencial generado acorde a la función del biocarbón en la MFCs

La función de biochar en MFCs	Material	Potencial generado (MW/m ²)
ÁNODO	Biocarbón a base de madera	532-457
	Carbonización de residuos forestales y de molienda	532-457
	Biocarbón modificado con NiFe ₂ O ₄ /PEDOT Biochar	1200 ± 60
	Carbón de bambú	1652
CÁTODO	Biocarbón producido a partir del tallo de la planta de banano y activado con KOH	528,2
	Biochar con cáscara de sandía	0,262
	Biocarbón grafitico a base de madera modificado con óxido de manganeso	187,8
	Biocarbón alterado con KOH de hojas de alfalfa semi carbonizada	1328,9
ELECTRODOS	Carbón activado sobre malla metálica	1255
	Grafito comercial	19,60
	Barras de grafito comercial	24,32
	Barras de grafito reciclado	39,93

Fuente: Patwardhan et al. 2022; Duche Y. y Bahamonde S. 2021

Realizado por: Lagla J., 2023

2.2.7 *Fermentación anaerobia (FA)*

Este es un proceso bioquímico conocido por la eficiencia al momento de transformar materia orgánica en metano (CH_4) el cual puede ser usado en la obtención de energía mecánica, térmica o eléctrica (Torres Trujillo et al. 2021). La fermentación generada por microorganismos como levaduras transforman la glucosa en piruvato por el proceso de glucólisis que posteriormente ha de ser transformado en ácido acético en condiciones anaerobias (Christwardana, Joelianingsih y Yoshi 2021). La fermentación anaerobia por actividad microbiana desarrollada dentro de biodigestores que no son más que contenedores cerrados herméticamente produce biogás y subproductos líquidos denominados biol o digestato dependiendo su estado el cual suele contener altos valores fertilizantes y nutricionales (Carvalho y Casas Cirión 2022).

2.2.7.1 *Digestión anaerobia*

La digestión anaerobia se define como el proceso biológico de alta complejidad en el cual un porcentaje de los residuos orgánicos ya sean animales o vegetales son disgregados, lo que tiene como resultado la emisión de biogás (mezcla de CO_2 y CH_4 con trazas de otros elementos y compuestos), biol y biosol gracias a la acción metabólica de bacterias anaerobias (FAO et al. 2011).

- Etapas de la digestión anaerobia

En la digestión anaerobia, la primera etapa dada por la hidrólisis y fermentación se desintegran las macromoléculas a sus derivados más simples para que los microorganismos presentes puedan usar de esa forma minerales que incrementan el proceso de fermentación. En la segunda fase, conocida como acetogénesis se da la formación de hidrógeno, CO_2 y acetato de donde viene el nombre de la etapa. Estos compuestos formarán parte del gas resultante de la fermentación en progreso. Finalmente, se da la formación de Metano (CH_4) por el proceso de metanogénesis que por lo general es producto de la acción microbiana acetogénica el cual debe ser procesado y caracterizado para poder definir si generará algún impacto en el ambiente al ser eliminado (Guevara Vera 1996).

2.2.7.2 *Biol*

El biol, biofertilizante o abono líquido es el producto de la digestión anaerobia de restos de animales y vegetal. Este biofertilizante se encuentra constituido principalmente por CH_4 , CO_2 y un alto contenido de nutriente (FAO et al. 2011). En la producción de este compuesto se deben

controlar factores como la tasa de carga orgánica y el pH con el fin de tener una tasa de conversión de sustrato ha fluido de fermentación mucho mayor (Dahunsi 2020).

- Biol usado como combustible de una MFCs

La aplicación de un biol dentro del sistema bioquímico se ha realizado mezclando y fermentando por un proceso anaerobio (digestión anaerobia) de residuos de alimentos y vegetales (lignocelulósicos) de las camas de animales para la producción de este líquido de fermentación. El biol captado de forma continua alimenta a modo de combustible a la MFC. Una de las principales ventajas al usar este tipo de sustrato es la eficiencia, la estabilidad y la eliminación de inhibición metanogénica (Dahunsi 2020).

2.2.8 *Sistema de adquisición de datos*

Los sistemas de adquisición de datos son dispositivos usados para medir el voltaje desprendido de un sistema. La medición del voltaje de forma digital nos da como medición final valores eficaces o verdaderos (RMS) de voltaje, su principio de funcionamiento es la transformación de la corriente que tiene una resistencia de derivación que es directamente proporcional a la corriente (Slomovitz et al. 2021). Estos instrumentos surgen de la necesidad de conocer o regular el voltaje de una fuente de energía (MFCs) que tiene como fin identificar el flujo de electrones de un sistema (Novillo Vicuña et al. 2019).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de investigación

3.1.1 *Cuantitativo*

Se seleccionó una investigación basada en un enfoque cuantitativo, debido a que se obtuvo las medidas y se evaluó las variaciones de los resultados. Tales resultados fueron representados por la recolección de datos e información en relación al análisis estadístico y la medición numérica de los datos adquiridos del monitoreo y medición de voltaje producido por cada una de las MFCs, los análisis de laboratorio de la composición de los sustratos usados, pruebas bromatológicas, físico químicas y la reducción de la carga orgánica a través de la medición de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) los cuales fueron valorados de forma numérica y contable.

3.2 Nivel de investigación

El diseño fue de tipo experimental con un nivel de profundización exploratorio, descriptivo y explicativo. Esto debido a que se buscó identificar la influencia que hay entre las variables, dar una explicación del fenómeno monitoreado y analizar los efectos dados por la manipulación de las variables que tuvieron un grado alto de verificación con una medición previa y posterior a la experimentación.

3.2.1 *Exploratorio*

A través del nivel exploratorio de profundización se pudo entender la influencia que tiene el uso de bioproductos del proceso de pirólisis y digestión anaerobia del bagazo de caña de azúcar en la producción de bioelectricidad los cuales no han sido usados de forma conjunta dentro de los sistemas de combustión microbiana. La investigación analizó los fenómenos desconocidos generados a partir de la combinación de los biomateriales dentro de un sistema de bioelectricidad.

3.2.2 *Descriptivo*

A través del nivel descriptivo se pudo especificar las propiedades y las características de los bio productos obtenidos a partir de los procesos empleados para su obtención, ya que este nivel nos

permite definir, especificar propiedades y las características más importantes de los materiales a emplear dentro de una MFCs

3.2.3 Explicativo

En el nivel explicativo se identificó las causas naturales que generan la variación de resultados, este nivel se enfoca en responder a los fenómenos físico, químicos o biológicos que se han desarrollado durante la experimentación realizada en la investigación.

3.3 Diseño de investigación

3.3.1 Tipo experimental

Para el diseño experimental de la investigación se tomó como factores al Biol y lixiviado (sustratos) y al biocarbón y fibra de carbón (membrana de intercambio de protones-MIP) dentro de una MFCs. Se obtuvo un total de 8 tratamientos como se detalla en la tabla 3-1. El trabajo que se realizó referente a las MFCs y al uso de bagazo de caña de azúcar como parte de la membrana y sustrato como parte de un proyecto tipo investigativo, el cual se desarrolló a través del método experimental ya que se basa en la manipulación de variables en escenario de laboratorio ,en la que se observó los componentes principales del objetivo de la investigación para obtener resultados sobre el comportamiento del fenómeno monitoreado (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio 2014).

Tabla 4- 1: Diseño Experimental

Factores	Biocarbón		Fibra	
Biol	MFC-BB-1	MFC-BB-2	MFC-FB-1	MFC-FB-2
Lixiviados	MFC-BL-1	MFC-BL-2	MFC-FL-1	MFC-FL-2
Total	4		4	

Realizado por: Lagla J., 2023

3.4 Selección y cálculo del tamaño de la muestra

3.4.1 Población de estudio

3.4.1.1 Sustrato y membrana

El biocarbón y biol usado como parte de la membrana y sustrato de las MFCs fue el resultado del proceso de pirólisis y fermentación en un biodigestor casero respectivamente del bagazo de la caña de azúcar que fue recolectado en la Finca de la familia Barrionuevo Molina de la parroquia Moraspungo del cantón Pángua de la Provincia de Cotopaxi con un área de cultivo de aproximadamente de 5,19 ha.



Ilustración 3-1: Localización de la Finca Barrionuevo Molina

Realizado por: Lagla J., 2023

3.4.1.2 Inóculo

La cepa de *Delftia acidovorans* y *Citrobacter freundii* considerada un microorganismo electrogénico fue recolectado del banco de microorganismos del laboratorio de ciencias biológicas de la facultad de recursos naturales-ESPOCH debido a sus características para metabolizar este tipo de sustratos y generar electricidad de forma simultánea (Rivas Velez 2022).

3.4.2 Selección de muestra

3.4.2.1 Métodos de muestreo

- Bagazo de caña de azúcar

Para la recolección de muestras de bagazo de caña de azúcar se usó un método aleatorio estratificado hasta obtener una muestra compuesta debido a la distribución de los residuos de bagazo dentro del área de cultivo de la Finca Barrionuevo Molina.

Consistió en dividir el área de la finca considerada para la cosecha y producción de la caña de azúcar a muestrear en 5 estratos (áreas de cosecha) y en cada uno de los estratos se muestreo aleatoriamente (Ver Ilustración 3-2) con el objetivo que al finalizar el muestreo se haya obtenido la cantidad de bagazo necesario para las operaciones siguientes.

Al ir recolectando las muestras estas fueron almacenadas dentro de fundas ziploc que estuvieron previamente etiquetadas con el objetivo de ir pesando e identificando las muestras tomadas por estratos.

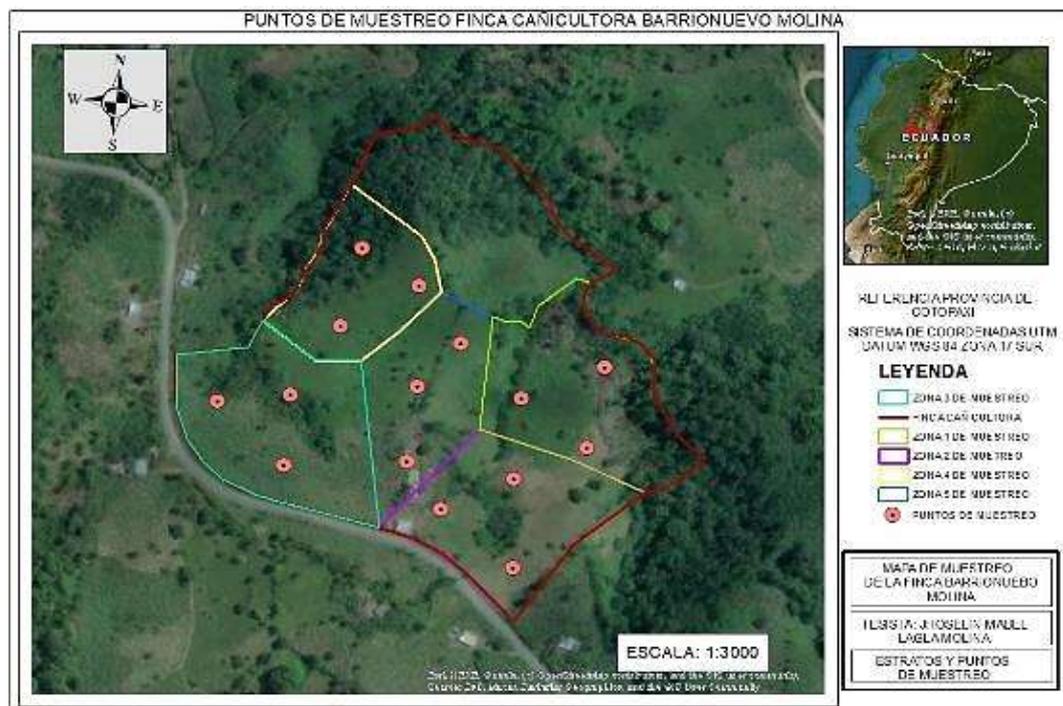


Ilustración 3-2: Mapa de muestreo

Realizado por: Lagla J., 2023

- Microorganismos electrogénicos

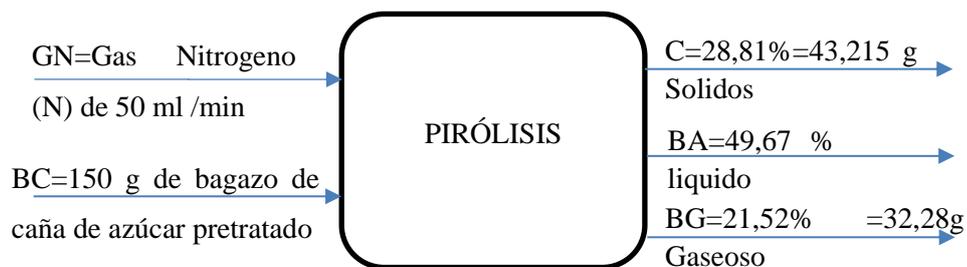
La toma de muestras de los microorganismos se desarrolló con un método no probabilístico en virtud del fin de la investigación. Se usó las cepas *Delftia acidovorans* y *Citrobacter freundii* de microorganismos reconocidos como electrogénicos puesto que la dirección de la investigación es la generación de bioelectricidad.

3.4.3 Tamaño de muestra

3.4.3.1 Biocarbón

Para la implementación de bioproductos dentro de una MFCs se necesitó por experimentación 150 mL de biol como sustrato y 200 g biocarbón para ser impregnado en la membrana de intercambio de electrones.

Se requirió un total de 150 g de muestra de bagazo de caña de azúcar ya procesada por cada proceso pirólitico a desarrollar. Acorde a los datos por investigaciones previas sobre la cinética del pirólisis del bagazo de caña de azúcar se sabe que tan solo el 28,81 al 35,12% de la materia que ingresa al sistema se convierte en biocarbón, del 49,67 al 55,46 % en líquido y el sobrante en gas (Boer et al. 2020). Por tanto, se tiene en cada proceso una estimación teórica como la siguiente:

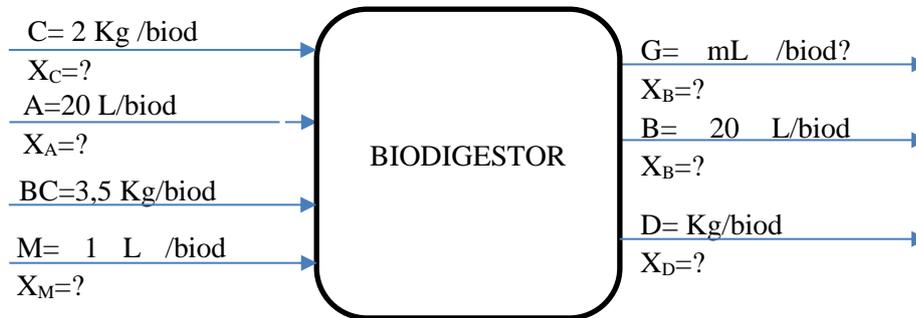


Tomando en cuenta el balance de masa preliminar la pirólisis se debió realizar al menos 6 veces para la obtención de biocarbón requerido para su implementación dentro de las MFCs como parte de la MIP.

3.4.3.2 Biol

Para la obtención de biol se requiere de materia orgánica con un porcentaje de humedad entre el 8 a 9 %, una entrada de agua con un pH básico entre los 7 a 7,5, una presión interna de 1,3 atm y

una temperatura interna inicial de 31°C por experimentación. Por la cantidad requerida se definió el triple de la cantidad para garantizar se obtenga el sustrato suficiente para alimentar las celdas durante todo el periodo de experimentación.



Una vez obtenido el biol del biodigestor de digestión anaerobia se calculó la cantidad de gas que se espera obtener del proceso. Sabiendo que se tiene del diagrama de entradas y salidas previo lo siguiente:

Donde:

A= Agua requerida para obtener Biol.

BC= Bagazo de caña de azúcar (Fibra bruta con un 9% de humedad) para obtener Biol.

G= Biogás.

B= Biol.

C= Ceniza de caldera de destilación de Etanol de la misma Finca.

M= Melaza.

D= Bio sol o bagazo de caña de azúcar no degradado.

3.5 Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

3.5.1 Técnicas de recolección de datos

3.5.1.1 Recolección de microorganismos electrogénicos

Bacterias del género *Delftia acidovorans* y *Citrobacter freundii*, entre otros crecen con mayor facilidad en un agar sangre de carnero al 5%, agar chocolate, agar MacConkey y en medios nutricionales o de Peptona. La mayoría de los microorganismos anteriormente mencionados se incuban a 35°C en condiciones aerobias o de ser el caso en presencia de CO₂ al 5% (Forbes, Sahn y

Weissfeld 2009). La incubación si se da a 32 °C y con agitación constante (200 rpm) puede demorarse entre los 48 a 100 h de incubación (Garavaglia et al. 2006).

Para la preparación del medio de cultivo Buffered Peptone Water se siguió las indicaciones como se precisa en el frasco que incluye la proporción en gramos del medio deshidratado con la porción de agua destilada en litros con la que ha de ser disuelta.

Para la homogenización del medio previo a su esterilización se llevó la botella de preparación de medio a una plancha de calentamiento a 200°C y agitación con la ayuda de un electrodo en velocidades medias con el fin de disolver por completo el medio deshidratado en el agua. El medio ya disuelto se colocó 8 mL en 4 tubos de ensayo y se los tapo para su posterior esterilización dentro de una autoclave por aproximadamente 15 min a 150 °C.

La micropipeta digital, mechero, gradilla con los tubos de ensayo con cultivo ya fríos que salieron de la autoclave, puntas de pipeta, alcohol y todo instrumento a usar se esterilizo en la cámara de flujo durante 15 min con luz UV con el fin de asegurar un área de trabajo libre de bacterias que contaminen los cultivos madre y los medios de cultivo a inocular.

Una vez tomada la muestra de 1000 µL con la pipeta dentro de la zona estéril se inoculo el medio de cultivo y se homogenizo el inoculo con el medio líquido, el cultivo se realizó por duplicado de ambas bacterias y se llevó a incubación durante 12 días a 28°C.

3.5.1.2 Pirólisis de bagazo de caña de azúcar

- Pretratamiento de muestras

La extracción del biocarbón se obtuvo siguiendo la cinética de reacción de la pirólisis-gasificada del bagazo seco de caña de azúcar. Para que el bagazo de caña de azúcar ingrese al sistema de pirólisis se secó al sol durante al menos 72 horas y posteriormente secadas en una estufa a 30°C por al menos 2 horas con el objeto de tener una humedad en un rango entre los 3-5%. Una vez se tiene el bagazo con el porcentaje de humedad adecuada la muestra fue molida con la ayuda de una trituradora eléctrica y se tamiza hasta obtener un diámetro de partícula de un rango entre los 0,2-0,3 mm (Yanto et al. 2016). Para las muestras del estrato 3 y 5 de muestreo se requirió más de 96 horas de secado al sol y las 2 horas dentro de la estufa a 30°C para poder obtener la humedad requerida debido a las condiciones iniciales del bagazo.



Ilustración 3-3: Pretratamiento de muestras; A) Secado, B) Triturado y C) Tamizado

Fuente: Lagla J., 2023

- Proceso de pirólisis

El proceso de pirólisis-gasificado usado llevó la muestra desde una temperatura ambiente hasta los 400 °C con una velocidad de calentamiento de 10 °C/min y un caudal de gas Nitrógeno (N₂) de 50 l/min durante aproximadamente dos horas. En el equipo se seteo (setting) las temperaturas inicialmente hasta los 150 °C y posteriormente de 50 en 50 °C hasta los 400 °C. Durante el proceso se controló la presión hasta los 40 PSI hasta que esta se encontrara constante por al menos 20 minutos en los 400 °C. Tomando en cuenta que la masa de bagazo, seco, molido, pulverizado y tamizado a temperaturas superiores a los 380 °C (Yanto et al. 2016), el peso de biomasa relativamente constante (ya liberado de agua) se convierte el 30-35% (28,81 al 35,12%) en peso en carbón vegetal (Patwardhan et al. 2022). Para el proceso de pirólisis se pueden tomar en cuenta la Tabla 3-2.

Tabla 4-2: Parámetros cinéticos de reacción de Pirólisis

Muestra	Proceso	Constante de reacción; k(s ⁻¹)	Orden de reacción (n)	Rango de temperatura (°C)
Bagazo seco al sol	Pirólisis lento	15,348	5,245	260-340
	Pirólisis rápido	0,065	0,356	340-480
Bagazo seco por torrefacción seca	Pirólisis lento	17,167	5,040	260-340
	Pirólisis rápido	0,145	0,553	340-480

Fuente: Yanto et al. 2016

Realizado por: Lagla J., 2023



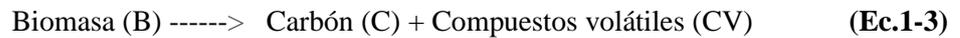
Ilustración 3-4: Equipo de pirólisis; A) Equipo y B) Interior del reactor

Fuente: Lagla J., 2023

Cálculos:

Para poder calcular la conversión de biomasa en carbón se planteó las siguientes ecuaciones basándonos en el principio básico del balance de masa de un sistema:

- Reacción de balance de biomasa acorde a la materia que ingresa al sistema de pirólisis y se convierte en material volátil y biocarbón aprovechable.



- Tasa de descomposición de la biomasa sabiendo que depende del peso de biomasa sin reaccionar.

$$\frac{dm_b}{dt} = -k(m_b - m_c)^n \quad \text{(Ec.2-3)}$$

$$X = \frac{(m_o - m_B)}{(m_o - m_c)} \quad \text{(Ec.3-3)}$$

$$\frac{dX}{dt} = K(1 - X)^n \quad \text{(Ec.4-3)}$$

Donde:

m_B = Peso de la biomasa en un tiempo determinado (Dato obtenido por prueba en laboratorio en 1,5 h de reacción se obtuvo una biomasa de 98 g)

m_o = Peso de biomasa inicial

m_c = Peso del biocarbón al final de la reacción

k = Constante de reacción (s^{-1})

n = Orden de la reacción

X = Tasa de descomposición de biomasa (g)

t = Tiempo estimado (s)

3.5.1.3 Biodigestión anaerobia para la obtención de biol de bagazo de caña de azúcar

Se constituyó un equipo de 50 L de capacidad de polietileno con sellado hermético que permitió el desarrollo de la fermentación anaerobia con 3,5 kg bagazo de caña de azúcar, 2,5 kg ceniza de la misma caldera donde se realiza la destilación en la Finca Barrionuevo Molina, 1L de melaza y una inyección de 20 L agua para mantener la humedad con el propósito de obtener biosol, biogás y biol durante el proceso de fermentación en el que se estimó un tiempo de retención de 50 días a partir del 16 de noviembre al 5 de enero del 2023 (VER ANEXO A).

En la tapa del digestor se le adaptó el manómetro de presión para controlar la presión interna del biodigestor y un medidor de pH, temperatura y humedad digital para monitorear los parámetros con mayor facilidad y tener las condiciones óptimas para desarrollar la digestión anaerobia.



Ilustración 3-5: Biodigestor

Fuente: Lagla J., 2023

Cálculo:

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$A + BC + M + C = G + B + D \quad \text{(Ec.5-3)}$$

Donde:

A= Agua requerida para obtener Biol ($\rho=1$ Kg/L)

BC= Bagazo de caña de azúcar (Fibra bruta con un 9% de humedad) para obtener Biol.

G= Biogás

B= Biol (Dato medido en laboratorio al finalizar la digestión $\rho=0,9602$ Kg/L)

C= Ceniza de caldera de destilación de Etanol de la misma Finca

M= Melaza (Dato de su empaque comercial $\rho=1,39$ Kg/L)

D= Biosol o residuos sólidos de la digestión.

3.5.2 Métodos e instrumentos

3.5.2.1 Configuración de MFCs

Las MFCs fueron de configuración simple con el cátodo expuesto parcialmente al aire ambiente, elaborado a base de acrílico de 6 mm y 9 mm de espesor acorde al diseño. La cámara anódica fue de forma cilíndrica con un volumen de 250 mL, en la cámara anódica se incorporó tapones de caucho para la incorporación de los sustratos (nutrientes) y la eliminación de aire interno. En el cátodo se colocó las membranas de fibra de carbono tratadas como captadora de electrones. El ánodo se estructuró a partir de láminas de similares propiedades acorde al diseño experimental ya sea de fibra de carbono o de fibra de carbono impregnada de biocarbón colocadas una sobre otra. Las cámaras (anódica y catódica) se fijaron con tornillos galvanizados de 3,4 cm de longitud. La configuración de la celda se representa en la Ilustración 3-6.

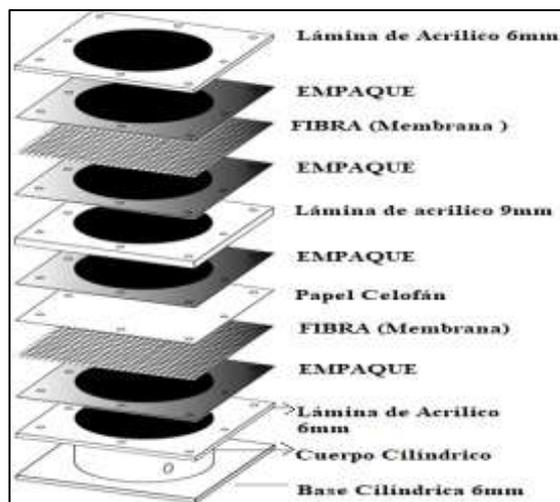


Ilustración 3-6: Configuración de las MFCs

Fuente: Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático (GIDAC), 2023

3.5.2.2 *Sustratos incorporados*

- Biol

Una vez obtenido el biol del proceso de fermentación con digestión anaerobia se incorpora a modo de sustrato dentro de las celdas designadas con un volumen de 250 mL por cada una. A las celdas se adicionó con la ayuda de una jeringa agua Tesalia necesaria si en la operación de las MFCs si el sustrato disminuye. A esta forma de adición del sustrato se conoce como discontinua o intermitente.

- Lixiviado de frutas y vegetales

Para la obtención el lixiviado se colocó los residuos en un recipiente grande y resistente para poder aplicar presión manual hasta que estos residuos segreguen un líquido de color verdoso a amarillento. Una vez se obtiene un volumen de 3 L de lixiviado, se incorporó a las MFCs con la misma capacidad en las que se procuró mantener el volumen de sustrato completo añadiendo agua Tesalia igual que en el biol.



Ilustración 3-7: Obtención del lixiviado de frutas y verduras; A) Frutas y verduras recolectadas y B) obtención de lixiviado

Fuente: Lagla J., 2023

3.5.2.3 *Preparación de la cámara anódica*

Para la inoculación de la cámara anódica de la MFCs se añadió 1mL de Bacterias del género *Delftia acidovorans* y 1 mL de *Citrobacter freundii* obtenidas de su magnificación a partir del banco de microorganismos del laboratorio de ciencias biológicas de la facultad de recursos naturales-ESPOCH. Una vez obtenido el inóculo se incorporó en cada una de las celdas que contenían los sustratos definidos (lixiviados y biol) hasta tener las 8 celdas definidas para la experimentación en la presente investigación.

3.5.2.4 *Membrana de biocarbón*

Se cortó la membrana de carbón a un diámetro de 7 x 7 cm, se cubrió de forma homogénea la membrana con pegamento conductor tratando de que se tenga una capa fina del fijador con la ayuda de un pincel y se recubrió totalmente con 20 g biocarbón por ambos lados de la membrana. Se secó durante 30 minutos a temperatura ambiente el pegamento con el biocarbón, se envolvió la fibra impregnada con papel aluminio para evitar que se adhiriera al material y se prensó entre dos placas de madera procurando que se mantenga la presión por al menos un día.

Para verificar la conductividad eléctrica de la membrana se realizaron pruebas de conducción usando un circuito simple de corriente continua compuesto por una fuente de alimentación variada a 10 voltios y 0,01 amperios, cables conductores de cobre y pinzas de circuitos. Para la verificación de la conducción y cálculos de la resistencia del material se usó como instrumento un multímetro digital con sus respectivos testeos eléctricos.

3.5.2.5 *Pre- tratamiento de las membranas*

El proceso de pretratamiento de las membranas se realizó con el fin de eliminar en gran porcentaje las impurezas que pudieran tener los tejidos. Se cortaron las fibras requeridas para las 8 celdas de 7 x 7 cm acorde al diseño establecido. Las membranas se sumergieron durante 8 horas en 280 mL acetona industrial, una vez culminado el proceso se lavó 5 veces con agua Tesalia para eliminar residuos del disolvente. Con una solución previamente preparada con 50 g de sulfato de amonio y 250 mL de agua Tesalia se sumergió las fibras por 15 minutos y posteriormente se sumergieron 250 mL de ácido sulfúrico del 10% por el mismo tiempo. Finalmente, las fibras tratadas se secaron en un horno mufla por 10 minutos a 400 °C. Las fibras ya secas se lavaron con agua Tesalia.

Por otro lado, se trataron a la par las fibras que formaron parte del cátodo simplemente con lavados de agua destilada. Una vez culminado los dos procesos tanto para las fibras usadas para el ánodo como para el cátodo estas fueron almacenadas en fundas Ziploc limpias para su posterior uso.

3.5.2.6 *Análisis de la fibra de carbono y biocarbón añadido*

Con el fin de caracterizar las estructuras morfológicas microscópicas se realizó una visualización de imágenes microscópicas avanzadas en un equipo de microscopía electrónica de barrido (SEM)- (scanning electronic microscope, SEM) JEOL JSM-IT100. Las visualizaciones de las imágenes se lograron con voltajes de 15 KV a 20 KV, aumento x 1400 a 350, magnificación y distancias de 50 μm y 10 μm .

3.5.2.7 *Análisis bromatológicos de los sustratos*

Una vez obtenidos los sustratos (Biol y Lixiviados) a incorporar dentro de las MFCs se realizó los análisis bromatológicos antes y después de la experimentación. En la Tabla 3-3: se especifica los análisis y metodologías empleadas que en el detalle se menciona en el ANEXO B.

Tabla 4-3: Análisis bromatológicos de los sustratos

Prueba	Tipo de muestra	Metodología
Ceniza	Sólido	Mediante la determinación de cenizas se realiza una eliminación total de la materia orgánica pasando por un proceso de calcinación a una temperatura de 550 °C que por medio de gravimetría se puede definir el porcentaje constituido para materia inorgánica y mineral de la muestra.
	Líquido	
Humedad Higroscópica	Sólido	Se realizó una deshidratación total de la muestra conociendo el peso de inicial para poder conocer el porcentaje de humedad realizando una diferencia de pesos.
	Líquido	
Extracto etéreo	Sólido	Se hizo una extracción de compuestos lipídicos mediante la aplicación de hexano por evaporación que al pasar por un proceso de separación de compuestos solubles son recogidos en un beaker.
	Líquido	
Fibra cruda	Sólido	El análisis se realizó aplicando a la muestra una digestión ácida y básico de forma constitutiva con el fin de eliminar las grasas y proteínas existentes y así obtener un residuo conformado principalmente por carbohidratos complejos.
	Líquido	
Proteína Total	Sólido	La prueba realizada se divide en tres fases; la digestión, destilación y titulación. La fase de digestión son procesos de oxidación de la materia orgánica, la reducción del nitrógeno amoniacal y orgánico continuando con una destilación alcalina y una titulación con una solución ácida de concentración conocida.
	Líquido	
Extracto libre de nitrógeno	Sólido	El cálculo de este parámetro fue el resultado de la diferencia con los compuestos digeribles y los compuestos que en su estructura molecular no contienen nitrógeno.
	Líquido	

Realizado por: Lagla J, 2023

3.5.2.8 Análisis físicos Químicos de los sustratos

Se realizó una caracterización fisicoquímica de los sustratos previos y al finalizar la experimentación los cuales se describen en la Tabla 3-4 y con mayor detalle en el ANEXO C.

Tabla 4-4: Análisis fisicoquímicos de los sustratos

Prueba	Tipo de muestra	Metodología
pH, Conductividad eléctrica y temperatura	Líquido	Su medición se realizó con la ayuda de un potenciómetro de forma directa, recordando que el electrodo debe ser lavado previo a la lectura de cada muestra. Los valores medidos por triplicado fueron promediados para cada sustrato, considerando a este valor finalmente como el resultado.
DBO	Líquido	Se midió el requerimiento de los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable de las muestras las cuales fueron digeridas por cinco días en el equipo DBOLovibond.
DQO	Líquido	La prueba de DQO se realizó por el método colorimétrico a muestras diluidas, iniciando con una la fase de digestión usando un Kit de oxidación de 20-1500 mg/L y calor (160 °C). Al finalizar esta fase se hizo una medición en el espectrofotómetro.
Nitrógeno amoniacal	Líquido	Se analizó el nitrógeno amoniacal en muestras diluidas por el método colorimétrico de Nessler aplicando un estabilizador mineral, un agente dispersante (alcohol polivinílico) y el reactivo Nessler. Los compuestos añadidos al reaccionar con el amoniaco presente en la muestra incrementan la intensidad de color amarillento que fue medido en el espectrofotómetro.

Realizado por: Lagla J., 2023

3.5.3 Sistema de adquisición de datos

Los datos de voltaje de las MFCs fueron leídos y almacenados por un sistema de adquisición de datos (ARDUINO programado acoplados a Circuitos ADS 1115) con una frecuencia de medición de voltaje cada 60 segundos durante un periodo de 15 días o ciclos de 24 horas.

3.5.4 Tasa de remoción o incremento de contaminante

El cálculo la tasa de remoción o incremento se estimó con el fin de conocer la eficiencia en la degradación de la materia orgánica e inorgánica presente en los sustratos usados dentro de las celdas por la acción de las cepas combinadas de bacterias electrogénicas a la par de la generación de bioelectricidad. El cálculo de la tasa de remoción o incremento de contaminantes se calculó aplicando las siguientes relaciones.

$$C_{\text{contaminante}} (\%) = \frac{(P_i) - (P_f)}{P_i} * 100 \quad (\text{Ec.6-3})$$

$$C_i_{\text{contaminante}} (\%) = \frac{(P_f) - (P_i)}{P_i} * 100 \quad (\text{Ec.7-3})$$

Donde:

C = Tasa de remoción del contaminante (%).

Ci= Tasa de incremento del contaminante (%)

Pi = Parámetro inicial medido del contaminante (mg/L ó ppm).

Pf = Parámetro final medido del contaminante (mg/L ó ppm).

3.5.5 Lugar Experimental

Las actividades desarrolladas del trabajo de investigación realizadas en condición de laboratorio se detallan en la Tabla 3-5.

Tabla 4-5: Lugares usados en las actividades necesarias para experimentación

Actividad	Facultad	Laboratorio
Secado de muestras	Ciencias-ESPOCH	GIDAC
Pretratamiento de membranas.		Operaciones Unitarias
Triturado de muestras		
Pirólisis		
Análisis Físicoquímicos		
Análisis bromatológicos de sólidos		Investigación y GAIBAQ-Grupo Asociado de Investigación en Biotecnología, Ambiente y Química.
Cultivo, inoculación y armado de MFCs.	Recursos Naturales-ESPOCH	Ciencias biológicas
Análisis	Laboratorio externo	
Caracterización bromatológica de sustratos-Líquidos	Laboratorios Total Chem.Lab- Ambato	

Realizado por: Lagla J., 2023

3.5.5.1 Materiales de experimentación

Los materiales usados en las distintas etapas de la experimentación se especifican en la tabla 3-6.

Tabla 4-6: Materiales de experimentación.

Etapas	Equipos y materiales	Cantidad
Obtención y recolección de sustrato y membranas.	Balanza de mano	1
	Balanza en gramos	1
	Biodigestor (50 L de capacidad)	1
	Fundas Ziploc 23 x 33 cm	25
	Fundas Ziploc 16.5 x 14 cm	14
	Bandejas de aluminio	5
	Guantes	12 pares
	Paños de Limpieza	10
	Fundas de basura medianas	8
	Soluciones desinfectantes	5
	Papel aluminio	1
	Prensa de madera	1

	Pegamento conductor	1
	Fuente de alimentación variada	1
	Cubeta	1
	Cajas de cartón	2
	Taype	1
	Galones de agua destilada	1
	Botellas de agua Tesalia	1
	GPS de mano	1
	Teflón grueso	1
	Termómetro de Hg de 360 °C	1
	Cámara fotográfica	1
	Vaso de precipitación de 50 mL	1
	Manómetro de 0 a 100 psi	1
	Medidor de pH y Humedad digital	1
	Cinta aislante (-10%)	1
	Neplos de polipropileno de ½ '' x 15 cm (-10%)	2
	Abrazaderas de ½ '' de acero	2
	Válvulas esféricas o de bola ½ '' de gas	2
	Válvula esférica o de bola de ½ '' de PVC estándar	2
	Adaptadores de tanque de reserva de ½ ''	4
	Reducciones Bushir's ¾ a ½ ''	2
	Adaptador de ½ '' para Manómetro	1
	Manguera de gas (1m)	1
	Recipiente de 50 L y 6 L	1
	Corchos de goma	2
Ensamblaje de MFCs	Tijeras	1
	Tapones de caucho	8
	Tornillos galvanizados de 3,4 cm	32
	Lagartos de conexión medianos	16
	Piezas de acrílico según modelo	24
	Tejido de fibra de carbón de 0,015 in de espesor	Trozo de 1,6m x 1,60m
	Cauchos de 7,5 x 7,5 cm	32
	Cable de cobre de 0,6 mm	6 m
	Guantes	3 pares
	Papel celofán	1 pliego
	Alicate	1
Cortador de alambre	1	
Adquisición de datos	Arduino UNO	1
	Laptop	1
	Circuito ADS 1115	4
	Multímetro Digital DT 9205 A AC/DC	1
	Lagartos de conexión medianos	2
	Cable de cobre de 0,6 mm	2 m
	Protoboard de 2 canales pequeño	1
Cables Dupont Protoboard-Arduino	4 pares	

Realizado por: Lagla J., 2023

3.5.5.2 Equipos, materiales y reactivos de laboratorio

Los equipos, materiales y reactivos usados en el laboratorio en las diferentes etapas se detallan en la Tabla 3-7.

Tabla 4-7: Equipos, materiales y reactivos usados de laboratorio.

Etapas	Equipos y materiales	Cantidad	Sustancias y Reactivos	
Obtención y recolección de sustrato y membranas.	Balanza en gramos	1	Agua destilada (1 galón)	
	Reactor de pirólisis	1	250 mL de ácido sulfúrico del 10%	
	Trituradora eléctrica	1	250 mL de agua tesalia	
	Tamices	1	50 g Sulfato de amonio	
	Estufa	1	280 mL Acetona industrial	
	Fuente de alimentación variada	1		
	Mufla	1		
	Piseta	1		
Ensamblaje de MFCs	Cámara de flujo	1	Agua destilada (1 L)	
	Micropipetas	1	Alcohol	
	Mechero	1	Medio de cultivo Buffered Peptone Wter	
	Gradilla	1		
	Incubadora	1		
	Probetas 100mL	2		
	Autoclave	1		
	Pipetas	8		
	Baso de precipitación	2		
	Tubos de ensayo	4		
	Jeringas de 10 mL	2		
	Plancha de calentamiento	1		
	Puntas de micropipetas	4		
	Análisis de Laboratorio	Mufla		1
Crisoles		8		Ácido sulfúrico Concentrado al 97% de pureza
Balanza analítica		1	Sulfato de amonio	
Estufa		1	Hexano	
Equipo de Goldfish		1	Alcohol-n-amílico	
Equipo Micro Kjeldahl marca J.P Selecta		1	Hidróxido de sodio	
Kitasato		8	Agua destilada (8L)	
Vasos de precipitación		8	Indicador mixto (rojo de metilo y verde de bromocresol)	
Erlenmeyer		8	Ácido bórico al 4%	
Potenciómetro		1	Ácido clorhídrico	
pH metro		1	Solución de digestora de DBO	
Balones de aforo de 100 mL		15	Kit de análisis de DQO de 20 a 1500 mg/L	
Balones de aforo de 500mL		8	Reactivo Nessler	
Equipo de DBO Lovibond		1	Agente dispersante de Alcohol	
Equipo de digestión.		1	Estabilizante de minéraux	
Probetas de 100 mL		8		
Probetas de 25 mL		8		
Espectrofotómetro		1		
Espray de aire comprimido		1		
Microscopio electrónico de barrido (SEM)-(scanning electronic microscope, SEM) JEOL JSM-IT100		1		

Realizado por: Lagla J, 2023

3.5.6 Modelo estadístico

3.5.6.1 Hipótesis Textual

Las celdas de combustible microbianas con biol y biocarbón inciden en la producción de bioelectricidad y en la remoción de cargas orgánicas contaminantes.

3.5.6.2 Hipótesis Estadística

$$H_0: \delta VMFC-BL = \delta VMFC-FL = \delta VMFC-BB = \delta VMFC-FB$$

$$H_a: \delta VMFC-BL \neq \delta VMFC-FL \neq \delta VMFC-BB \neq \delta VMFC-FB$$

Donde:

$\delta VMFC-BL$: Voltaje generado por *Delftia acidovorans* y *Citrobacter freundii* en MFCs con lixiviado como sustrato y fibra de carbón impregnada de biocarbón como membrana de intercambio de protones.

$\delta VMFC-FL$: Voltaje generado por *Delftia acidovorans* y *Citrobacter freundii* en MFCs con lixiviado como sustrato y fibra de carbón como membrana de intercambio de protones.

$\delta VMFC-BB$: Voltaje generado por *Delftia acidovorans* y *Citrobacter freundii* en MFCs con biol como sustrato y como membrana de intercambio de protones de fibra de carbón impregnada de biocarbón.

$\delta VMFC-FB$: Voltaje generado por *Delftia acidovorans* y *Citrobacter freundii* en MFCs con biol como sustrato y fibra de carbón como membrana de intercambio de protones.

- Variables dependientes

Producción de bioelectricidad.

Remoción de la carga orgánica.

- Variables Independientes

MFCs con bagazo de caña de azúcar y bacterias electrogénicas.

- Variables Intervinientes

Condiciones físicas, ambientales y sépticas de laboratorio y lugar de experimentación.

Cepas de microorganismos inoculados.

Reacciones metabolismo por microorganismos propios de los sustratos.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Procesamiento y discusión de resultados.

4.1.1 *Microorganismos electrogénicos*

Los resultados de las cepas de microorganismos electrogénicos empleados en la experimentación de las MFCs se detallan en la Tabla 4-1.

Tabla 4-8: Cultivo de microorganismos usados

Cepas	Temperatura de incubación (°C)	Medio de cultivo	Volumen	Tiempo de incubación (Días)
<i>Delftia acidovorans</i>	28	Buffered Peptone Wter	8 mL	12
<i>Citrobacter freundii</i>			8 mL	

Realizado por: Lagla J., 2023



Ilustración 4-1: Cultivo e inoculación de microorganismos; A) Cultivo de microorganismos, B) Incubación de microorganismos y C) Esterilización y armado de MFCs

Fuente: Lagla J., 2023

La cepa *Citrobacter freundii* fue seleccionada por su facilidad de crecimiento en sustratos con contenidos de acetato, glucosa, glicerol, lactosa y por su reciente clasificación como electrogénica que ha favorecido en la obtención de corriente en las MFCs siendo aislada en cámaras anódicas alimentadas con sustratos (Becerril-Varela et al. 2021). De igual forma, recientes investigaciones sobre el rendimiento de la generación de energía de ánodos anaerobios y aerobios consideran a la *Delftia acidovorans* como bacteria electrogénica aislada de piezas de electrodos de MFCs enriquecido con glicina, glicerol y glucosa y lodos activos (Slate et al. 2019; Chen, Chen y Chung 2014).

El cultivo de los microorganismos se realizó en diferentes tubos de ensayo con el objetivo de inocular las MFCs con 1mL por cepa hasta tener un co-cultivo en cada unidad de experimentación. El uso de co-cultivos se realizó con el fin de mejorar la aplicación de bacterias electrogénicas en las tecnologías para la producción de bioenergía, esta estrategia resulta eficiente a la hora de tratar compuestos orgánicos complejos debido a las interacciones simbióticas entre las cepas microbianas las cuales se traducen en la fortaleza de la operación de las MFCs en sus reacciones de oxidación anódicas (Sharma et al. 2023). Las interacciones microbianas entre bacterias electrogénicas y fermentativas en celdas alimentadas con sustratos simples han tenido resultados favorables en la generación de energía debido a las relaciones entre las bacterias gramnegativas y grampositivas en comparación con una sola cepa bacteriana sin embargo se ha tenido resultados desfavorables en relación al crecimiento de la biopelícula si la relación entre las bacterias fuese antagonica (Islam et al. 2020).

4.1.2 Biocarbón

Al finalizar cada proceso se obtuvo a partir de 150 g de muestra con 0,5 L/min de Gas de Nitrógeno entre 55 a 65 g de biocarbón aprovechable para la impregnación de membrana de intercambio de protones y al menos 32,28 g de biogás y 93,22 g de bioaceite si se realiza el proceso de condensación a los gases de salida del reactor pirolítico.



Ilustración 4-2: Biocarbón obtenido de la Pirólisis

Fuente: Lagla J., 2023

En cada uno de los procesos pirolíticos se consiguió una variación del balance de masa expresada acorde a la ecuación 1. Considerando que la densidad del gas nitrógeno es de 0,81 g/ml (0,81 Kg/L).

$$(0,5 L * 0,81 \frac{Kg}{L}) + (0,15 Kg) = 0,065 Kg + 0,09322 Kg + BA$$

$$BA = 0,397 Kg$$

Teniendo de forma estimada a ser aprovechada de bioaceite de 0,397 Kg/ por cada proceso, el cual puede ser usado dentro de futuras investigaciones como combustible si se realiza el proceso de condensación de gases el cual se puede calcular como compuestos volátiles a ser condensados acorde a la siguiente deducción.

La conversión de masa dentro del reactor se rige al balance de biomasa acorde a la materia que ingresa al sistema de pirólisis y se convierte en material volátil (CV) y biocarbón aprovechable (Ec.2-3).

$$150 g (B) \text{ -----} > 60 g \text{ promedio (C) + X (CV)}$$

$$X = 90 g$$

Se tiene que 90 g de Compuestos volátiles por muestra pueden ser condensados para la obtención de bioaceite. Conociendo el peso de biomasa a reaccionar y que se realizó una pirólisis rápida de bagazo seco al sol y temperatura ambiente se estimó para el proceso una tasa de descomposición dentro del reactor usado fue de 0,0478 g de biomasa es descompuesta por segundo siguiendo la Ec. 3-3 y 4-3.

$$X = \frac{(150g - 98g)}{(150g - 60g \text{ promedio})} = 0,578g$$

$$\frac{dX}{dt} = 0,065 s^{-1} (1 - 0,578g)^{0,356}$$

$$\frac{dX}{dt} = 0,0478 \frac{g}{s}$$

De la masa obtenida se impregnó 20 g en cada membrana en la superficie de ambas caras con un total de superficie cubierta de 98 cm² lo cual se puede traducir, que por cada proceso de pirólisis se lograría cubrir al menos 294 cm² de la membrana para repotenciar la MIP en la generación de energía. Acorde a los estudios previos sobre los costos de la construcción de MFCs se sabe que más el 50% de su valor es consumido por los materiales usados como conductores de electrones lo cual ha visto la necesidad de buscar nuevos materiales y catalizadores de electrodos en reacciones de reducción de oxígeno (ORR) para repotenciar la producción de bioelectricidad con materiales de bajo costo, persistente ante bioincrustaciones y catalíticamente activo que favorezca la cantidad de potencia de salida de las MFCs (Li et al. 2021).

El biocarbón es un material sólido que ha sido usado en la estabilización de suelos contaminados, tratamiento de aguas residuales, la generación de energía dentro de pilas de combustible y en supercondensadores. Dentro de las MFCs el biocarbón ha sido usado como un electrodo de forma individual, como un electrocatalizador y como material para la membrana de intercambio de protones (MIP) la principal razón de su aplicación es por su alta porosidad, amplia superficie de contacto y ligereza (Patwardhan et al. 2022).

4.1.3 Biol

Como resultado de la biodigestión anaerobia realizada a partir del bagazo de caña de azúcar por un periodo de 50 días se obtuvo como productos un total de 11,2 L de biol, 10,7 Kg de biosol y un estimado de biogás de 5,936 Kg dentro del digestor que contaba con una capacidad máxima en volumen de 50 Valores calculados a partir de la Ec.5-3.

$$\left(20 \frac{L}{\text{biol}} * \frac{1\text{kg}}{L}\right) + \left(3,5 \frac{\text{Kg}}{\text{biol}}\right) + \left(1 \frac{L}{\text{biol}} * 1,39 \frac{\text{Kg}}{L}\right) + \left(2,5 \frac{\text{kg}}{\text{biol}}\right) = G + \left(11,2 \frac{L}{\text{biol}} * 0,9602 \frac{\text{Kg}}{L}\right) + 10,7 \frac{\text{kg}}{\text{biol}}$$

$$G = 5,936 \text{ kg/ biogás}$$



Ilustración 4-3: Productos de la digestión anaerobia; A) Biosol, B) Biogás en una trampa de gas y C) Biol

Fuente: Lagla J., 2023

Durante el periodo de digestión se tuvieron temperaturas mínimas de 15 °C y máximas de 45 °C y pH que varió de entre los 6,6 a los 7,4. Como proceso de control se analizaron las propiedades fisicoquímicas y bromatológicas previo y posterior al uso del biol dentro de las MFCs.

La digestión anaerobia se ha considerado como uno de los tratamientos más ventajoso a la hora de tratar residuos con alta carga contaminante orgánica, compuestos fosforados, nitrogenados y como mecanismo de recuperación energética de la biomasa. Estudios previos han demostrado que

al suministrar los efluentes de digestores anaerobios (ADE) en un sistema electroquímico se puede aprovechar la degradación de macromoléculas por microorganismos reduciendo considerablemente la presencia de amoníaco, fósforo, magnesio, DQO, nitrógeno total y DBO con recuperación energética que en la actualidad convencionalmente son tratados por deshidratación y la porción soluble es tratada nuevamente por un tren de tratamiento teniendo un gasto energético y no un aprovechamiento (Yoshizu, Kouzuma y Watanabe 2023).

4.1.4 Configuración

La configuración simple de cátodo expuesto fue usada con el propósito de mantener las reacciones de reducción electroquímicas donde se asegura la reducción del oxidante (oxígeno) de forma continua.

4.1.4.1 Sustratos

Tanto la obtención del biol como de lixiviado provienen de su base sólida las cuales determina las propiedades de los sustratos a usar dentro de las MFCs. Los resultados de los análisis bromatológicos nos proporcionaron la información de las características nutricionales de las bases sólidas para la obtención de los sustratos previas a su obtención, como se detallan en la Tabla 4-2.

Tabla 4-9: Análisis bromatológicos de la base sólida de los sustratos

Base sólida/ Análisis	Ceniza (%)	Humedad Higroscópica (%)	Extracto etéreo (%)	Fibra cruda (%)	Fibra cruda (base seca) (%)	Proteína total (%)	Extracto libre de nitrógeno (%)
Residuos (LIXIVIADOS)	27,6272	3,7005	0,074	0,3957	0,4109	0,1713	67,6204
Biosol (BIOL)	76,1713	1,5219	0,11	0,4341	0,4409	0,0274	21,2944

Fuente: Informe de resultados de Laboratorio Total Chemb y Lagla J., 2023

Realizado por: Lagla J., 2023

Se tiene como resultado un mayor porcentaje de ceniza en la base sólida del Biol lo que denota la presencia de compuestos inorgánicos minerales como el Fe, Ca, cloruros y fosfatos que pueden ser producto de los procesos metabólicos de fermentación dentro del biodigestor y por el porcentaje proporcionado por los elementos del bagazo de caña de azúcar por cultivo artesanal (Resano et al. 2022)-Tabla 4-9 usado como base de la digestión. La presencia de mayor porcentaje

de la fibra cruda en el biosol se estima debido al desarrollo de la digestión ácida dada para la extracción de azúcares y almidón; y la básica realizada por los microorganismos para la desnaturalización de proteínas, fraccionamiento de lignina y hemicelulosa los cuales resultan ser elementos característicos de la misma base de bagazo. Los mínimos porcentajes de proteína total para ambos sustratos con un valor no mayor a 0,17 % para los residuos de verduras y frutas usadas en la obtención de lixiviados muestra que puede existir alteraciones en las funciones enzimáticas como la actividad de la ureasa que afectaría al desarrollo biológico dentro del proceso (Casanova Pavel y León Mendoza 2021) .El porcentaje de extracto etéreo definido para ambas bases sólidas de los sustratos, nos muestra el bajo contenido de compuestos lipídicos tanto en las frutas y verduras usadas para extracción del lixiviado como en el biosol parte solida de la digestión del biol. Finalmente, el extracto libre de nitrógeno, de 67,62 % de la base sólida del lixiviado nos indica el contenido de vitaminas, azúcares, carbohidratos digeribles y macromoléculas solubles que pueden ser transformados a energía por procesos de glucólisis, mientras que en el biosol solo se tiene el 21,29 % lo que se asociaría al contenido en su mayoría de celulosa mas no de compuestos orgánicos digeribles.

4.1.4.2 Membranas

Las membranas anódicas constituidas por fibra de carbón impregnada de biocarbón, previo a su uso, fueron sometidas a pruebas de resistencia de conducción eléctrica obteniendo como resultados valores de resistencia de hasta 634,14 Ω y la fibra de carbón de tan solo 191,80 Ω . Sin embargo, se sabe que la capacidad de la conducción de electrones del biocarbón puede incrementar por su área de contacto superficial que beneficia la formación de la biopelícula debido a su biocompatibilidad, lo que le ha convertido al carbón en un excelente aditivo anódico (Patwardhan et al. 2022).

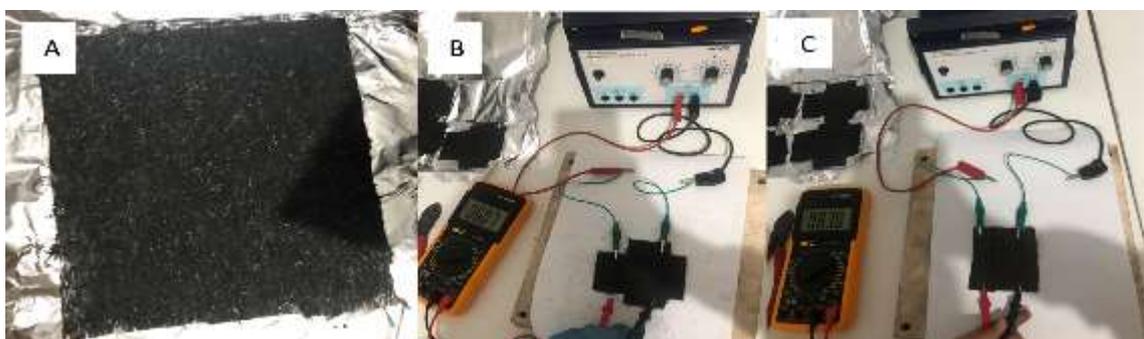


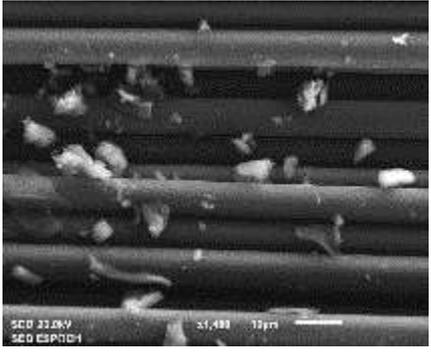
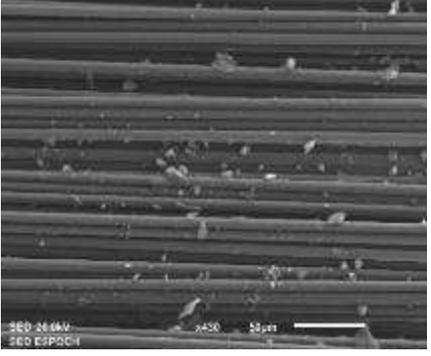
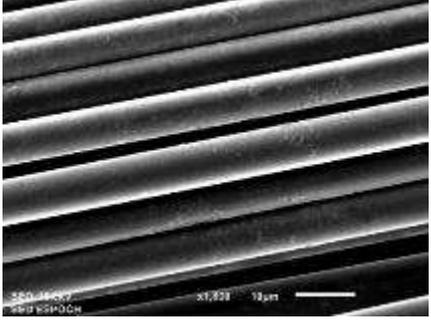
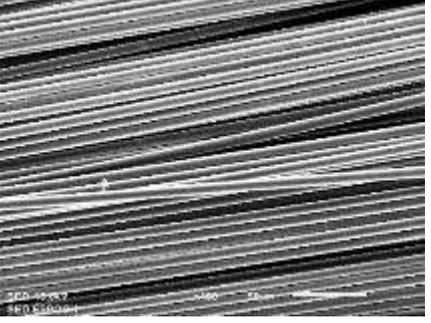
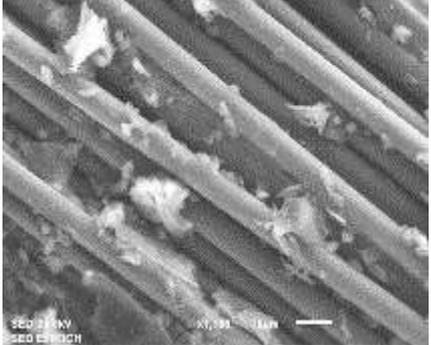
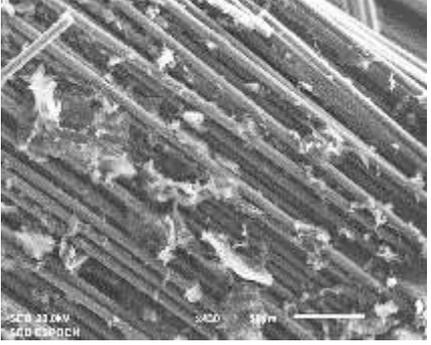
Ilustración 4-4: Pruebas de resistencia y conducción de voltaje; A) Fibra de carbón impregnada de biocarbón, B) Medición en fibra impregnada de biocarbón y C) Medición en fibra de carbón pura

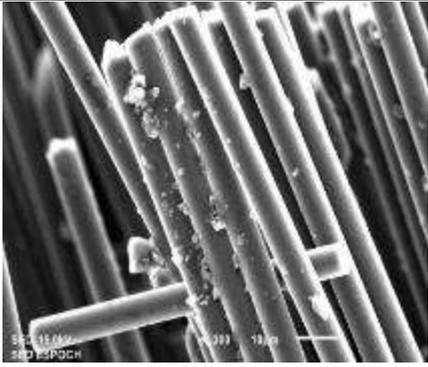
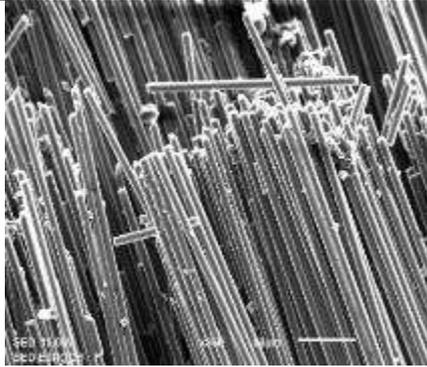
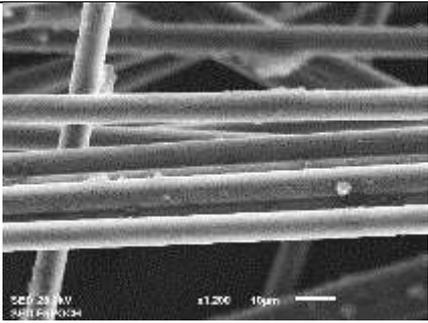
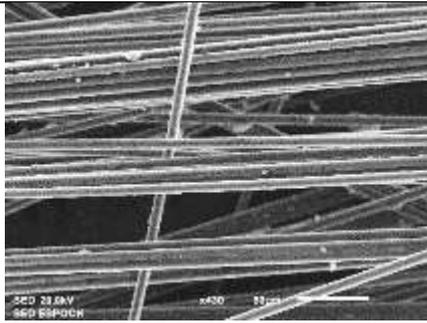
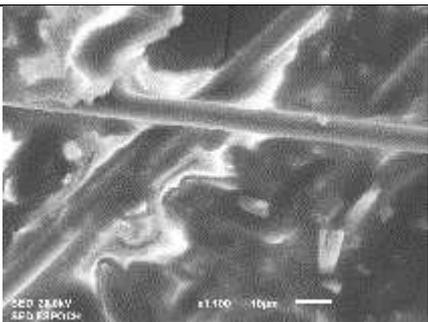
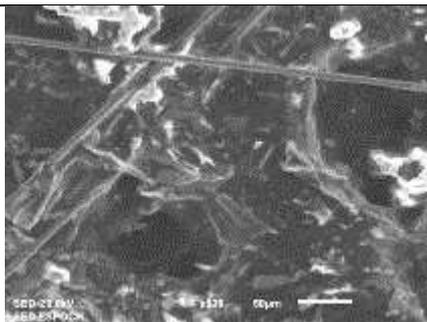
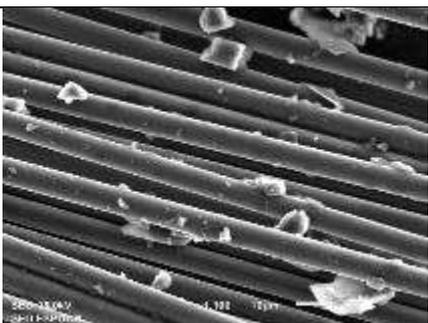
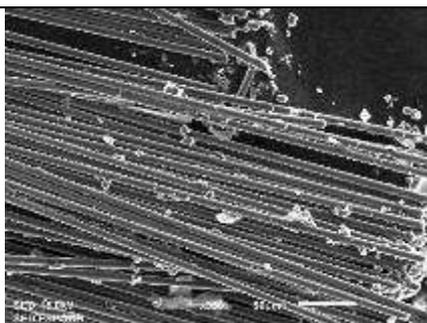
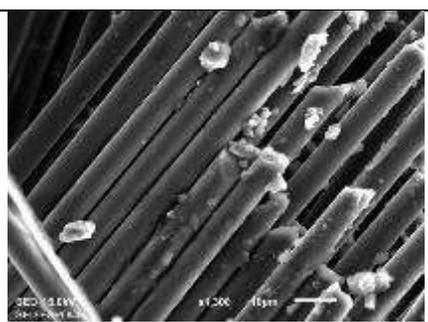
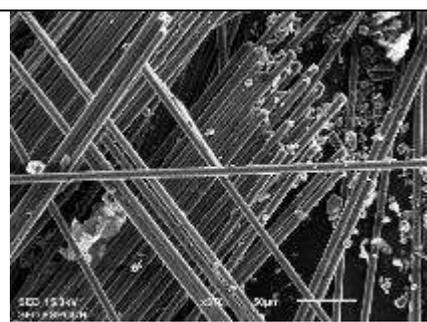
Fuente: Lagla J., 2023

4.1.5 Análisis de los materiales de las membranas usadas

Al culminar la fase de experimentación se extrajo el tejido de las membranas usadas en las cámaras anódicas de las MFCs para su análisis en el microscopio electrónico de barrido tipo SEM con su analizador EDS para determinar los elementos químicos de su composición y observar la formación de biofilm como se muestra en la tabla 4-3.

Tabla 4-10: Microscopia SEM de las MIP de las MFCs

Muestra	A 10 μm	A 50 μm
Blanco: Fibra de carbón + biocarbón		
Blanco: Fibra de carbón		
Membranas de las MFCs con mayor producción de Bioelectricidad		
MFC-BL-2		

MFC-FL-1		
Membranas de las MFCs con menor producción de Bioelectricidad		
MFC-FB-1		
MFC-BB-2		
Membranas de las MFCs con similar producción de Bioelectricidad		
MFC-BB-1		
MFC-FB-2		

Como se observa en las membranas de las MFCs con mayor producción de bioelectricidad; MFC-BL-2 se tiene una mayor formación de biofilm alrededor de las partículas de biocarbón impregnado como se ha evidenciado en investigaciones sobre la adición de nanomateriales con el fin de mejorar las propiedades físicas, químicas y de estabilidad térmica de las MIP incrementando de este modo la tasa de transferencia de protones hacia el cátodo, evitando la interferencia del oxígeno desde la cámara catódica a la anódica (Abd-Elrahman et al. 2022) y en la MFC-FL-1 de igual forma, aunque en menor cantidad que en la primera debido a que, esta no cuenta con las impregnaciones de biocarbón que facilita la formación de la biopelícula. En comparación con las membranas anteriores las membranas de las MFC-FB-1 y MFC-BB-2 que pertenece a las celdas con la menor producción de bioelectricidad se tiene una notable reducción de la biopelícula.

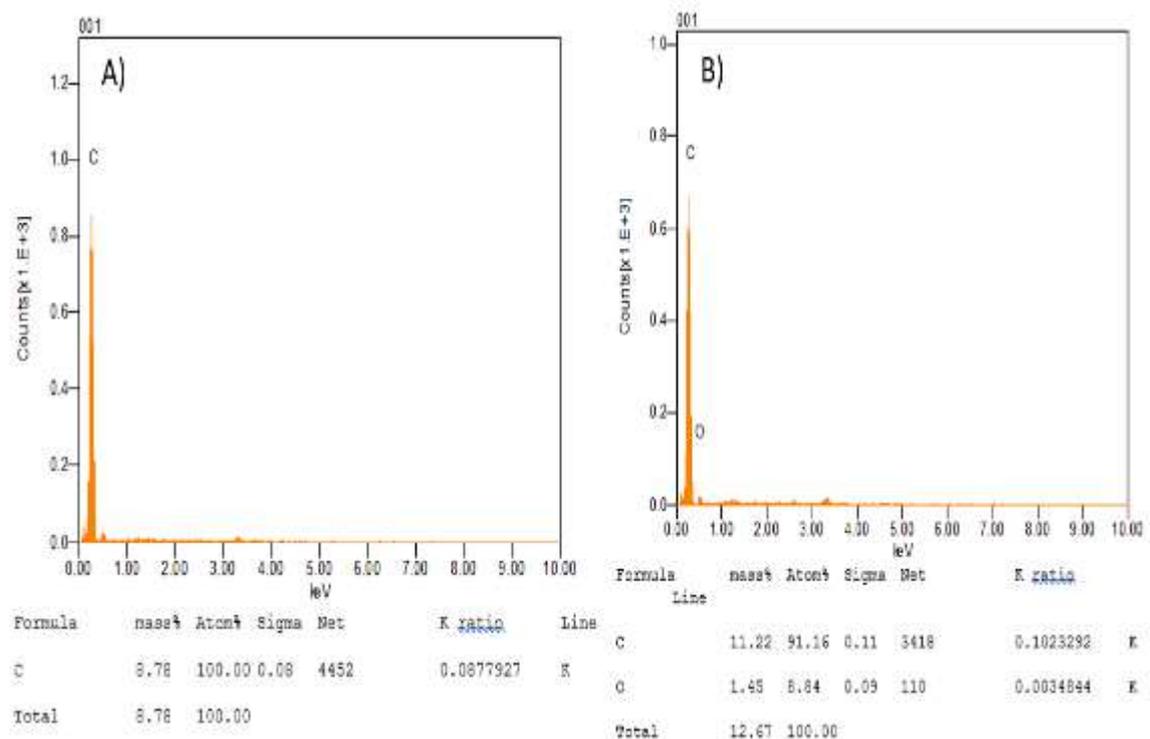


Ilustración 4-5: A) Cromatografía de Fibras impregnadas de Biocarbón. B) Cromatografía de la membrana MFC-FB-2

Fuente: Lagla J., 2023

Resultado del análisis EDS de las MIPs compuestas por fibra de carbón impregnada de biocarbón como se muestra en Ilustración 4-5 A permite tener una caracterización elemental del material que evidencia que estas no se encuentran contaminadas con cationes que puedan contribuir al deterioro de los electrodos (Li et al. 2018), mientras tanto la cromatografía de la membrana de la MFC-FB-2 (Ilustración 4-5 B) compuesta netamente de fibra de carbón tiene en su composición

oxígeno residual el cual resulta de la respiración celular y del efecto de la transferencia de O₂⁺ desde el cátodo al ánodo (Abd-Elrahman et al. 2022).

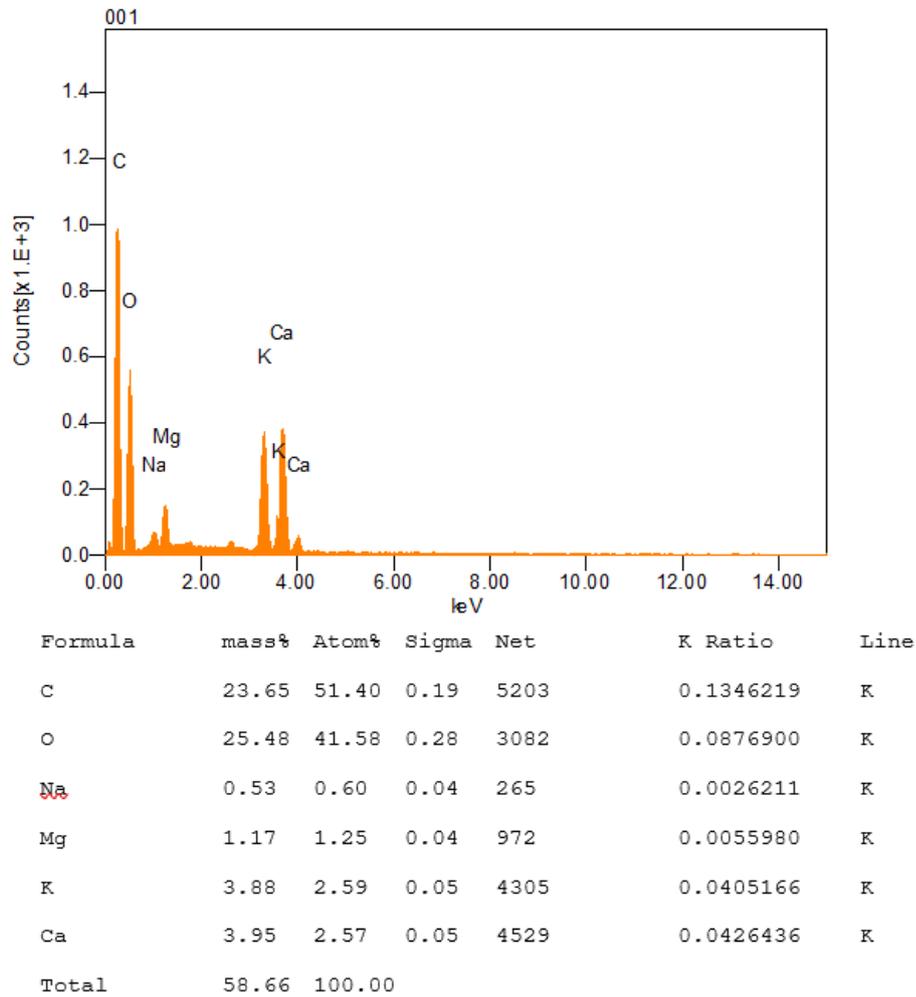


Ilustración 4-6: Cromatografía de Membran MFC-BB-2

Fuente: Lagla J., 2023

La fibra analizada de la membrana MFC-BB-2 se encuentra contaminada con Mg, Na, K, Ca y O como se muestra en la Ilustración 4-6 lo que puede deberse al flujo electrosmótico que se da en la operación de las MFCs y por la variación de pH en el periodo de monitoreo por el transporte de la materia orgánica mediante la migración progresiva de iones y acumulación de elementos relevantes como el Ca, K, Mg y N dentro de las fibras lignocelulósicas (Marzorati et al. 2018) que forman parte del biocarbón a base de caña de azúcar.

4.1.6 Análisis bromatológicos de los sustratos.

Los análisis bromatológicos que nos proporciona información sobre las características cuantitativas y cualitativas de los nutrientes aportados por los sustratos usados previo (Tabla 4-10) y una vez finalizada (Tabla 4-11) la experimentación.

Tabla 4-11: Análisis bromatológicos de los sustratos (Iniciales)

Análisis Técnica	Ceniza (%)	Extracto etéreo (%)	Humedad higroscópica (%)	Fibra cruda (%)	Proteína total (%)	Extracto libre de nitrógeno-ELN (%)
	Gravimétrico	AOAC 920.39 C mod.	Gravimétrico	AOAC 962.09 mod.	Micro Kjeldahl	100- (ceniza + extracto etéreo + humedad higroscópica + proteína + fibra).
LIXIVIADO	0,65	No reporta	83,5	No reporta	0,01	15,84
BIOL	0,79	No reporta	79,50	No reporta	0,38	19,33

Fuente: Informe de resultados de Laboratorio Total Chemb y Lagla , 2023

Realizado por: Lagla J., 2023

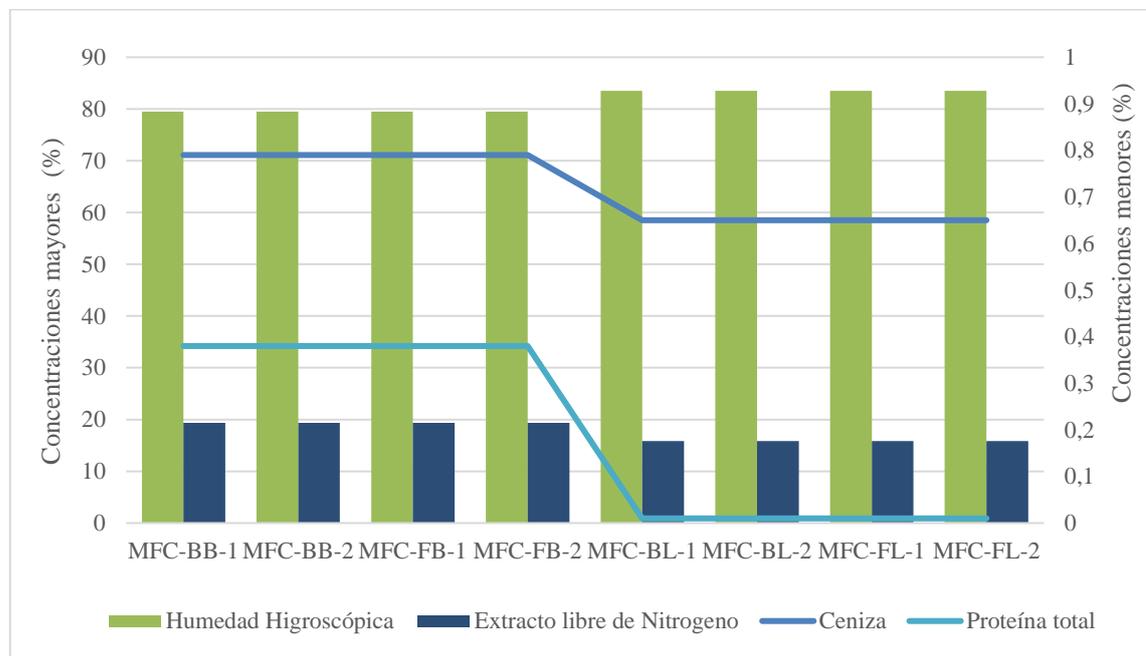


Ilustración 4-7: Caracterización bromatológica de sustratos-Inicial

Realizado por: Lagla J., 2023

Tabla 4-12: Análisis bromatológicos de los sustratos (Finales)

Análisis Técnica	Ceniza (%)	Extracto etéreo (%)	Humedad higroscópica (%)	Fibra cruda (%)	Proteína total (%)	Extracto libre de nitrógeno- ELN (%)
	Gravimétrico	AOAC 920.39 C mod.	Gravimétrico	AOAC 962.09 mod.	Micro Kjeldahl	100- (ceniza + extracto etéreo + humedad higroscópica + proteína +fibra).
MFC-BB-1	No reporta	No reporta	81,21	No reporta	0,0053	18,80
MFC-BB-2	No reporta	No reporta	81,84	No reporta	0,0015	18,16
MFC-FB-1	No reporta	No reporta	82,20	No reporta	0,010	17,81
MFC-FB-2	No reporta	No reporta	80,01	No reporta	0,010	20,00
MFC-BL-1	No reporta	No reporta	80,30	No reporta	0,048	19,75
MFC-BL-2	No reporta	No reporta	84,60	No reporta	0,046	15,45
MFC-FL-1	No reporta	No reporta	82,80	No reporta	0,052	17,25
MFC-FL-2	No reporta	No reporta	83,60	No reporta	0,056	16,45

Fuente: Informe de resultados de Laboratorio Total Chemb y Lagla J., 2023

Realizado por: Lagla J., 2023

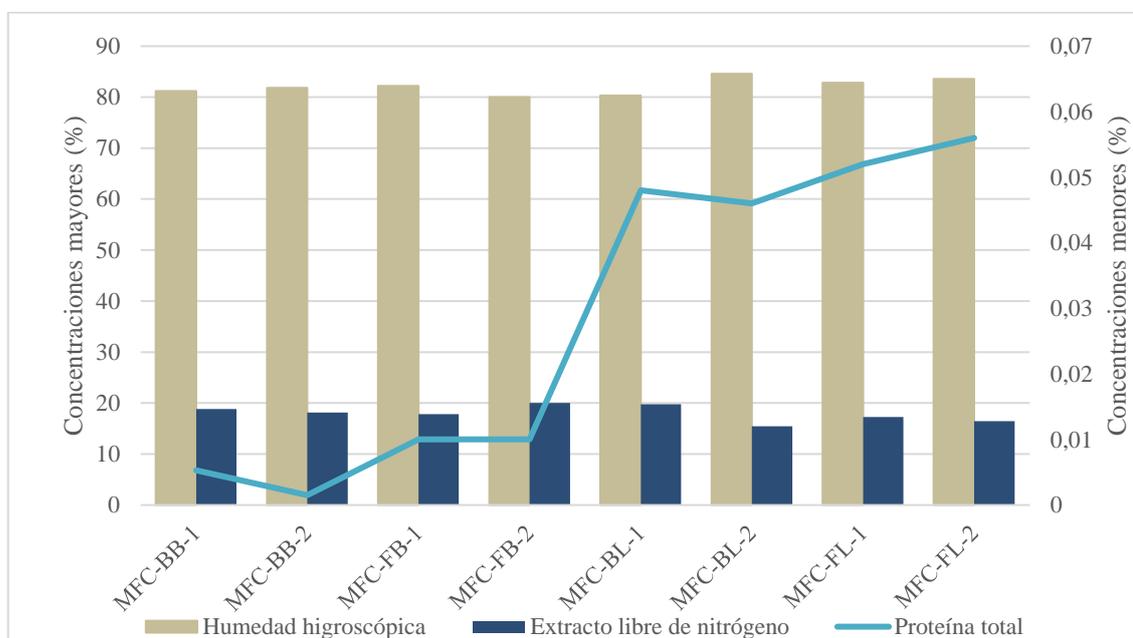


Ilustración 4-8: Caracterización bromatológica de sustratos-Final

Realizado por: Lagla J., 2023

Al finalizar la experimentación los análisis bromatológicos de los sustratos denotan como “No reportado” al parámetro de ceniza a comparación de los análisis iniciales, lo que nos indica la ausencia de compuestos inorgánicos configurados con Ca, Fe, entre otros micronutrientes naturales (Resano et al. 2022; Ortiz Ureta y Blanco Blasco 2011) una vez se diera las reacciones electroquímicas. La humedad higroscópica obtenida en los análisis finales del biol se incrementó en mínimas cantidades y del lixiviado se mantuvo de forma general siendo este un indicador del contenido de agua, por otro lado, la proteína total obtenida para el biol se redujo mientras que para el lixiviado incremento lo que representaría el contenido de aminoácidos degradado de proteínas más complejas (Casanova Pavel y León Mendoza 2021). El contenido de ELN se incrementó de forma general para las celdas con lixiviado lo que se daría por carbohidrato más simples como los monosacáridos propios de las frutas usadas y del resultado de la degradación de polisacáridos y vitaminas propio de los procesos de hidrólisis. Se valora como ausente para ambos sustratos el contenido de lípidos, lipoproteínas, ácidos grasos (saturados o no saturados) y fibras no digeribles (Ortiz Ureta y Blanco Blasco 2011).

4.1.7 Análisis físico químico de los sustratos

4.1.7.1 pH

El pH se midió previo y posterior a la experimentación como se registra en la Tabla 4-13.

Tabla 4-13: Resultados de pH

N	Celda	Unidad	Método de análisis	pH Inicial	pH Final	Límite de descarga- Alcantarillado, agua dulce	Cumplimiento de normativa
1	MFC-BB-1	pH	NTE INEN 973: 1984 Determinación del pH	5,70	5,34	6-9	No cumple con la normativa – Acuerdo ministerial 097-A tabla 8 y 9 para descargas.
2	MFC-BB-2			5,70	5,34		
3	MFC-FB-1			5,70	5,35		
4	MFC-FB-2			5,70	5,40		
5	MFC-BL-1			4,53	3,98		
6	MFC-BL-2			4,53	3,97		
7	MFC-FL-1			4,53	4,08		
8	MFC-FL-2			4,53	3,96		

Realizado por: Lagla J., 2023

Dada la reacción electroquímica dentro de las MFCs en específico en la cámara anódica y por los sustratos incorporados por acción microbiana que inician una liberación de electrones y protones que se mueven por la membrana de intercambio los cuales suelen acumularse en la MIP, se genera

una acidificación del medio o sustrato de la cámara anódica (Kumar et al. 2018) como se observa en las MFCs: BL-1, BL-2, FL-1 Y FL-2 y manteniendo su estado ácido las celdas compuestas con biol (MFCs:BB-1, BB-2, FB-1 Y FB-2). A pesar de que un pH ácido en la cámara anódica beneficia la energía generada y la potencia producida en comparación con los medios básicos o neutros, se ha comprobado que la remoción de la materia orgánica por la degradación del sustrato es mucho más efectiva en medio neutro seguido del medio alcalino y finalmente ácido (Raghavulu et al. 2009). Investigaciones previas han demostrado que se puede obtener una reducción de los parámetros de DQO y la eliminación de nitrógeno total con un incremento de la densidad de potencia considerable si se mantiene el pH en rangos de 7,6 - 8,5 teniendo una distancia entre electrodos de entre los 90 a 100 cm (Hsu et al. 2022). Este parámetro puede afectar directamente en la formación de la biopelícula, la concentración iónica, la fuerza motriz de los protones o electrones y en el potencial de la membrana (Tremouli, Martinos y Lyberatos 2017).

4.1.7.2 Temperatura

Los datos de temperatura de los sustratos usados dentro de las cámaras anódicas de las MFCs medidos previo y posterior a la experimentación se muestran en la Tabla 4-14.

Tabla 4-14: Resultados de temperatura

N	Celda	Unidad	Método de análisis	Tem. Inicial	Tem. Final	Límite de descarga-Alcantarillado* y agua dulce**	Cumplimiento de normativa
1	MFC-BB-1	°C	Determinación de temperatura en laboratorio y campo ESTANDAR METODOS - 2550-B	19,8	22,8	< 40,0* Condición ** natural ± 3	Cumple con la normativa – Acuerdo ministerial 097-A tabla 8 y 9 para descargas.
2	MFC-BB-2			19,8	22,9		
3	MFC-FB-1			19,8	22,9		
4	MFC-FB-2			19,8	23,5		
5	MFC-BL-1			19,7	22,9		
6	MFC-BL-2			19,7	23,0		
7	MFC-FL-1			19,7	22,6		
8	MFC-FL-2			19,7	22,6		

Realizado por: Lagla J., 2023

Factores como el pH y la temperatura afectan al rendimiento de las MFCs, de forma particular el nivel de afectación dependerá de las bacterias usadas y sus condiciones óptimas de crecimiento. Se ha estimado que las variaciones de temperatura pueden afectar en el fenómeno físico de la transferencia de energía como en el coeficiente de transferencia, la conductividad e incluso en la cantidad de energía de activación, así como en la cinética del sistema electroquímico, la distribución del consorcio microbiano y la termodinámica natural generada (Tremouli, Martinos y

Lyberatos 2017). Dado que las cepas usadas en co-cultivo pueden mantenerse hasta en los 35°C se estima que, por la temperatura de incubación previa a la inoculación de tan solo 28°C las cepas bacterianas usadas pudieron adaptarse a la temperatura ambiente de la región con mayor facilidad por la reducción de la temperatura de incubación desde el inicio.

El incremento de la generación de bioelectricidad se da a medida que la temperatura aumenta, lo cual puede atribuirse a que la temperatura afecta a la actividad electrogénica natural y por ende a la migración de los iones liberados, lo que puede reducir la resistencia interna del sistema y por ende intensificar la potencia de salida de la MFCs (Wang y Tian 2021) como se dio, aunque de forma mínima en todas las unidades experimentales.

4.1.7.3 Conductividad eléctrica

Los datos de CE medida de los sustratos usados dentro de las MFCs previo y posterior a la experimentación se muestran en la Tabla 4-15.

Tabla 4-15: Resultados de CE

N	Celda	Unidad	Método de análisis	CE Inicial	CE Final	Tasa de incremento (%)
1	MFC-BB-1	μS/cm	Determinación de conductividad en laboratorio y campo ESTANDAR METODOS-2510-B	7 930	15 970	50,34
2	MFC-BB-2			7 930	16 460	51,82
3	MFC-FB-1			7 930	16 530	52,03
4	MFC-FB-2			7 930	16 790	52,77
5	MFC-BL-1			3 180	6 870	53,71
6	MFC-BL-2			3 180	6 730	52,75
7	MFC-FL-1			3 180	6 540	51,38
8	MFC-FL-2			3 180	7 010	54,64

Realizado por: Lagla J., 2023

Se ha demostrado que los bajos valores de conductividad de los sustratos resulta ser un inconveniente en la generación de energía por el sistema, pero mas no en la reducción de los valores de DQO (Ceconet et al. 2021). La variedad de la CE entre los sustratos usados dependerá de su origen y su uso previo a la experimentación. La alteración de estos valores puede modificar los procesos electroquímicos debido a que la conductividad iónica distribuye el transporte de las cargas (protón o electrón) y minimiza la resistencia eléctrica de la solución, es decir, mientras menor sea el valor de CE mayor será la resistencia del sustrato (Ceconet et al. 2021) incorporado en la cámara anódica como se expresa para las MFCs: BL-1, BL-2, FL-1 Y FL-2. La energía producida por

sistemas con conductividad menor a los 7,7 mS/cm (7 700 μ S/cm) suele estar limitada debido a la competencia existente entre las bacterias exoelectrogénicas (Ej. *Pseudomonas and Shewanella*) y las bacterias fermentadoras como los *Lactobacillus*. No obstante, debido a que la mayoría de las funciones vitales bacterianas ocurren en las células los altos valores de salinidad inhiben funciones fundamentales de la liberación de energía de las unidades bacterianas lo que reduciría el desempeño de las MFCs (Xiao, Lin y Hao 2021). Por tanto, se estima que se debe mantener valores equilibrados que no inhiban el crecimiento, riqueza y diversidad bacteriana pero que logre tener una difusión iónica que permita la conductividad eléctrica en el sistema.

4.1.7.4 DBO

Los datos de DBO medidos en las 8 celdas monitoreadas al inicio y fin de la experimentación se especifican en la Tabla 4-16.

Tabla 4-16: Resultados de DBO

N	Celda	Unidad	Método de análisis	DBO Inicial	DBO Final	Tasa de remoción* o incremento** (%)	Límite de descarga-Alcantarillado* y agua dulce**	Cumplimiento de normativa
1	MFC-BB-1	mg/L	Digestión biológica – Método gasométrico ESTANDAR METODOS 5210 B	4 670	5 400	15,63**	250* 100**	No Cumple con la normativa – Acuerdo ministerial 097-A tabla 8 y 9 para descargas.
2	MFC-BB-2			4 670	6 900	47,75**		
3	MFC-FB-1			4 670	5 370	14,99**		
4	MFC-FB-2			4 670	5 790	23,98**		
5	MFC-BL-1			60 000	49 400	17,66*		
6	MFC-BL-2			60 000	50 400	16*		
7	MFC-FL-1			60 000	38 300	36,17*		
8	MFC-FL-2			60 000	52 600	12,33*		

Realizado por: Lagla J., 2023

La DBO se considera como uno de los principales indicadores de remoción de la carga orgánica de los sustratos usados por acción microbiana o de la presencia de compuestos orgánicos biodegradables, debió a que, se logra cuantificar la cantidad de oxígeno que es usado en las actividades respiratorias microbianas (Cui, Lai y Tang 2019). Se puede definir una correlación entre el porcentaje de eliminación de la DBO, la reducción del sustrato y la actividad microbiana debido a que, la formación de la biopelícula es el principal factor que influye en la tasa de eliminación de la DBO que por lo general es superior a la de eliminación de la DQO. Esta tasa de remoción, como se verifica en las celdas compuestas por lixiviados (MFCs: BL-1, BL-2, FL-1 Y FL-2) se da debido al crecimiento de bacterias electrogénicas y la presencia de microorganismos heterótrofos en el cátodo, en especial estos últimos influyen en la velocidad de propagación de

los iones del sustrato y el flujo de los mismos, logrando obtener un mayor porcentaje de remoción de este factor (Bose et al. 2023).

En las celdas compuestas con biol (MFCs:BB-1, BB-2, FB-1 Y FB-2) como sustrato su incremento de la DBO nos indicaría que el porcentaje de remoción de la materia orgánica es mucho menor al esperado, esta variación se debe a condiciones anaerobias, al pH ácido de los sustratos (Raghavulu et al. 2009) o al incremento de los constituyentes orgánicos e inorgánicos lo que incrementaría la potencia de salida de MFCs (Khan y Naz 2014) lo que se daría por el desprendimiento del micro y nano material impregnado en la MIP como se visualiza en los análisis de microscopia SEM o al contenido de materia orgánica suspendida compleja no biodegradable por metabolismo exoelectrogénico o de lenta degradación como almidones, coloides, entre otros (Tardy et al. 2021) .

4.1.7.5 DQO

Los datos de medidos de DQO en las unidades experimentales al inicio y fin de la experimentación se especifican en la Tabla 4-17.

Tabla 4-17: Resultados de DQO

N	Celda	Unidad	Método de análisis	DQO Inicial	DQO Final	Tasa de remoción (%)	Límite de descarga- Alcantarillado* y agua dulce**	Cumplimiento de normativa
1	MFC-BB-1	mg/L	Digestión ácida más método colorimétrico ESTANDAR METODOS 5220 D	22 090	20 630	6,61	500,0* 200**	No Cumple con la normativa – Acuerdo ministerial 097-A tabla 8 y 9 para descargas.
2	MFC-BB-2			22 090	21 410	3,08		
3	MFC-FB-1			22 090	20 860	5,57		
4	MFC-FB-2			22 090	20 520	7,11		
5	MFC-BL-1			107 900	64 300	40,41		
6	MFC-BL-2			107 900	76 700	28,92		
7	MFC-FL-1			107 900	53 600	50,32		
8	MFC-FL-2			107 900	71 500	33,73		

Realizado por: Lagla J., 2023

Las experimentaciones sugieren que mientras mayor sean los rangos de DQO se garantiza mayor disponibilidad de sustrato para el crecimiento de la biomasa bacteriana (Bose et al. 2023) y estima que, si es mayor el proceso de fermentación en el medio, mayor será el oxígeno consumido y mayor será el valor del parámetro medido (Khan y Naz 2014) como se da en las celdas compuestas por lixiviados (MFCs: BL-1, BL-2, FL-1 Y FL-2). Por otro lado, se estima que la medición de la reducción de la DQO es una forma de traducir la producción de energía como resultado de las

reacciones de oxidación exogénica en la superficie de la membrana anódica (Patwardhan et al. 2022) como se da en las unidades experimentales en mayor medida las compuestas por lixiviados y con un menor porcentaje de reducción en las celdas compuestas con biol (MFCs:BB-1, BB-2, FB-1 Y FB-2). Se obtuvo que las celdas con mayor tasa de remoción fue MFC-BL-1 y MFC-FL-1 con un 40,41 y 50,32 % respectivamente con una diferencia considerable con la celda MFC-BB-2 que tan solo consigue un 3,08%.

4.1.7.6 Nitrógeno amoniacal

Los datos de nitrógeno amoniacal (NA) medido al inicio y fin de la experimentación se especifican en la Tabla 4-18.

Tabla 4-18: Resultados de Nitrógeno amoniacal

N	Celda	Unidad	Método de análisis	NA. Inicial	NA Final	Tasa de remoción* o incremento** (%)	Límite de descarga-agua dulce	Cumplimiento de normativa AM 097-A tabla 9
1	MFC-BB-1	mg/L	Método colorimétrico de des ionización ESTANDAR METODOS 4500C-NH ₃	23.7	23.2	2,11*	30	Cumple
2	MFC-BB-2			23.7	27.4	15,61**		Cumple
3	MFC-FB-1			23.7	31.2	31,65**		No cumple
4	MFC-FB-2			23.7	26	9,70**		Cumple
5	MFC-BL-1			304	184	39,47*		No cumple
6	MFC-BL-2			304	222	26,97*		No cumple
7	MFC-FL-1			304	124	59,21*		No cumple
8	MFC-FL-2			304	184	39,47*		No cumple

Realizado por: Lagla J., 2023

Debido a las condiciones aerobias del sistema por el movimiento del oxígeno desde el cátodo al ánodo y por la presencia de las bacterias oxidativas del amoníaco (NH₃) y de nitritos (NO₂-) y organismos heterótrofos aerobios oxidantes de amonio, el nitrógeno presente puede oxidarse (Park et al. 2021) lo que explicaría el comportamiento de las celdas compuestas por Lixiviado teniendo el mayor porcentaje de remoción u oxidación del amoníaco del 59,21% de la celda MFC-FL-1. Por otro lado, la reducción del nitrógeno presente en los sustratos por procesos de desnitrificación puede llegar a ser insignificante cuando existe oxígeno disuelto (Kakarla y Min 2019) lo que puede explicar el comportamiento de las celdas compuestas con biol (MFCs: BB-1, BB-2, FB-1, FB-2). Los nitratos obtenidos de los procesos de oxidación pueden reducirse por acción de bacterias desnitrificantes electroquímicamente activas de la biopelícula del ánodo (Park et al. 2021) o por el intercambio gaseoso entre los gases del medio presentes por los procesos de degradación de

materia orgánica y los gases de la atmosfera. La necesidad de la reducción del nitrógeno amoniacal en especial de los lixiviados es a su rango de toxicidad para diversos organismos que en concentraciones altas puede llegar a inhibir los procesos de nitrificación por lo cual previo al tratamiento de este tipo de compuestos se recomienda se realicen procesos de pretratamiento alternativos previo a la aplicación de tratamientos biológicos convencionales (Petry, Costa y Droste 2020).

4.1.8 Sistema de adquisición de datos

Presentación del voltaje generado por las unidades experimentales en función del tiempo estimado de monitoreo se presenta en la Gráfica 4-5.

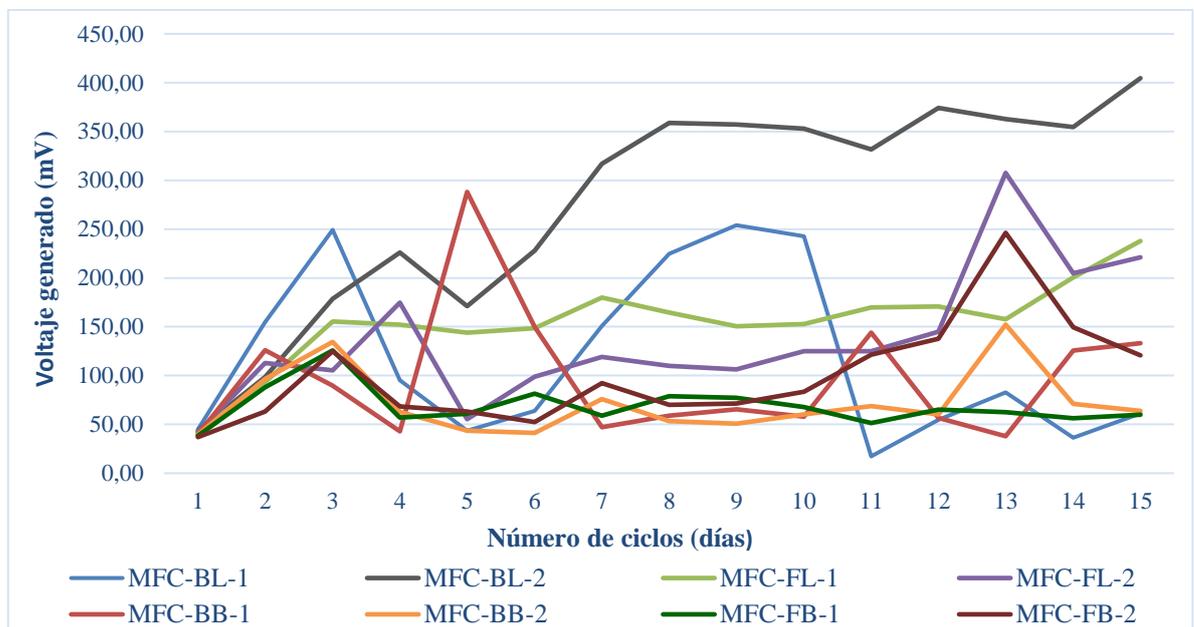


Ilustración 4-9: Voltaje generado en función del tiempo

Realizado por: Lagla J., 2023

La celda BL-1 alcanza su valor máximo de voltaje al noveno ciclo con 254,02 mV a diferencia de la segunda celda BL-2 la cual es la repetición de la primera, en la que se llega al máximo valor de voltaje hasta el último ciclo (15 CICLO) con 403,59 mV. La producción de energía en la tercera celda FL-1 resulta ser la más estable de las unidades experimentales la cual alcanza su máximo voltaje en el último ciclo al igual que la segunda con un valor de 237,84 mV que contrastada con la cuarta celda FL-2 (la repetición de la tercera) en el quinto ciclo se tiene una caída de voltaje y al decimotercer ciclo llega a su valor máximo de 307,58 mV. La celda BB-1 tiene un crecimiento exponencial de la generación de voltaje del cuarto al quinto ciclo alcanzando su valor máximo con 288,07 mV que comparada con su celda de repetición BB-2 llega a su punto máximo al decimotercer ciclo con tan solo 152 mV. La séptima celda FB-1 alcanzó su valor máximo al tercer

ciclo con solo 125 mV a pesar de que es una de las celdas con más estabilidad en la generación de voltaje respecto al tiempo. La última celda FB-2 duplicada de la séptima unidad, al igual que en las celdas BB-2, BL-2 y FL-2 obtiene su máximo valor de voltaje al decimotercer ciclo con 246,17 mV.

Al realizar un análisis de los promedios alcanzados de forma individual (Ver ANEXO F) se considera que las celdas BL-2 y FL-1 tienen los promedios más altos de voltaje con 277,29 mV y 154,73 mV respectivamente al finalizar el monitoreo de 15 ciclos de 24 horas. Mientras que, la celda con el más bajo promedio individual de la generación de energía es la FB-1 con tan solo 68,63 mV seguida de la celda BB-2 con 71,66 mV. Si se realiza una comparación de promedios obtenidos de las repeticiones se puede verificar que los tratamientos configurados por lixiviado y membranas de carbón impregnadas de biocarbón son las que generan mayor cantidad de voltaje con un valor promedio de ambas repeticiones (BL-1 Y BL-2) de 197,82 mV seguida de los tratamientos solo con fibra de carbón y lixiviado (FL-1 Y FL-2) con 145,79 mV. Las unidades experimentales configuradas con biol tiene una menor generación de bioelectricidad; BB-1 y BB-2 genera 84,60 mV y FB-1 y FB-2 con 84,35mV, es decir tiene promedios de voltaje muy cercanos entre combinaciones de ambos tratamientos, los voltajes encontrados para los tratamientos se encuentran dentro de los rangos obtenidos en previas investigaciones.



Ilustración 4-10: Sistema de adquisición de datos.

Fuente: Lagla J., 2023

4.1.9 Comprobación de hipótesis

4.1.9.1 Análisis de normalidad

Con el fin de validar los resultados se realizó la sustentación estadística de la comprobación de hipótesis, como primer paso para la verificación de los supuestos del modelo o hipótesis se realiza

una prueba de normalidad de los datos de voltaje medidos en las MFCs durante el periodo de tiempo establecido para la experimentación. Para esta prueba se usa como método la prueba de Shapiro-Wilk donde se toma a consideración una muestra aleatoria con menos de 50 elementos, los cuales se derivan de una distribución desconocida con la que se verifican que los datos registrados provienen de un proceso normal, mediante la verificación de las siguientes hipótesis.

Ho: Los datos obtenidos de voltaje siguen de una distribución normal.

Ha: Los datos obtenidos de voltaje no siguen de una distribución normal

Tabla 4-19: Prueba de normalidad

Unidad experimental	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
MFC_BL_1	0.851	15	0.018
MFC_BL_2	0.866	15	0.030
MFC_FL_1	0.876	15	0.041
MFC_FL_2	0.896	15	0.083
MFC_BB_1	0.800	15	0.004
MFC_BB_2	0.807	15	0.004
MFC_FB_1	0.870	15	0.034
MFC_FB_2	0.860	15	0.024

Realizado por: Lagla J., 2023

Acorde a los resultados obtenidos de la prueba estadística de normalidad se consideran con la suficiente evidencia que los datos de voltaje medidos en las MFCs no siguen una distribución normal, debido a que el valor obtenido del p-valor resulta ser menor a 0,05 (α =nivel de significancia) con un nivel de confianza del 95%.

Las siguientes gráficas denotan el comportamiento no normal de los datos medidos de voltaje de las unidades experimentales.

4.1.9.2 Comparación de tratamientos

Una vez verificado que los datos no siguen un comportamiento normal, se puede realizar una prueba no paramétrica los cuales no requieren un supuesto de normalidad y de varianza constante entre los datos para comparar los tratamientos de las unidades de experimentación. Se realiza la prueba de Kruskal-Wallis con el fin de verificar y validar una de las siguientes hipótesis.

Ho: Los sustratos usados y la composición de la membrana anódica en las MFCs tienen el mismo rendimiento de la producción de bioelectricidad y de remoción de carga orgánica contaminante.

Ha: Los sustratos usados y la composición de la membrana anódica en las MFCs tienen diferencias significativas en el rendimiento de la producción de bioelectricidad y de remoción de carga orgánica contaminante. Los resultados de la prueba estadística se describen en la Tabla 4-20 y 4-21.

Tabla 4-20: Prueba de Kruskal-Wallis del Voltaje

	Rango			Estadísticos de prueba	
	Celdas	N	Rango Promedio	Voltaje	
Voltaje	MFC-BL_1	15	55.47	H de Kruskal-Wallis	44.608
	MFC-BL-2	15	101.13	gl	7
	MFC-FL-1	15	83.13	Sig. asintótica	0.000
	MFC-FL-2	15	69.40		
	MFC-BB-1	15	46.87		
	MFC-BB-2	15	37.27		
	MFC-FB-1	15	36.80		
	MFC-FB-2	15	53.93		
	Total	120			

Realizado por: Lagla J., 2023

Tabla 4-21: Prueba de Kruskal-Wallis de la tasa de remoción de DBO

	Rango			Estadísticos de prueba	
	Celdas	N	Rango Promedio	Voltaje	
Tasa de remoción de DBO	MFC-BL_1	15	38.00	H de Kruskal-Wallis	119.000
	MFC-BL-2	15	8.00	gl	7
	MFC-FL-1	15	53.00	Sig. asintótica	0.000
	MFC-FL-2	15	23.00		
	MFC-BB-1	15	98.00		
	MFC-BB-2	15	83.00		
	MFC-FB-1	15	113.00		
	MFC-FB-2	15	68.00		
	Total	120			

Realizado por: Lagla J., 2023

Con un nivel de significancia $\alpha=0,05$ y una confianza del 95% sabiendo que el criterio de rechazo es; $p\text{-valor} \leq \alpha$ se tiene la suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna donde se afirma que los sustratos usados y la composición de la membrana anódica en las MFCs tienen diferencias significativas en el rendimiento de la producción de bioelectricidad y de remoción de carga orgánica contaminante.

4.1.9.3 Contraste-TUKEY

Una vez comprobado que existen diferencias significativas entre los tratamientos, fue necesario realizar una prueba de Tukey como una prueba de cotejo múltiple comparando las medias de los niveles medidos para cada factor con el fin de definir cuál de estos tratamientos es el que tiene diferencias significativas entre sí como se muestra en la Tabla 4-22.

Tabla 4-22: Prueba de Tukey

VOLTAJE				
HSD Tukey ^{a,b}				
CELDAS	N	Sub conjunto		
		1	2	3
MFC-FB-1	15	68.6267		
MFC-BB-2	15	71.6640		
MFC-BB-1	15	97.5440	97.5440	
MFC-FB-2	15	100.0733	100.0733	
MFC-BL_1	15	118.3540	118.3540	
MFC-FL-2	15	136.8620	136.8620	
MFC-FL-1	15		154.7287	
MFC-BL-2	15			277.2913
Sig.		0.100	0.269	1.000

Realizado por: Lagla J., 2023

Con un nivel de significancia de 0,05 y el 95 % de confiabilidad según la prueba de Tukey, podemos afirmar que las celdas con mayor diferencias significativas en la producción de bioelectricidad es la MFC-BL-2 (Lixiviado y fibra de carbón impregnada de biocarbón) que cuenta con el mayor de los valores seguida de la MFC-FL-2 (Lixiviado y Fibra de carbón pura) y que por el contrario se tiene que las celdas con menor generación de voltaje son a las celdas de MFC-FB-1 (Biol y Fibra de carbón pura) y MFC-BB-2 (Biol y fibra de carbón impregnada de biocarbón) como se ilustra en la gráfica de medias 4-6.

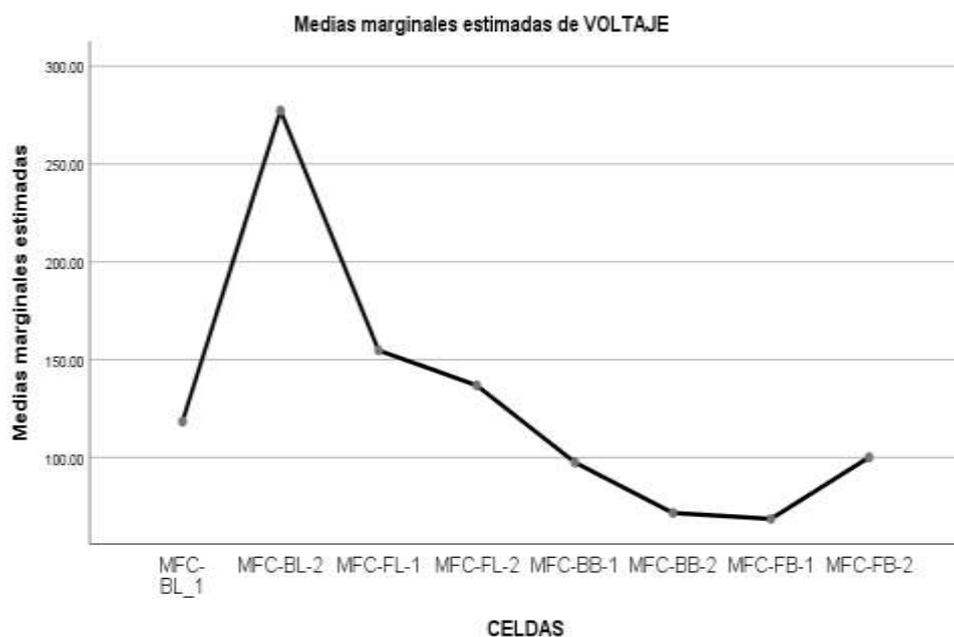


Ilustración 4-11: Medias marginales estimadas de Voltaje en mV por celda

Realizado por: Lagla J., 2023

Realizando un análisis de la Ilustración 4-11 se estima que la celda MFC-BL-2 y MFC-FL-1 tiene los valores más altos en la producción de voltaje tomando en cuenta las medias de voltaje promediadas en todos los niveles de los ciclos de monitoreo.

4.1.9.4 Análisis de correlación

Con el fin de conocer la relación existente entre el voltaje producido en las celdas y la tasa de remoción de la DBO como indicador de la remoción de carga orgánica, se hizo una prueba de correlación de Rho de Spearman usado para datos con distribución no normal como se detalla en la Tabla 4-23.

Tabla 4-23: Prueba de correlación Spearman

CORRELACIONES				
		VOLTAJE		TASA_DE_REMOCIÓN_DBO
Rho de Spearman	VOLTAJE	Coefficiente de correlación	1.000	-.509**
		Sig. (bilateral)	.	.000
		N	120	120
	TASA_DE_REMOCIÓN_DBO	Coefficiente de correlación	-.509**	1.000
		Sig. (bilateral)	.000	.
		N	120	120

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Realizado por: Lagla J., 2023

Acorde a la prueba de correlación nos indica que esta es negativa es decir inversamente proporcional entre la producción de la bioelectricidad (mV) con la tasa de remoción de la DBO que acorde al rango de -0,509 esta correlación negativa puede ser interpretada como una relación inversa moderada de forma general (Ver ANEXO G).

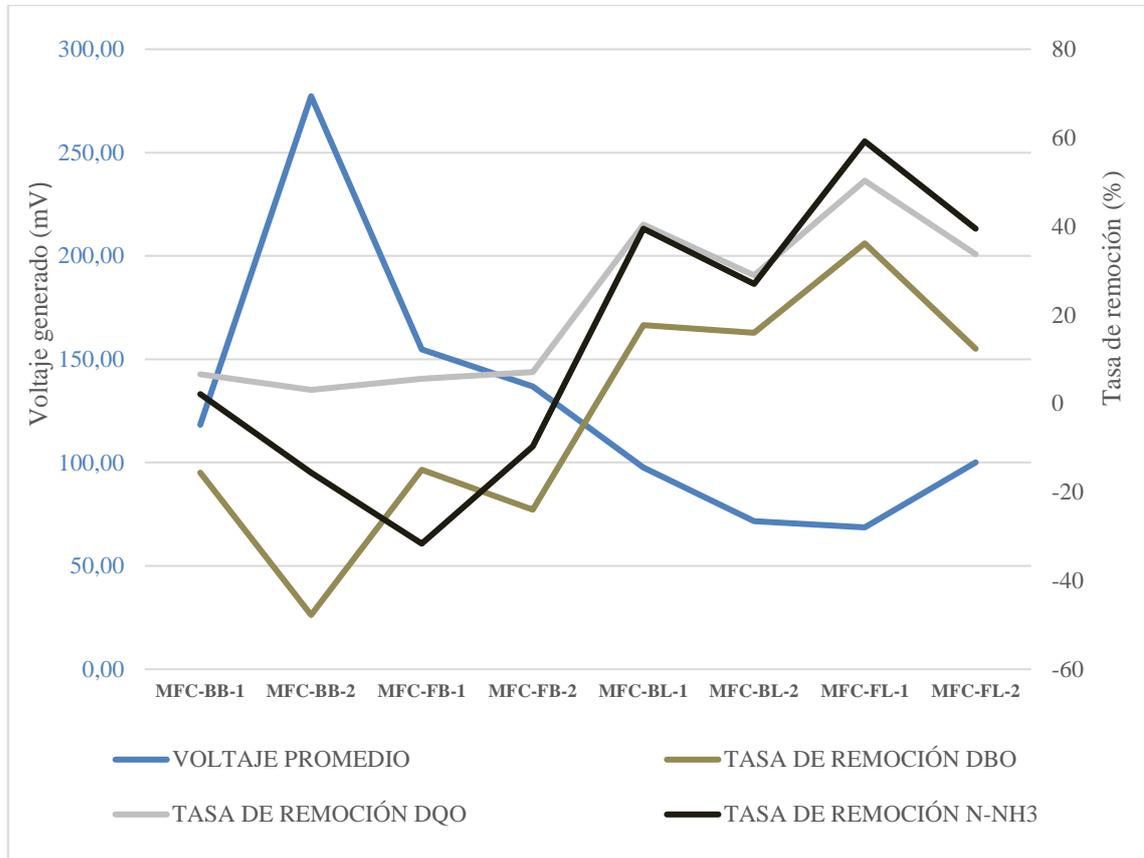


Ilustración 4-12: Relación de voltaje y tasa de remoción de DBO, DQO y Nitrógeno amoniacal
Realizado por: Lagla J., 2023

La tasa de remoción de la DQO, DBO y N-NH₃ respecto al voltaje promedio generado por las celdas constituidas por lixiviado llega a tener un comportamiento proporcional en un rango moderado de forma individual como se representa en la gráfica 4-7 lo que evidenciaría una relación entre la actividad microbiana electrogénica y la reducción del sustrato (Bose et al. 2023).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se generó biocarbón útil para ser usada como parte de la membrana de intercambio de protones del ánodo la cual tuvo tres veces más resistencia que la fibra de carbón pura pero una mayor área de contacto superficial lo que favoreció la formación del biofilm que sería el resultado de la oxidación del biol en el que se evidenció la presencia de amoníaco, DBO y DQO.
- Se implementó MFCs con diferentes combinaciones de tratamientos, las celdas configuradas con lixiviado y fibra de carbón añadida de biocarbón posee la mayor formación de biofilm y bioelectricidad generada mientras que las celdas compuestas por biol y la misma combinación añadida como membrana contó con una contaminación por Mg, Na, K, Ca y O por la migración progresiva de iones y deposición de elementos en la MIP teniendo una menor generación de energía.
- El voltaje generado por las MFCs se encuentra dentro de los rangos hallados en previas investigaciones, no obstante presenta dos tendencias estadísticas en función de los ciclos de monitoreo respecto al rendimiento de la producción de bioelectricidad (mV) y la remoción de carga contaminante (%), la primera fue inversamente proporcional moderada definida en el análisis general del diseño experimental y la segunda de forma individual respecto a la tasa de remoción de la DQO, DBO y N-NH₃ evidencia una relación directamente proporcional moderada en comparación al voltaje generado de las celdas constituidas con lixiviado ya sea con MIP de fibra de carbón pura o con biocarbón impregnado.

5.2 Recomendaciones

- Se debe realizar un análisis de imagen especializado respecto a la adherencia de la biopelícula en las fibras con micro y nano materiales incorporados a fibras comerciales para asegurar la repotenciación de las MIP.
- Realizar análisis sobre el rendimiento del biocarbón activado como un electrodo sólido en comparación de este mismo material en su estado más simple debido a su potencial como conductor eléctrico, así mismo para la impregnación del biocarbón a fibras industriales se

recomienda usar prensas con mayor especificidad con el fin de garantizar la adherencia y evitar desprendimiento del nanomaterial en la operación de las MFCs.

- Al realizar la digestión anaerobia de bagazo de caña de azúcar se aconseja usar una fuente de nitrógeno adicional a la usada con el fin de mejorar las propiedades nutricionales del biol obtenido.
- Se recomienda realizar investigaciones sobre el uso y cultivo de los microorganismos usados en la presente investigación en diferentes bases orgánicas solidas o liquidas para su uso potencial como captador de iones, compuestos químicos específicos y generación de energía.

BIBLIOGRAFÍA

ABD-ELRAHMAN; et al. Applications of Nanomaterials in Microbial Fuel Cells: A Review. *Molecules* [en línea], 2022, vol. 27, no. 21, [consulta: 13 mayo 2023]. ISSN 14203049. DOI 10.3390/molecules27217483. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/21/7483>

AL MAKISHAH, N.H. Bioenergy: Microbial Biofuel Production Advancement. *Available online www.ijpras.com International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences* [en línea], 2017, vol. 6, no. 3, [consulta: 4 marzo 2023]. ISSN 2277-3657. Disponible en: <https://ijpras.com/storage/models/article/W0JDdFW1M9hQDGGbNkMnli28TW9LBxcpGG4id2VAtG3Tib3XxjWqN3cy350S/bioenergy-microbial-biofuel-production-advancement.pdf>

AMPUÑO, G.; et al. Evaluation of energy efficiency and the reduction of atmospheric emissions by generating electricity from a solar thermal power generation plant. *Energies* [en línea], 2020, vol. 13, no. 3, [consulta: 4 marzo 2023]. ISSN 19961073. DOI 10.3390/en13030645. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/en13030645>

APOLLON, W.; et al. *Improvement of zero waste sustainable recovery using microbial energy generation systems: A comprehensive review* [en línea]. 15 abril 2022. S.l.: Elsevier B.V. [consulta: 4 marzo 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153055>

ARCONEL. Balance Nacional de Energía Eléctrica (BNEE) - Balance Nacional de Energía Eléctrica febrero 2022 - Datos Abiertos Ecuador. [en línea]. Quito: [consulta: 4 marzo 2023]. Disponible en: <https://datosabiertos.gob.ec/dataset/https-www-controlrecursosyenergia-gob-ec-balance-nacional-de-energia-electrica/resource/7f0d9914-f943-43e1-bb9b-781a8249e376>

BAIRES ANALITICA. DBO (demanda bioquímica de oxígeno) - DQO (demanda química de oxígeno). [en línea], 2020. [consulta: 4 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.bairesanalitica.com/los-parametros-mas-importantes-en-la-caracterizacion-del-agua--news--5-11>

BANERJEE, A.; et al. Review on Material and Design of Anode for Microbial Fuel Cell. *Energies* [en línea]. 1 marzo 2022. pp. 2. [consulta: 17 mayo 2022]. ISSN 19961073. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/6/2283>

BECERRIL-VARELA, K.; et al. Generation of electrical energy in a microbial fuel cell coupling acetate oxidation to Fe³⁺ reduction and isolation of the involved bacteria. *World Journal of Microbiology and Biotechnology* [en línea], 2021, vol. 37, no. 6, [consulta: 19 abril 2023]. ISSN 15730972. DOI 10.1007/s11274-021-03077-4. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/351883415_Generation_of_electrical_energy_in_a_microbial_fuel_cell_coupling_acetate_oxidation_to_Fe3_reduction_and_isolation_of_the_involved_bacteria

BHARGAVI, G.; et al. Microbial fuel cells: Recent developments in design and materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [en línea], 2018. S.l.: Institute of Physics Publishing, [consulta: 12 octubre 2022]. vol. 330. DOI 10.1088/1757-899X/330/1/012034. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/330/1/012034/pdf>

BISHIR, M.; et al. Pyrolysis of Corncobs to Produce Biobased Conductive Materials as Electrodes for Potential Application in Microbial Fuel Cells (MFCs). *INTERNATIONAL JOURNAL OF RENEWABLE ENERGY RESEARCH B. Musa et al* [en línea], 2021, vol. 11, no. 3, [consulta: 12 junio 2022]. Disponible en: <https://www.ijrer.org/ijrer/index.php/ijrer/article/view/12312/pdf>

BOER, F.D.; et al. Slow pyrolysis of sugarcane bagasse for the production of char and the potential of its by-product for wood protection. *Journal of Renewable Materials* [en línea], 2020, vol. 9, no. 1, [consulta: 8 agosto 2022]. ISSN 21646341. DOI 10.32604/jrm.2021.013147. Disponible en: https://agritrop.cirad.fr/597112/1/Thevenon_Publication%20JMR_20201202.pdf

BOSE, D.; et al. Bioelectricity production and bioremediation from sugarcane industry wastewater using microbial fuel cells with activated carbon cathodes. *Results in Engineering* [en línea], 2023, vol. 18, [consulta: 25 abril 2023]. ISSN 2590-1230. DOI 10.1016/J.RINENG.2023.101052. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590123023001792>

CÁRDENAS ROBLES, A.; et al. Celdas combustible microbiano aguas residuales. *Temas de Ciencia y Tecnología* [en línea], 2022, vol. 26, no. 76, [consulta: 11 junio 2022]. ISSN 2007-0977. Disponible en: https://www.utm.mx/edi_anteriores/temas76/T76_E01_celdas_combustible_microbiano_aguas_residuales.pdf

CARVALHO, A.M. & CASAS CIRIÓN, L.E. Compostaje y biodigestores como solución al problema de los residuos orgánicos en el medio rural. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* [en línea], 2022, vol. 6, no. 4, [consulta: 4 marzo 2023]. ISSN 2707-2215. DOI 10.37811/cl_rcm.v6i4.2641. Disponible en: <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/download/2641/3900/>

CASANOVA PAVEL, D. & LEÓN MENDOZA, L. Evaluación de la composición fisicoquímica y bioquímica de biol enriquecido con diferentes concentraciones de alperujo. Evaluation of the physicochemical and biochemical composition of biol enriched with different concentrations of alperujo. *Arnaldoa* [en línea], 2021, vol. 28, no. 2, [consulta: 19 abril 2023]. ISSN 2413-3299. DOI 10.22497/arnaldoa.282.28210. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v28n2/2413-3299-arnal-28-02-409.pdf>

CECCONET, D.; et al. Bioelectrochemical greywater treatment for non-potable reuse and energy recovery. *Water (Switzerland)* [en línea], 2021, vol. 13, no. 3, [consulta: 24 abril 2023]. ISSN 20734441. DOI 10.3390/W13030295. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/13/3/295>

CHEN, C.Y.; et al. A comparison of bioelectricity in microbial fuel cells with aerobic and anaerobic anodes. *Environmental Technology (United Kingdom)*, 2014, vol. 35, no. 3, ISSN 1479487X. DOI 10.1080/09593330.2013.826254

CHEN, W.H.; et al. Liquid hot water as sustainable biomass pretreatment technique for bioenergy production: A review. *Bioresource Technology*, 2022, vol. 344, ISSN 18732976. DOI 10.1016/J.BIORTECH.2021.126207

CHIGNELL, J.F.; et al. Meta-proteomic analysis of protein expression distinctive to electricity-generating biofilm communities in air-cathode microbial fuel cells. *Biotechnology for Biofuels* [en línea], 2018, vol. 11, no. 1, [consulta: 4 marzo 2023]. ISSN 17546834. DOI 10.1186/s13068-018-1111-2. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/324712638_Meta-proteomic_analysis_of_protein_expression_distinctive_to_electricity-generating_biofilm_communities_in_air-cathode_microbial_fuel_cells

CHRISTWARDANA, M.; et al. Performance of yeast microbial fuel cell integrated with sugarcane bagasse fermentation for COD reduction and electricity generation. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis* [en línea], 2021, vol. 16, no. 3, [consulta: 4 marzo 2023]. ISSN

19782993. DOI 10.9767/BCREC.16.3.9739.446-458. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/351403856_Performance_of_Yeast_Microbial_Fuel_Cell_Integrated_with_Sugarcane_Bagasse_Fermentation_for_COD_Reduction_and_Electricity_Generation

COLDWELL, P.J.; et al. Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030. [en línea]. S.l.: [consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2016-2030.pdf

CONELEC, C.N. de E. *Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental -Plan Maestro de Electrificación.* [en línea]. 2022. S.l.: s.n. [consulta: 3 agosto 2022]. Disponible en: <https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol4-Aspectos-de-sustentabilidad-y-sostenibilidad-social-y-ambiental.pdf>

CUI, Y.; et al. Microbial fuel cell-based biosensors. *Biosensors* [en línea], 2019, vol. 9, no. 3, [consulta: 25 abril 2023]. ISSN 20796374. DOI 10.3390/bios9030092. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2079-6374/9/3/92>

DAHUNSI, S.O. Electricity generation from food wastes and spent animal beddings with nutrients recirculation in catalytic fuel cell. *Scientific Reports* [en línea], 2020, vol. 10, no. 1, [consulta: 12 octubre 2022]. ISSN 20452322. DOI 10.1038/s41598-020-67356-0. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-67356-0#:~:text=A%20biochemical%20system%20was%20used,were%20analyzed%20for%20their%20components>

DEL ANGEL CORONEL, O.A.; et al. Efecto del sustrato hidropónico sobre los atributos de calidad fisicoquímica y fisiológica de frutos de jitomate (*Solanum lycopersicum* var. saladette). *Revista del Desarrollo Tecnológico* [en línea], 2019, vol. 3, no. 9, [consulta: 12 junio 2022]. DOI 10.35429/jtd.2019.9.3.1.12. Disponible en: https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Desarrollo_Tecnologico/vol3num9/Revista_del_Desarrollo_Tecnologico_V3_N9_1.pdf

DUCHE Y., X. & BAHAMONDE S., R., ADVANCES IN THE TREATMENT OF FOOD WASTEWATER FOR THE PRODUCTION OF BIOENERGY IN MICROBIAL FUEL CELLS:

A REVIEW. *infoANALÍTICA* [en línea], 2021, [consulta: 4 marzo 2023]. ISSN 2477-8788. DOI 10.26807/ia.vi.193. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8382705>

FAO; et al. Manual de biogás. [en línea]. Santiago de Chile: 2011, [consulta: 4 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>.

FAO, O. de las N.U. para la A. y la A., 2017. Bioenergía . [en línea]. [consulta: 10 junio 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/energy/bioenergy/es/>

FERRARI, I.V.; et al. *A Short Overview of Biological Fuel Cells* [en línea]. 1 abril 2022. S.l.: MDPI. [consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2077-0375/12/4/427>.

FORBES, B.A.; et al. *Diagnóstico Microbiológico* [en línea]. 12. Madrid: Editorial Médica Panamericana S.A., 2009, [consulta: 31 julio 2022]. ISBN 978-950-06-8243-5. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=239cauKqSt0C&pg=PA365&lpg=PA365&dq=CULTIVO+DE+DELFTIA+ACIDOVORANS&source=bl&ots=2RgEgl7JHf&sig=ACfU3U1T4eioQiYf_snn9Wu_9QZiUtgYVhg&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj82bv416b5AhXutYQIHQQEAb04FBDoAXoECBIQAw#v=onepage&q&f=false

GARAVAGLIA, L.; et al. Optimización de parámetros para la biotransformación de Cr(VI) de sistemas acuosos mediada por bacterias autóctonas. [en línea]. S.l.: 2006, [consulta: 31 julio 2022]. Disponible en: https://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=Buscar&id=32231&congresos=yes&detalles=yes&congr_id=234364

GONÇALVES, G.; et al. Production of bio-oil and activated carbon from sugarcane bagasse and molasses. *Biomass and Bioenergy* [en línea], 2016, vol. 85, [consulta: 8 agosto 2022]. ISSN 18732909. DOI 10.1016/j.biombioe.2015.12.013. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/288056341_Production_of_bio-oil_and_activated_carbon_from_sugarcane_bagasse_and_molasses

GONZÁLEZ MARQUETTI, I.; et al. Artículo Reseña Biochar y su contribución a la nutrición, crecimiento y defensa de las plantas Biochar and its contribution to plant nutrition, growth and defense. *Revista de Protección Vegetal* [en línea], 2021, vol. 35, no. 2, [consulta: 4 marzo 2023]. ISSN 2224-4697. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/348686777_Articulo_Resena_Biochar_y_su_contribu

cion_a_la_nutricion_crecimiento_y_defensa_de_las_plantas_Biochar_and_its_contribution_to_plant_nutrition_growth_and_defense

GREENMAN, J.; et al. Microbial fuel cell compared to a chemostat. *Chemosphere* [en línea], 2022, vol. 296, [consulta: 10 junio 2022]. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2022.133967. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S004565352200460X?token=F770CC8CAF4617628FC1C374530E2376F4A9C10FA05658459D52CB2D397C6CDC6AB15FC785AEC515EB13539B6B98FCD8&originRegion=us-east-1&originCreation=20220611220144>

GUAMBO, A.; et al. Sensors & Transducers Environmental Biosensor Potential of Microbial Fuel Cells for Nitrate Reduction. *Sensors & Transducers* [en línea], 2017, vol. 217, no. 11, [consulta: 18 junio 2022]. Disponible en: https://www.sensorsportal.com/HTML/DIGEST/november_2017/Vol_217/P_2958.pdf

GUAMBO, A.F.; et al. Benefit of a High Andean Soil Microorganism in Renewable Energy Production using nitrates as an inorganic compound Beneficio de un Microorganismo de Suelo Alto Andino para la producción de Energía Renovable usando nitratos como compuesto inorgánico. [en línea]. 2020: [consulta: 25 junio 2022]. Disponible en: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-60467-7_17

GUAMBO, A.-F.; et al. REVISIÓN DEL DESARROLLO DE LA TECNOLOGÍA MFC PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOELECTRICIDAD A PARTIR DE RESIDUOS ORGÁNICOS-ESPOCH. *Perfiles* [en línea], 2016, vol. 2, no. 16, [consulta: 18 junio 2022]. ISSN 2477-9105. Disponible en: <http://ceaa.esPOCH.edu.ec:8080/revista.perfiles/Articulos/Perfiles16Art8.pdf>

GUAMBO GALARZA, A.; et al. Evaluación de grafeno y magnetita como membranas de intercambio de electrones en celdas de combustible microbianas con sustratos orgánicos para producir bioelectricidad. *ACI Avances en Ciencias e Ingenierías* [en línea], 2021, vol. 13, no. 1, [consulta: 18 junio 2022]. ISSN 1390-5384. DOI 10.18272/aci.v13i1.1942. Disponible en: <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/avances/article/view/1942/2438>

GUEVARA VERA, A. *Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anae* [en línea]. Lima: Repidisca. [consulta: 5 marzo 2023], 1996. Disponible en: <http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=REPIDISCA&lang=p&nxtAction=lnk&exprSearch=51547&indexSearch=ID>

GUIDA, M. Y. & HANNIOUI, Adbellah. Properties of bio-oil and bio-char produced by sugar cane bagasse pyrolysis in a stainless steel tubular reactor. *Progress in Agricultural Engineering Sciences* [en línea], 2017, vol. 13, no. 1, [consulta: 8 agosto 2022]. ISSN 17870321. DOI 10.1556/446.13.2017.2. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/321860899_Properties_of_bio-oil_and_bio-char_produced_by_sugar_cane_bagasse_pyrolysis_in_a_stainless_steel_tubular_reactor

HERNÁNDEZ SAMPIERI, R.; et al. *Metodología de la investigación* [en línea]. Sexta. S.l.: Mc.GRAW-HILL International Editores,S.A.de C.V., 2014, [consulta: 25 junio 2022]. ISBN 978-1-4562-2396-0. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

HSU, D.J.Y.; et al. The Potential of using Microbial Fuel Cells as a «Quality» Monitor for Ornamental Seawater Aquarium. *Journal of Applied Biotechnology Reports* [en línea], 2022, vol. 9, no. 4, [consulta: 23 abril 2023]. ISSN 24235784. DOI 10.30491/JABR.2022.339807.1524. Disponible en: http://www.biotechrep.ir/article_163955_08c27c503a55599a146812f6af8d191d.pdf

INEC. Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales -Gestión de Residuos Sólidos 2020. [en línea], Quito: [consulta: 4 marzo 2023]. Disponible en: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2020/Residuos_solidos_2020/Presentacion_residuos_2020.pdf

ISLAM, M.A.; et al. Microbial synergistic interactions enhanced power generation in co-culture driven microbial fuel cell. *Science of the Total Environment* [en línea], 2020, vol. 738, [consulta: 18 abril 2023]. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.140138. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720336597?via%3Dihub>

JACOME PILCO, C.; et al. Microalgae in the treatment of wastewater from the curtiembres industry. *Environmental Sciences* [en línea], 2021, vol. 14, no. 2, [consulta: 4 marzo 2023]. ISSN 1390-4051. DOI <https://doi.org/10.18779/cyt.v14i2.502>. Disponible en: <https://revistas.uteq.edu.ec/index.php/cyt/article/view/502/563>

KAKARLA, R. & MIN, B. Sustainable electricity generation and ammonium removal by microbial fuel cell with a microalgae assisted cathode at various environmental conditions.

Bioresource Technology [en línea], 2019, vol. 284, [consulta: 25 abril 2023]. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2019.03.111. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852419304742>

KHAN, A.M. & NAZ, S. Biopower Generation from Kitchen Wastewater Using a Bioreactor. *Water Environment Research* [en línea], 2014, vol. 86, no. 1, [consulta: 25 abril 2023]. ISSN 10614303. DOI 10.2175/106143013X13807328848577. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/260715784_Biopower_Generation_from_Kitchen_Wastewater_Using_a_Bioreactor

KHOIRUNNISA, N.S.; et al. Effect of organic substrate type in electricity production from microbial fuel cell (MFC) inoculated by *Staphylococcus saprophyticus* ICBB 9554. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [en línea]. 2021: IOP Publishing Ltd, [consulta: 12 junio 2022]. vol. 927. DOI 10.1088/1755-1315/927/1/012028. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/927/1/012028/pdf>

KIMINAITÉ, I.; et al. Fabrication and characterization of environmentally friendly biochar anode. *Energies* [en línea], 2022, vol. 15, no. 1, [consulta: 11 junio 2022]. ISSN 19961073. DOI 10.3390/en15010112. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/1/112/pdf>

KUMAR, P.; et al. Polymer Electrolyte Membranes for Microbial Fuel Cells: Part A. Nafion-Based Membranes. *Progress and Recent Trends in Microbial Fuel Cells* [en línea], 2018, [consulta: 23 abril 2023]. DOI 10.1016/B978-0-444-64017-8.00004-X. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978044464017800004X?via%3Dihub>

LI, S.; et al. Sustainable biochar as an electrocatalysts for the oxygen reduction reaction in microbial fuel cells [en línea]. 1 octubre 2021. S.l.: KeAi Publishing Communications Ltd. [consulta: 10 junio 2022]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S246802572030203X>

LI, X.; et al. Cation accumulation leads to the electrode aging in soil microbial fuel cells. *Journal of Soils and Sediments* [en línea], 2018, vol. 18, no. 3, [consulta: 16 mayo 2023]. ISSN 16147480. DOI 10.1007/s11368-017-1785-2. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11368-017-1785-2>

LIU, Q.; et al. Review of research on anaerobic fermentation of food waste. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [en línea]. 2019: Institute of Physics Publishing, [consulta: 12 octubre 2022]. vol. 330. DOI 10.1088/1755-1315/330/3/032041. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/330/3/032041/pdf>

LOGAN, B.E.; et al. *Electroactive microorganisms in bioelectrochemical systems* [en línea]. 1 mayo 2019. S.l.: Nature Publishing Group. [consulta: 11 junio 2022]. Disponible en: https://repository.kaust.edu.sa/bitstream/handle/10754/631553/Manuscript_KAUST%20Repository.pdf;jsessionid=8703F5332246B2802138FB1CC72F43FF?sequence=1

LÓRÁNT, B.; et al. Improving the performance of microbial fuel cells with modified carbon aerogel based cathode catalysts. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering* [en línea], 2022, vol. 66, no. 1, [consulta: 10 junio 2022]. ISSN 15873765. DOI 10.3311/PPch.18854. Disponible en: <https://pp.bme.hu/ch/article/view/18854/9256>

MAGOTRA, V.K.; et al. Compost Soil Microbial fuel cell to Generate power using Urea as fuel. *SCIENTIFIC REPORTS* [en línea], 2020, vol. 10, [consulta: 12 junio 2022]. DOI 10.1038/s41598-020-61038-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-61038-7>

MARZORATI, S.; et al. Ligno-cellulosic materials as air-water separators in low-tech microbial fuel cells for nutrients recovery. *Journal of Cleaner Production* [en línea], 2018, vol. 170, [consulta: 16 mayo 2023]. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.09.142. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652617321364>

MASSON DELMOTTE, V.; et al. *Calentamiento global de 1,5°C . Informe especial del IPCC sobre los impactos del calentamiento global de 1,5°C. Intergovernmental Panel on Climate Change.* [en línea]. S.l.: 2019, [consulta: 18 junio 2022]. ISBN 9789291693535. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf

MASTEPANOV, A. & CHIGAREV, B. The Energy Trilemma Index как оценка энергетической безопасности. *Ministerio de Energía* [en línea]. 2020, [consulta: 7 mayo 2022]. Disponible en: <https://energypolicy.ru/a-mastepanov-b-chigarev-the-energy-trilemma-index-kak-oczenk/energetika/2020/17/21/>

MAZO RODRIGUEZ, M.I. «IDENTIFICACIÓN MOLECULAR DE BACTERIAS ELECTROGÉNICAS A PARTIR DE LA BIOPELÍCULA ANÓDICA DE CELDAS DE

COMBUSTIBLE MICROBIANA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOELECTRICIDAD» [en línea]. Riobamba: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. 2020, [consulta: 4 marzo 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14069/1/236T0482.pdf>

MORADIAN, J.M.; et al. *Recent advances on biomass-fueled microbial fuel cell* [en línea]. 1 diciembre 2021. S.l.: Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. [consulta: 10 junio 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/348734304_Recent_advances_on_biomass-fueled_microbial_fuel_cell

NARAYANAN, K.A.; et al. A membrane less, single chamber microbial fuel cell for waste water treatment. *Asian Journal of Scientific Research* [en línea], 2012, vol. 5, no. 4, [consulta: 12 junio 2022]. ISSN 19921454. DOI 10.3923/AJSR.2012.255.262. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/269647234_A_Membrane_Less_Single_Chamber_Microbial_Fuel_Cell_for_Waste_Water_Treatment

NAWAZ, A.; et al. *Microbial fuel cells: Insight into simultaneous wastewater treatment and bioelectricity generation* [en línea]. 1 mayo 2022. S.l.: Institution of Chemical Engineers. [consulta: 10 junio 2022]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S095758202200252X?token=026411C3600708E5C5F036A54757452476140EFEA91ECB4D34CA46681D32D590950E200CFC0C5D8AF9CE9C54CE65DD83&originRegion=us-east-1&originCreation=20220611221923>

NOVILLO VICUÑA, J.P. ; et al. Monitoreo inalámbrico de señales eléctricas de voltaje 110/220V a través de Arduino. *Alternativas*, 2019, vol. 19, no. 1, ISSN 1390-1915. DOI 10.23878/alternativas.v19i1.198.

OBILEKE, K.C.; et al. *Microbial fuel cells, a renewable energy technology for bio-electricity generation: A mini-review* [en línea]. 1 abril 2021. S.l.: Elsevier Inc. [consulta: 4 marzo 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ELECOM.2021.107003>

ORTIZ URETA, A.C. & BLANCO BLASCO, T., 2011. *Alimentos Bromatología* [en línea]. Segunda. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). [consulta: 22 mayo 2023]. ISBN 978-612-4041-61-7. Disponible en: https://www.academia.edu/31033705/Alimentos_Bromatologia_2a_Edicion

OVIEDO OCAÑA, E.R. Hydroelectric Dams: effects on ecosystems and environmental health. . *Revista de la Universidad Industrial de Santander*. [en línea], 2018, vol. 50, no. 3, [consulta: 4 marzo 2023]. Disponible en: <https://doi.org/https://doi.org/10.18273/revsal.v50n3-2018003>

PARK, Y.; et al. Understanding complete ammonium removal mechanism in single-chamber microbial fuel cells based on microbial ecology. *Science of the Total Environment* [en línea], 2021, vol. 764, [consulta: 25 abril 2023]. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2020.144231. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33385649/>

PATWARDHAN, S.B.; et al. *Recent advances in the application of biochar in microbial electrochemical cells* [en línea]. 1 marzo 2022. S.l.: Elsevier Ltd. [consulta: 10 junio 2022]. Disponible en: https://acris.aalto.fi/ws/portalfiles/portal/77910298/CHEM_Patwardhan_et_al_Recent_advances_in_the_application_2022_Fuel.pdf

PETRY, C.T.; et al. Removal of ammoniacal nitrogen from municipal landfill leachate with floating *Typha domingensis* (Typhaceae). *Acta Biológica Colombiana* [en línea], 2020, vol. 25, no. 1, [consulta: 15 febrero 2023]. ISSN 0120-548X. DOI 10.15446/abc.v25n1.74749. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/74749>

QUOSAI, P.; et al. Characterization of biocarbon generated by high- and low-temperature pyrolysis of soy hulls and coffee chaff: For polymer composite applications. *Royal Society Open Science* [en línea], 2018, vol. 5, no. 8, [consulta: 19 agosto 2022]. ISSN 20545703. DOI 10.1098/rsos.171970. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327159104_Characterization_of_biocarbon_generated_by_high-_and_low-temperature_pyrolysis_of_soy_hulls_and_coffee_chaff_For_polymer_composite_applications

RACHINSKI, S.; et al. Pilhas de combustíveis microbianas utilizadas na produção de eletricidade a partir de rejeitos orgânicos: uma perspectiva de futuro - microbial fuel cells used in the production of electricity from organic waste: a perspective of future. *Quim. Nova* [en línea]. 2010: [consulta: 11 junio 2022]. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/qn/a/zYHgdsymj6ZKSCYFKR6n3WH/abstract/?lang=en>

RAGHAVULU, S.V.; et al. Effect of anodic pH microenvironment on microbial fuel cell (MFC) performance in concurrence with aerated and ferricyanide catholytes. *Electrochemistry Communications* [en línea], 2009, vol. 11, no. 2, [consulta: 23 abril 2023]. ISSN 1388-2481. DOI 10.1016/J.ELECOM.2008.11.038. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1388248108005638>

RAHIMNEJAD, M.; et al. *Microbial fuel cell as new technology for bioelectricity generation: A review* [en línea]. 1 septiembre 2015. S.l.: Elsevier B.V. [consulta: 26 abril 2023]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1110016815000484?token=069822EF85C9646F76BE0BA02B9E79057097109F747A97F6863906DF17FA505B3730E614266AB29D5952E9271D60BFDA&originRegion=us-east-1&originCreation=20230427182324>

RESANO, D.; et al. Caracterización fisicoquímica del bagazo de caña de azúcar industrial y artesanal como material de construcción. *Formación Tecnológica* [en línea], 2022, vol. 33, no. 2, [consulta: 19 abril 2023]. DOI 10.4067/S0718-07642022000200247. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000200247>

RIERA, M.A.; et al. Residuos agroindustriales generados en Ecuador para la elaboración de bioplásticos. *Revista Ingeniería Industrial* [en línea], 2019, vol. 17, no. 3, ISSN 07179103. DOI 10.22320/S07179103/2018.13. Disponible en: <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RI/article/view/3924>

RIVAS VELEZ, J.K. *Caracterización molecular de cultivos axénicos para el tratamiento de lixiviados mediante celdas de combustible microbianas*. 2022, [en línea]. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [consulta: 20 mayo 2023]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/17615/1/236T0614.pdf>

ROSSI, R.; et al. Impact of flow recirculation and anode dimensions on performance of a large scale microbial fuel cell. *Journal of Power Sources* [en línea], 2019, vol. 412, [consulta: 12 junio 2022]. ISSN 03787753. DOI 10.1016/j.jpowsour.2018.11.054. Disponible en: <https://sites.psu.edu/brucelogan/files/2017/06/2019-Rossi-et-al-JPS-flowbrushes-1zs4wh5.pdf>

SÁNCHEZ, M.; et al. Generación de energía eléctrica y tratamiento de aguas residuales mediante celdas de combustible microbianas. *NovasinerGía* [en línea], 2021, vol. 4, no. 1,

[consulta: 4 marzo 2023]. ISSN 2631-2654. DOI <https://doi.org/10.37135/ns.01.07.10>. Disponible en: <https://novasinerгия.unach.edu.ec/index.php/novasinerгия/article/view/246/230>

SATO, C.; et al. Single-chamber microbial fuel cell with multiple plates of bamboo charcoal anode: Performance evaluation. *Processes* [en línea], 2021, vol. 9, no. 12, [consulta: 11 junio 2022]. ISSN 22279717. DOI 10.3390/pr9122194. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/356815719_Single-Chamber_Microbial_Fuel_Cell_with_Multiple_Plates_of_Bamboo_Charcoal_Anode_Performance_Evaluation

SHARMA, K.; et al. Microbial Electrochemical Treatment of Methyl Red Dye Degradation Using Co-Culture Method. *Water (Switzerland)* [en línea], 2023, vol. 15, no. 1, [consulta: 18 abril 2023]. ISSN 20734441. DOI 10.3390/w15010056. Disponible en: [chrome-extension://dagcmkpagjlhakfdhnbomgmjdpkdklff/enhanced-reader.html?openApp&pdf=https%3A%2F%2Fmdpi-res.com%2F_attachment%2Fwater%2Fwater-15-00056%2Farticle_deploy%2Fwater-15-00056-v3.pdf%3Fversion%3D1672278563](https://www.mdpi.com/2073-4441/15/1/56/attachment/water-15-00056/article_deploy/water-15-00056-v3.pdf?version=3D1672278563)

SLATE, A.J.; et al. *Microbial fuel cells: An overview of current technology* [en línea]. 1 marzo 2019. S.l.: Elsevier Ltd. [consulta: 19 abril 2023]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1364032118306920?token=2712FA6A306AC10635361B26CA7ABEBFCBB55C25228A760AFA75136A52876639C4341A68812D775322DACB2B1ECA63FE&originRegion=us-east-1&originCreation=20230420172139>

SLOMOVITZ, D.; et al. A simple implementation of a low power-factor wattmeter. *Measurement: Sensors* [en línea]. 2021: Elsevier Ltd, [consulta: 12 junio 2022]. vol. 18. DOI 10.1016/j.measen.2021.100073. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665917421000362>

SPÚLVEDA ASPRILLA, N.I. Estudio de la bioelectricidad y su potencial aplicación como biotecnología ambiental emergente en el contexto del departamento del Chocó. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2015, vol. 1, [consulta: 10 junio 2022]. ISSN 2007-0934. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263139243062>

TARDY, G.M.; et al. Microbial fuel cell biosensor for the determination of biochemical oxygen demand of wastewater samples containing readily and slowly biodegradable organics.

Biotechnology Letters [en línea], 2021, vol. 43, no. 2, [consulta: 1 mayo 2023]. ISSN 15736776. DOI 10.1007/s10529-020-03050-5. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10529-020-03050-5.pdf>

TARIQ, M.; et al. Bioenergy potential of albumin, acetic acid, sucrose, and blood in microbial fuel cells treating synthetic wastewater. *Processes* [en línea], 2021, vol. 9, no. 8, [consulta: 12 junio 2022]. ISSN 22279717. DOI 10.3390/pr9081289. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2227-9717/9/8/1289/pdf>

TORRES TRUJILLO, H.; et al. Uso de proceso micro aireación para reducir concentración de H₂S en biodigestores tubulares de geomembrana. *RedBioLAC* [en línea], 2021, vol. 5, [consulta: 4 marzo 2023]. Disponible en: <http://redbiolac.org/wp-content/uploads/2021/12/Revista-RedBioLAC-2021-1.pdf>

TREMOULI, A.; et al. The Effects of Salinity, pH and Temperature on the Performance of a Microbial Fuel Cell. *Waste and Biomass Valorization* [en línea], 2017, vol. 8, no. 6, [consulta: 23 abril 2023]. ISSN 1877265X. DOI 10.1007/s12649-016-9712-0. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12649-016-9712-0>

WANG, X. & TIAN, Y. Seasonal variations of pollutants removal and microbial activity in integrated constructed wetland–microbial fuel cell systems. *Water Reuse* [en línea], 2021, vol. 11, no. 2, [consulta: 24 abril 2023]. ISSN 27096106. DOI 10.2166/wrd.2021.094. Disponible en: <https://iwaponline.com/jwrd/article/11/2/312/80672/Seasonal-variations-of-pollutants-removal-and>

XIAO, Y.; et al. Investigating the response of electrogenic metabolism to salinity in saline wastewater treatment for optimal energy output via microbial fuel cells. *Science of The Total Environment* [en línea], 2021, vol. 783, no. 147092, [consulta: 24 abril 2023]. ISSN 0048-9697. DOI 10.1016/J.SCITOTENV.2021.147092. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721021628>

XU, X.; et al. Biodegradation of organic matter and anodic microbial communities analysis in sediment microbial fuel cells with/without Fe(III) oxide addition. *Bioresource Technology* [en línea], 2017, vol. 225, [consulta: 5 marzo 2023]. ISSN 0960-8524. DOI 10.1016/J.BIORTECH.2016.11.126. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852416316479>

YANTO, D.; et al. Reaction kinetic of pyrolysis in mechanism of pyrolysis-gasification process of dry torrefied-sugarcane bagasse. *ARP Journal of Engineering and Applied Sciences* [en línea], 2016, vol. 11, no. 16, [consulta: 5 marzo 2023]. ISSN 1819-6608. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/309118831>

YOSHIZU, D.; et al. Use of Microbial Fuel Cells for the Treatment of Residue Effluents Discharged from an Anaerobic Digester Treating Food Wastes. *Microorganisms* [en línea], 2023, vol. 11, no. 3, [consulta: 19 abril 2023]. ISSN 20762607. DOI 10.3390/microorganisms11030598. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2076-2607/11/3/598>

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Papelet' followed by a stylized flourish.

ANEXOS

ANEXO A: CONSTRUCCIÓN DEL DIGESTOR

A un recipiente de 50 L se le incorporó un adaptador de ½" Flex con una manguera flexible industrial para gas de ¼" de 1 m a la cual se le conecto otro adaptador de ½" Flex con su respectiva unión de Flex ¼" que conecte a una llave de paso de metal de ½".

El filtro de agua al cual se le conectó del biodigestor se realizó en una botella plástica de 6 L con un agujero que estará enlazado a una unión de ¼" y a la manguera de gas industrial de 1m conectada a la llave de paso de metal previamente ensamblada y unida a al adaptador de ½" de tanques.

En la Tapa del digestor se le adaptó el manómetro de presión para controlar la presión interna del biodigestor y además un medidor de pH, temperatura y humedad digital para poder realizar el monitoreo de los parámetros con mayor facilidad.

Una vez terminado el proceso de digestión anaerobia se realizó la filtración con la ayuda de un tanque adaptado con 3 capas de mallas plásticas de polietileno con el propósito de retener la mayor cantidad de sólidos presentes en el biol. Terminado el proceso de fermentación se determinó mediante las siguientes ecuaciones las cantidades reales de lo obtenido de biol, biosol y biogás partiendo de la ecuación básica de balance de masa:

Para el balance de masa se tuvo en cuenta la relación de 1Kg/1L para poder realizar la transformación de la fibra bruta de entrada a alimentar el digestor y los Kg que se han de obtener de la materia sólida al finalizar el proceso.

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$A + BC + M + C = G + B + D$$

Donde

A= Agua requerida para obtener Biol ($\rho=1$ Kg/L)

BC= Bagazo de caña de azúcar (Fibra bruta con un 9% de humedad) para obtener Biol.

G= Biogás

B=Biol (Dato medido en laboratorio al finalizar la digestión $\rho=0,9602$ Kg/L)

C= Ceniza de caldera de destilación de Etanol de la misma Finca

M= Melaza (Dato de su empaque comercial $\rho=1,39$ Kg/L)

D=Bio sol o bagazo de caña de azúcar no degradado

ANEXO B: ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS

- **Determinación de cenizas**

En la caracterización de residuos se reconoce de relevancia la presencia de compuestos inorgánicos y minerales como calcio, hierro e iones como fosfatos y cloruros actores dentro de los procesos de intercambio iónico dada en las digestiones biológicas de la materia orgánica.

- Se taro los crisoles usando una mufla durante un periodo de 4 horas.
- Una vez tarado se dejó enfriar dentro de un desecador por 40 minutos y se pesó los crisoles en una abalanza analítica.
- Dentro del crisol se pesó 2 g de muestra preparada en la balanza.
- En la estufa dentro de la cámara de flujo se calcina la muestra vigilando que no se genere humo negro.
- Dentro de la mufla se calcinó la muestra a 550°C durante 3 horas.
- Terminado la calcinación se colocó la muestra en un desecador durante 4 minutos.
- Culminado el proceso anterior se pesó los crisoles y apuntar los resultados.
- Se calcularon los resultados para cada una de las muestras.

Calculo

$$\% \text{Ceniza} = \frac{(PC) - (P)}{(PM) - (P)} * 100$$

Donde:

PC: Peso del crisol + ceniza (Peso del crisol con la muestra después de la incineración)

P: Peso del crisol vacío

PM: Peso del crisol con la muestra antes de la incineración.

- **Determinación de humedad higroscópica**

Una de las principales razones de la determinación de humedad higroscópica es debido al papel del agua en el transporte de elementos nutricionales en el diferente proceso y sistemas biológicos. Previo al análisis se prepara la muestra a 60 °C que posteriormente se calienta a 105 °C para eliminar la totalidad de humedad.

- Se realiza el tarado de los crisoles a usar dentro de una estufa a 105 °C durante 3 horas.
- Terminado el tarado se pasan los crisoles con ayuda de una pinza a un desecador durante 30 minutos y hasta que este se enfríe.
- Se pesa 3 g de la muestra y se coloca en la capsula y se pesa para obtener el (PC + MF)
- Colocamos el crisol con la muestra dentro de la estufa nuevamente a 105 °C por un periodo de 12 horas aproximadamente y posteriormente se coloca dentro de un desecador hasta que se enfríe.
- Se pesa la muestra seca y se anota los resultados (PC+MS). Se realizan los cálculos correspondientes en cada una de las muestras.

Nota: Recordar que los análisis se realizarán por triplicado para tener mayor seguridad en los resultados.

Cálculo

$$\% \text{Materia Seca} = \frac{(PC+MS)-(PC)}{(PC+MF)-(PC)} * 100$$

Donde:

PC: Peso del crisol

MS: Peso de la muestra seca

MF: Peso de la muestra fresca

$$\% \text{ Humedad} = 100 - \% \text{Materia Seca}$$

• **Extracto Etéreo**

La determinación del extracto etéreo se fundamenta en la determinación de la composición en masa de los compuestos lipídicos presentes en la muestra, las cuales se pueden extraer con la aplicación de hexano por evaporación que al pasar por un proceso de separación de compuestos solubles los cuales son recogidos en un beaker. Se termina el proceso con una destilación completa del hexano y los residuos grasos secos presentes en el beaker.

- Dentro de la estufa se colocó los breakers durante 2 horas a 100 °C

- Una vez terminado este proceso se debe enfriar durante 30 minutos la muestra en un desecador.
- Con cuidado se retiran los beakers, se pesa y anota los resultados.
- Se pesa 1 g de muestra y sobre un trozo de papel limpio colocamos con cuidado en un dedal de celulosa que contiene papel filtro y cubrimos con cuidado con un poco de algodón.
- Colocamos la muestra en una porta dedal de vidrio y lo colocamos dentro del equipo de Goldfish en los ganchos metálicos.
- Se coloca en los beakers 40 mL de hexano.
- Insertamos los beakers y ajustamos los anillos del equipo Goldfish.
- Se abrió la válvula de los refrigerantes y controlamos el tiempo.
- Durante cuatro horas observamos la evaporación del hexano hasta que se dé la finalización de la extracción.
- Al terminar este proceso con cuidado se pasará la muestra a la estufa durante 30 minutos a 105 °C.
- Para enfriar la muestra se pasó a un desecador durante 30 minutos.
- Se pesó la muestra una vez fría en una balanza analítica y se anotan los resultados.
- Se realizan los cálculos correspondientes para cada una de las muestras.

Calculo:

$$\%E. E = \frac{(PB+E.E)-(PBs)}{(PP+M)-(PPs)} * 100$$

$$\%E.E. Base Seca = \frac{100*\%e.e.}{(\% Materia Seca)}$$

Donde:

PB: Peso Beaker

EE: Extracto Etéreo medido

PP: Peso del papel

M: Muestra

PPs: Peso del papel solo

PBs: Peso Beaker solo

- **Fibra Cruda**

La importancia de la determinación de la fibra contenida en una muestra es la identificación de fibra cruda resultando de la digestión ácida (Ácido sulfúrico) para la extracción de azúcares y almidón, y básica (Hidróxido de sodio), que elimina las proteínas y la fracción de lignina y hemicelulosa restantes. Esta prueba generalmente es usada para evaluar la facilidad de digestión de la fracción menos digerible de las muestras.

- Pesamos en un papel 1g de muestra (Taramos la balanza previamente con el peso del papel)
- Añadimos en un beaker de digestión de 600 mL la muestra, pesamos y anotamos.
- Le añadimos 200 mL de una solución 0,13 M de H_2SO_4 (Ácido Sulfúrico) y 3 mL de Alcohol-n-amílico en cada uno de los beakers con las muestras problema.
- Dentro del equipo de extracción de fibra cruda se colocan los beakers en cada una de las hornillas y en los tubos refrigerantes correspondientes.
- Regulamos la temperatura para el inicio la digestión ácida y abrimos la válvula del sistema de refrigeración.
- Una vez hierva la muestra se espera 30 minutos adicionales al punto de ebullición y se agrega 20 mL de NaOH al 22% y se deja durante 30 minutos exactamente en el equipo. Recordamos que se toman los tiempos a partir de la ebullición de la solución y evitando que la muestra se adhiera a las paredes.
- Se coloca nuevamente los beakers en el equipo y regulamos la temperatura el inicio de la digestión alcalina.
- Para filtrar los sólidos se prepara el Kitasato conectado a una bomba de vacío, posteriormente se lava los beakers con agua destilada observando que no quede ningún residuo de la muestra. Este lavado se realiza con 200 mL de agua con cuidado de que la muestra se riegue por las pares del crisol y agregar la lana de vidrio a los crisoles preparados con anterioridad.
- Levamos los crisoles preparados a $105^{\circ}C$ en una estufa durante 8 horas.
- Para enfriar el crisol se pasan estos a un desecador durante unos 40 minutos, se pesa y anota los resultados.
- Los crisoles con la muestra utilizando una pinza se los lleva a una mufla durante 1,5 horas a una temperatura de $500^{\circ}C$.
- De igual forma para enfriar los crisoles se los coloca con ayuda de una pinza dentro de un desecador durante 40 minutos, se pesa y anota los resultados.

Cálculos

$$\%FC = \frac{(W1) - (W2)}{W_o} * 100$$

$$\%FC. BASE SECA = \frac{100 * \% FC}{\% de la MS}$$

Donde:

W1= Peso del crisol más la muestra a 105 °C

W2= Peso del crisol más la muestra a 500 °C (al terminar el proceso en la mufla)

W0= Peso del crisol tarado.

MS: Muestra Seca

• Proteína Total

El método de la identificación de la proteína total se fundamenta en la desintegración de todo material degradable presente en la muestra con la aplicación de una solución ácida concentrada de ácido sulfúrico (H₂SO₄) mientras se forma agua y anhídridos carbónicos con la aplicación de mercurio (Hg) como el catalizador de la reacción. Al proceso lo dividimos en tres fases, la fase de digestión, la de destilación y la de titulación.

FASE DE DIGESTIÓN

- Pesamos 1 g de la muestra seca en un papel dentro de una balanza analítica y anotamos el valor.
- La muestra pesada se coloca dentro del tubo de Kjeldahl
- Para cada una de las muestras en cada uno de los balones se agrega 2 g de la muestra catalizadora catalizadora (1,8 g de K₂SO₄ o Na₂SO₄ y 0,2 g de CuSO₄) procurando no manchar las paredes del mismo.
- En cada tubo de Kjeldahl se añade 25 mL de Ácido Sulfúrico concentrado (H₂SO₄) al 97% de pureza.
- Colocar el tubo en el digestor, conectar el digestor y la bomba de agua, verificar la entrada de agua en las tres llaves; prender los interruptores de la bomba (1), digestor (1'); pulsar el botón Prog (aparece 80), luego el de Time (aparece 90), pulsar stop y finalmente run (observar que 80 y 90 estén titilando). Cuando time llegue a 0, apagar el digestor y dejar enfriar el tubo.

- El tiempo de digestión fue de 3 horas los primeros 20 min a 350°C, la siguiente 1:10 h a 370 °C, 40 min a 390°C y los últimos 10 min a 410 °C.

FASE DE DESTILACIÓN

- Colocar el tubo en la parte izquierda del destilador.
- En la parte derecha del destilador colocar un Erlenmeyer de 500 mL con 50 mL de ácido bórico al 4% y 10 gotas del indicador mixto (rojo de metilo y verde de bromocresol), se observará un color rojo.
- Cerrar herméticamente la puerta del destilador, conectar el equipo, aplastar el interruptor del mismo (parte posterior derecha) y seguir las instrucciones del POE colocado en la parte lateral derecha del mismo. Con un tiempo de destilación de 5min.
- Al finalizar la destilación (se observará un color verde esmeralda)
- Lavar perfectamente el equipo.

FASE DE TITULACIÓN

- Para la titulación se preparará una solución de ácido clorhídrico (HCl) al 0,0489 N como reactivo indicador.
- Se realiza la titulación hasta obtener un cambio de color a rosado en el matraz Erlenmeyer con el destilado obtenido del proceso anterior de cada una de las muestras.
- Se anota el volumen de Ácido clorhídrico usado.

Cálculo

$$\%PT \text{ o Nitrógeno Kjeldahl} = \frac{HCl \text{ a } 0,0489 \text{ Normal estandarizado} * 0,014 * mL \text{ de HCl al } 0,0489 \text{ N gastado}}{PM}$$

$$\%PT \text{ en base seca} = \frac{100 * \% PT}{\% \text{ de la MS}}$$

Donde:

PM: peso de la muestra

%PT: Porcentaje de proteína total

%MS: Porcentaje de Muestra seca

14,01 / 1000 = 0,0014 (constante de conversión)

- **Extracto Libre de Nitrógeno (ELN).**

El extracto libre de nitrógeno es el resultado que agrupa en un único valor a los resultados bromatológicos con los compuestos digeribles como carbohidrato y compuestos solubles orgánicos libres de nitrógeno o que en su estructura no contiene este elemento. Este se calcula con la aplicación de la siguiente ecuación.

$$\% \text{ ELN} = 100 - (\% \text{ Ceniza} + \% \text{ FC} + \% \text{ EE} + \% \text{ PC})$$

Dónde:

% FC: Porcentaje de Fibra Cruda

% EE: Porcentaje de extracto etéreo

% PC: Porcentaje de Proteína Cruda

Nota: Las muestras finales bromatológicos requirieron disolución por la cantidad por muestra necesaria para su análisis.

ANEXO C: ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

- **pH**

Para la medición del pH o potencial de hidrogeno de los sustratos, se midió el grado de acides o de alcalinidad de las muestras con la ayuda de un potenciómetro. Cada una de las muestras fue vertida dentro de un vaso de precipitación con el suficiente volumen para que el electrodo del equipo pueda realizar la medición. Para la medición se enciende el equipo y se preocupa que este esté calibrado y en perfecto funcionamiento. Una vez verificado su funcionamiento se realiza una medición directa de cada muestra lavando el electrodo con agua destilada previo a realizar cada lectura. El análisis se realizó por triplicado con el propósito de obtener resultados confiables. Los datos obtenidos se fueron anotando con la respectiva identificativo para cada sustrato y posteriormente se realizó un promedio de las tres lecturas realizadas de más muestra de cada sustrato.

- **Temperatura y Conductividad eléctrica**

La medición de la temperatura y Conductividad eléctrica (CE) de las muestras se realizó por triplicado de cada sustrato. Su medición se realizó con la ayuda de un potenciómetro de forma directa, recordando que el electrodo debe ser lavado previo a la lectura de cada muestra. Los valores obtenidos se promediaron para cada sustrato, considerando a este valor como el resultado.

- **DBO**

Los análisis de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) resultan en la cantidad de oxígeno requerido para que se deteriore la materia orgánica presente en la muestra analizada y el oxígeno para oxidar hierro ferroso y sulfuros. Por otro lado, es importante la determinación de la DBO debido a su relación directamente lineal entre el rendimiento coulombico dentro de las MFCs (Sánchez, Fernández y Espinoza Montero 2021). Se basa en el requerimiento de los microorganismos para la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable de las muestras las cuales son incubadas por cinco días a 20°C en la oscuridad. Dicha descomposición de la materia orgánica por parte de los microorganismos sigue una cinética de reacción de primer orden expresado como:

- Por el tipo de muestras se realizaron disoluciones en volumen de 10^{-2} usando valones de aforo de 100 mL, tomando en cada difusión 25mL de muestra y aforando a los 100 mL.

- Dentro de los recipientes del equipo de DBO Lovibond se colocó 95 mL de la solución a concentración 10^{-2} , introducimos la barra agitadora magnética en el frasco, colocamos 2 mL de la solución de digestora y etiquetamos cada frasco con el tipo de muestra.
- Atornillamos los sensores para DBO en los frascos para cada muestra y programamos el equipo en el rango de volumen colocado y a un tiempo de 5 días para la digestión.
- Una vez finalizado la digestión se realiza la revisión de los valores leídos y se selecciona el mayor valor obtenido.
- Debido a las diluciones realizadas se realizó el cálculo adicional de la concentración final de la Demanda Bioquímica de Oxígeno para la muestra inicial.

Cálculos

-Volumen del Titulante y Concentración:

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{V_2}{V_1} = FD$$

-DBO

$$Cf \text{ DBO (mg/L)} = FD * C_m \text{ DBO}$$

Donde:

C_1 y C_2 = Concentración de solución inicial y final.

V_1 y V_2 = Volumen inicial y final de las diluciones.

Cf DBO = Concentración final de la DBO (mg/L)

FD = Factor de dilución

C_m DBO = Concentración medida de la DBO en la disolución después de 5 días de digestión (mg/L)

• DQO

Por su significado definido como la demanda química de oxígeno conocida como la cantidad de oxígeno necesario para que la materia orgánica se oxide por medio y reacciones químicas (BAIRES ANALITICA 2020), tanto este parámetro como la cantidad de sólidos disuelto y totales nos indican la cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos se encuentran presentes (Jacome Pilco et al. 2021) en el sustrato.

- Por el tipo de muestra y el Kits de análisis con el que se cuenta de 20 a 1500 mg/L se requirió realizar diluciones de hasta 10^{-2} usando balones de aforo de 100 mL.
- Se homogeniza las disoluciones hasta asegurarse las muestras estén bien incorporadas con el agua destilada.
- Se ingresa los tubos al equipo de digestión durante 2 horas a partir de que el equipo alcanza los 160 °C.
- Una vez terminado el proceso de digestión se deja enfriar las muestras y el blanco.
- Se encera el espectrofotómetro y se mide el blanco con el que se va a trabajar.
- Se realiza la doble medición de las muestras realizadas por duplicado y se realiza los cálculos correspondientes debido a que se realizaron diluciones de las muestras.

Cálculos

$$C_f \text{ DQO (mg/L)} = FD * C_m \text{ DQO}$$

Donde:

C_f DQO= Concentración final de la DQO (mg/L)

FD= Factor de dilución

C_m DQO = Concentración medida de la DQO en la disolución (mg/L)

• **Nitrógeno amoniacal**

La relevancia de su análisis en los sustratos a incorporar dentro de un sistema de MFCs es su rango de toxicidad para ciertos organismos en concentraciones altas como las suele presentar los lixiviados y biofertilizantes debido a que estos proviene del proceso de hidrólisis y fermentación de fracciones nitrogenadas de los sustratos biodegradables que por lo general se traduce a una baja concentración de oxígeno disuelto (Petry, Costa y Droste 2020).

- Por el tipo de muestras se realizaron disoluciones en volumen de 10^{-2} usando valones de aforo de 100 mL o de 10^{-1} dependiendo del tipo de muestra analizar (Lixiviado o biol).
- Se coloca en vasos de precipitación 25 mL de solución (Dilución a 10^{-2}) y en un vaso de precipitación se coloca la misma cantidad de agua destilada el cual tendrá la función de blanco en nuestros análisis.
- Se agrega en cada vaso de precipitación 1mL del reactivo Nessler, 4 gotas del agente dispersante de Alcohol y 4 gotas del estabilizante de minéraux.

- Una vez colocados los reactivos en cada una de las muestras y el blanco agitamos hasta visualizar las soluciones de color de amarillo a verde claro.
- Se programa el equipo para medición de N-NH₃, se encera el espectrofotómetro y se mide el blanco con el que se va a trabajar.
- Se realiza la medición por duplicado y se realiza los cálculos correspondientes debido a que se realizaron diluciones de las muestras.

$$C_f \text{ N-NH}_3 \text{ (mg/L)} = FD * C_m \text{ N-NH}_3$$

Donde:

C_f N-NH₃ = Concentración final de la N-NH₃ (mg/L)

FD= Factor de dilución

C_m N-NH₃= Concentración medida de la DQO en la disolución (mg/L)

ANEXO D: RESULTADOS DE ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS INICIALES Y FINALES

INICIALES

INFORME DE RESULTADOS



DATOS DEL CLIENTE

Cliente: Jhosein Mbel Logia Molina
Direccion: Chimborazo Teléfono:
Provincia: Riobamba Canton:

INFORMACION DE LA MUESTRA

Tipo de Muestra: biol Fecha de ensayo: del 11 al 28 de febrero
Fecha de toma de muestra: 29/3/2023
Fecha de recepcion: 28/4/2023 Cod. Lab 60,2
Observaciones: Muestra tomada por el cliente y recibida en el laboratorio

RESULTADOS				
Id.Cliente	Parametros	Resultado	Unidad	Técnica analítica
Rii	Grasa (Extracto Elereo)	0,074	%	AOAC 920.39 C mod.

Resultados expresados en muestra tal cual



Ing. Carlos Mayorga

Tlf 0980622817 / 0985458514

TotalChem Se responsabiliza unicamente de los análisis mas no de la toma de muestra

Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basado en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial

INFORME DE RESULTADOS



DATOS DEL CUENTE

Cliente: Jhoselin Mbel Logia Molina

Dirección: Chimborazo

Teléfono:

Provincia: Riobamba **Canton:**

INFORMACION DE LA MUESTRA

Tipo de Muestra: biol **Fecha de ensayo:** del 11 al 28 de febrero

Fecha de toma de 29/3/2023

Fecha de recepción 28/4/2023 **Cod. Lab** 60,1

Observaciones: Muestra tomada por el cliente y recibida en el laboratorio

RESULTADOS

Id.Cliente	Parametros	Resultado	Unidad	Técnica analítica
881	Grasa (Extracto Etéreo)	0,11	%	AOAC 920.39 C mod.

Resultados expresados en muestra tal cual



Ing. Carlos Mayorga

Tlf 0980622817 / 0985458514

TotalChem Se responsabiliza unicamente de los análisis mas no de la toma de muestra

Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basado en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial

INFORME DE RESULTADOS



TotalChem
Lab

DATOS DEL CLIENTE

Cliente: Jhoselin Mbel Logia Molina

Dirección: Chimborazo

Teléfono:

Provincia: Riobamba Cantón:

INFORMACION DE LA MUESTRA

Tipo de Muestra: biol Fecha de ensayo: del 11 al 28 de febrero

Fecha de toma de

Fecha de recepción

Observaciones:

Cod. Lab

60,3

Muestra tomada por el cliente y recibida en el laboratorio

RESULTADOS

Id. Cliente	Parametros	Resultado	Unidad	Técnica analítica
LT-4	Proteína	0,01	%	microKjeldahl
	Fibra	no reporta	%	AOAC 962.09 mod.
	Grasa (Extracto Etéreo)	No reporta	%	AOAC 920.39 C mod.
	Ceniza	0,65	%	gravimétrico
	Humedad	83,60	%	gravimétrico

Resultados expresados en muestra tal cual



TOTALCHEM

Ing. Carlos Mayorga

Tlf 0980622817 / 0985458514

TotalChem Se responsabiliza únicamente de los análisis mas no de la toma de muestra

Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basado en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial

FINALES

<i>Muestra</i>	<i>Factor de dilución (FD)</i>
MFC-BL-1	4,55
MFC-BL-2	4,63
MFC-FL-1	5,15
MFC-FL-2	4,55
MFC-BB-1	5
MFC-BB-2	5
MFC-FB-1	5
MFC-FB-2	5

INFORME DE RESULTADOS



TotalChem
Lab

DATOS DEL CUENTE

Cliente: Jhosefin Mabel Logla Molina

Dirección: Riobamba

Teléfono:

Provincia: Chimborazo
Cantón: Riobamba

INFORMACION DE LA MUESTRA

Tipo de Muestra: bial de bagazo de caña de
Fecha de toma de recepción: 17/4/2023
Fecha de ensayo: del 17 al 21 de mayo

Fecha de recepción: 17/4/2023

Cod. Lab: 63,1

Observaciones: Muestra tomada por el cliente y recibida en el laboratorio

RESULTADOS

Id. Cliente	Parámetros	Resultado	Unidad	Técnica analítica
FINAL FB-1	Proteína	0,010	%	microKjeldahl
	Fibra	no reporta	%	AOAC 962.09 mod.
	Grasa (Extracto Etéreo)	No reporta	%	AOAC 920.39 C mod.
	Ceniza	No reporta	%	gravimétrica
	Humedad	82,20	%	gravimétrica

TOTALCHEM

Ing. Carlos Mayorga

Tel: 0980622817 / 0985458514

TotalChem Se responsabiliza únicamente de los análisis mas no de la toma de muestra
Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial

INFORME DE RESULTADOS



TotalChem
Lab

DATOS DEL CLIENTE

Cliente: Jhoselin Mabel Logla Molina
Dirección: Riobamba **Teléfono:**
Provincia: Chimbarazo **Canton:** Riobamba

INFORMACION DE LA MUESTRA

Tipo de Muestra: bñol de bagazo de caña de
Fecha de toma de recepci3n: 17/4/2023
Fecha de recepci3n: 17/4/2023 **Cod. Lab:** 63,2
Observaciones: Muestra tomada por el cliente y recibida en el laboratorio

RESULTADOS

Id. Cliente	Parametros	Resultado	Unidad	Técnica analítica
FINAL FB-2	Proteína	0,010	%	microKjeldahl
	Fibra	no reporta	%	AOAC 962.09 mod.
	Grasa (Extracto Etereo)	No reporta	%	AOAC 920.39 C mod.
	Ceniza	No reporta	%	gravimétrico
	Humedad	80,01	%	gravimétrico



TOTALCHEM

Ing. Carlos Mayorga
 Tlf 0980622817 / 0985458514

TotalChem Se responsabiliza unicamente de los análisis mas no de la toma de muestra
 Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basado en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial

INFORME DE RESULTADOS



TotalChem
Lab

DATOS DEL CLIENTE

Cliente: Jhoselin Mabel Logla Molina
Dirección: Riobamba **Teléfono:**
Provincia: Chimborazo **Cantón:** Riobamba

INFORMACION DE LA MUESTRA

Tipo de Muestra: bial de bagazo de caña de
Fecha de toma de 17/4/2023 **Fecha de ensayo:** del 17 al 21 de mayo
Fecha de recepción 17/4/2023 **Cod. Lab** 63.3
Observaciones: Muestra tomada por el cliente y recibida en el laboratorio

RESULTADOS

Id. Cliente	Parametros	Resultado	Unidad	Técnica analítica
FINAL BB-1	Proteína	0,0053	%	microKjeldahl
	Fibra	no reporta	%	AOAC 962.09 mod.
	Grasa (Extracto Etéreo)	No reporta	%	AOAC 920.39 C mod.
	Ceniza	No reporta	%	gravimétrico
	Humedad	81,21	%	gravimétrico

TOTALCHEM

Ing. Carlos Mayorga
 Tlf 0980622817 / 0985458514

TotalChem Se responsabiliza únicamente de los análisis mas no de la toma de muestra
 Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basado en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial

INFORME DE RESULTADOS



DATOS DEL CLIENTE

Cliente: Jhoselin Mabel Logla Molina
Dirección: Riobamba **Teléfono:**
Provincia: Chimborazo **Canton:** Riobamba

INFORMACION DE LA MUESTRA

Tipo de Muestra: bñol de bagazo de caña de
Fecha de toma de muestra: 17/4/2023 **Fecha de ensayo:** del 17 al 21 de mayo
Fecha de recepcion: 17/4/2023 **Cod. Lab:** 63,4
Observaciones: Muestra tomada por el cliente y recibida en el laboratorio

RESULTADOS				
Id.Cliente	Parametros	Resultado	Unidad	Técnica analítica
FINAL BB-2	Proteina	0,0015	%	microKjeldahl
	Fibra	no reporta	%	AOAC 962.09 mod.
	Grasa (Extracto Etereo)	No reporta	%	AOAC 920.39 C mod.
	Ceniza	No reporta	%	gravimetrico
	Humedad	81,84	%	gravimetrico



TOTALCHEM

Ing. Carlos Mayorga
 Tlf 0980622817 / 0985458514

TotalChem Se responsabiliza unicamente de los análisis mas no de la toma de muestra

Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basado en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial

INFORME DE RESULTADOS



TotalChem
Lab

DATOS DEL CLIENTE

Cliente: Jhoselin Mabel Logla Molina
Dirección: Riobamba **Teléfono:**
Provincia: Chimbarazo **Cantón:** Riobamba

INFORMACION DE LA MUESTRA

Tipo de Muestra: LIXIVIADO **Fecha de ensayo:** del 17 al 21 de mayo
Fecha de toma de muestra: 17/4/2023
Fecha de recepción: 17/4/2023 **Cod. Lab:** 63,5
Observaciones: Muestra tomada por el cliente y recibida en el laboratorio

RESULTADOS

Id. Cliente	Parametros	Resultado	Unidad	Técnica analítica
FINAL BL-1	Proteína	0,048	%	microKjeldahl
	Fibra	no reporta	%	AOAC 962.09 mod.
	Grasa (Extracto Etéreo)	No reporta	%	AOAC 920.39 C mod.
	Ceniza	No reporta	%	gravimétrico
	Humedad	80,30	%	gravimétrico

TOTALCHEM

Ing. Carlos Mayorga
 Tlf 0980622817 / 0985458514

TotalChem Se responsabiliza únicamente de los análisis mas no de la toma de muestra

Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basados en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial

INFORME DE RESULTADOS



TotalChem
Lab

DATOS DEL CLIENTE

Cliente: Jhoselin Mabel Logia Molina

Dirección: Riobamba

Teléfono:

Canton

Provincia: Chimborazo : Riobamba

INFORMACION DE LA MUESTRA

Tipo de Muestra: LIXIVIADO **Fecha de ensayo:** del 17 al 21 de mayo

Fecha de toma de 17/4/2023

Fecha de recepción 17/4/2023 **Cod. Lab** 63.6

Observaciones: Muestra tomada por el cliente y recibida en el laboratorio

RESULTADOS

Id. Cliente	Parametros	Resultado	Unidad	Técnica analítica
FINAL BL-2	Proteína	0,046	%	microKjeldahl
	Fibra	no reporta	%	AOAC 962.09 mod.
	Grasa (Extracto Etéreo)	No reporta	%	AOAC 920.39 C mod.
	Ceniza	No reporta	%	gravimetrico
	Humedad	84,60	%	gravimetrico

TOTALCHEM

Ing. Carlos Mayorga

Tlf 0980622817 / 0985458514

TotalChem Se responsabiliza unicamente de los análisis mas no de la toma de muestra

Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basado en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial

INFORME DE RESULTADOS



TotalChem
Lab

DATOS DEL CLIENTE

Cliente: Jhoselin Mabel Logia Molina

Dirección: Riobamba

Teléfono:

Cantón

Provincia: Chimbarazo : Riobamba

INFORMACION DE LA MUESTRA

Tipo de Muestra: LIXIVIADO **Fecha de ensayo:** del 17 al 21 de mayo

Fecha de toma de 17/4/2023

Fecha de recepción 17/4/2023 **Cod. Lab** 63.7

Observaciones: Muestra tomada por el cliente y recibida en el laboratorio

RESULTADOS

Id.Cliente	Parametros	Resultado	Unidad	Técnica analítica
FINAL FL-1	Proteína	0,052	%	microkjeldahl
	Fibra	no reporta	%	AOAC 962.09 mod.
	Grasa (Extracto Etéreo)	No reporta	%	AOAC 920.39 C mod.
	Ceniza	No reporta	%	gravimétrico
	Humedad	82,80	%	gravimétrico

TOTALCHEM

Ing. Carlos Mayorga

Tlf 0980622817 / 0985458514

TotalChem Se responsabiliza únicamente de los análisis mas no de la toma de muestra

Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basado en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial

INFORME DE RESULTADOS



Total Chem
Lab

DATOS DEL CLIENTE

Cliente: Jhoselin Mabel Logla Molina

Dirección: Riobamba

Teléfono:

Provincia: Chimborazo : **Canton** Riobamba

INFORMACION DE LA MUESTRA

Tipo de Muestra: LIXIVIADO **Fecha de ensayo:** del 17 al 21 de mayo

Fecha de toma de 17/4/2023

Fecha de recepción 17/4/2023 **Cod. Lab** 63,8

Observaciones: Muestra tomada por el cliente y recibida en el laboratorio

RESULTADOS

Id.Cliente	Parametros	Resultado	Unidad	Técnica analítica
FINAL FL-2	Proteína	0,056	%	microKjeldahl
	Fibra	no reporta	%	AOAC 962.09 mod.
	Grasa (Extracto Etéreo)	No reporta	%	AOAC 920.39 C mod.
	Ceniza	No reporta	%	gravimétrico
	Humedad	83,60	%	gravimétrico



TOTALCHEM

Ing. Carlos Mayorga

Tlf 0980622817 / 0985458514

TotalChem Se responsabiliza unicamente de los análisis mas no de la toma de muestra

Estos análisis, opiniones y/o interpretaciones están basado en el material e información provistos por el cliente para quien se ha realizado este informe en forma exclusiva y confidencial

ANEXO E: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS INICIALES Y FINALES

INICIALES



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Jhoselin Mabel Lagla Molina

Fecha de Análisis: 23-03-2023

Tipo de muestras: Lixiviados y Biol usados en MFCs

Localidad: Lab. GIDAC- Riobamba.

TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

Análisis Químico

-LIXIVIADO

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Potencial de hidrogeno (pH)	Und.	4500H-B	5-9	4,53
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	-	3 180
Temperatura	°C	2550-B	Con.nat ± 3	19,70
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	4500-NH3	30,0	304
Demanda Química de Oxígeno	g/L	5220-C	200	107,9
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L	5210-B	100	60

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

** Acuerdo Ministerial 097-A, 2015 – Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

-BIOL

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Potencial de hidrogeno (pH)	Und.	4500H-B	5-9	5,70
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	-	7 930
Temperatura	°C	2550-B	Con.nat ± 3	19,80
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	4500-NH3	30,0	23,70
Demanda Química de Oxígeno	g/L	5220-C	200	22,09
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L	5210-B	100	4,67

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

** Acuerdo Ministerial 097-A, 2015 – Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Observaciones:

Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Jhoselin Mabel Lagla Molina

Fecha de Análisis: 13-04-2023

Tipo de muestras: Lixiviados y Biol usados en MFCs.

Localidad: Lab. GIDAC- Riobamba.

TRABAJO DE INTEGRACION CURRICULAR

Análisis Químico

MFC-BB-1 (BIOL)

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Potencial de hidrogeno (pH)	Und.	4500H-B	5-9	5,34
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	-	15 970
Temperatura	°C	2550-B	Con.nat ± 3	22,8
Nitrógeno Amoniacal	mg/L.	4500-NH3	30,0	23,2
Demanda Química de Oxígeno	g/L.	5220-C	200	20,63
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L.	5210-B	100	5,4

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

** Acuerdo Ministerial 097-A, 2015 – Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

MFC-BB-2 (BIOL)

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Potencial de hidrogeno (pH)	Und.	4500H-B	5-9	5,34
Conductividad	μSiems/cm	2510-B	-	16 460
Temperatura	°C	2550-B	Con.nat ± 3	22,9
Nitrógeno Amoniacal	mg/L.	4500-NH3	30,0	27,4
Demanda Química de Oxígeno	g/L.	5220-C	200	21,41
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L.	5210-B	100	6,9

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

** Acuerdo Ministerial 097-A, 2015 – Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

MFC-FB-1 (BIOL)

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Potencial de hidrogeno (pH)	Und.	4500H-B	5-9	5,35
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	-	16 530
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-B	Con.nat \pm 3	22,9
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	4500-NH3	30,0	31,2
Demanda Química de Oxígeno	g/L	5220-C	200	20,86
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L	5210-B	100	5,37

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

** Acuerdo Ministerial 097-A, 2015 – Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

MFC-FB-2 (BIOL)

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Potencial de hidrogeno (pH)	Und.	4500H-B	5-9	5,40
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	-	16 790
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-B	Con.nat \pm 3	23,5
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	4500-NH3	30,0	26
Demanda Química de Oxígeno	g/L	5220-C	200	20,52
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L	5210-B	100	5,79

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

** Acuerdo Ministerial 097-A, 2015 – Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

MFC-BL-1 (LIXIVIADO)

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Potencial de hidrogeno (pH)	Und.	4500H-B	5-9	3,98
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	-	6 870
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-B	Con.nat \pm 3	22,9
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	4500-NH3	30,0	184
Demanda Química de Oxígeno	g/L	5220-C	200	64,3
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L	5210-B	100	49,4

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

** Acuerdo Ministerial 097-A, 2015 – Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

MFC-BL-2 (LIXIVIADO)

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Potencial de hidrogeno (pH)	Und.	4500H-B	5-9	3,97
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	-	6 730
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-B	Con.nat \pm 3	23
Nitrógeno Amoniacal	mg/L.	4500-NH3	30,0	222
Demanda Química de Oxígeno	g/L.	5220-C	200	76,7
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L.	5210-B	100	50,4

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

** Acuerdo Ministerial 097-A, 2015 – Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

MFC-FL-1 (LIXIVIADO)

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Potencial de hidrogeno (pH)	Und.	4500H-B	5-9	4,08
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	-	6 504
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-B	Con.nat \pm 3	22,6
Nitrógeno Amoniacal	mg/L.	4500-NH3	30,0	124
Demanda Química de Oxígeno	g/L.	5220-C	200	53,6
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L.	5210-B	100	38,3

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

** Acuerdo Ministerial 097-A, 2015 – Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

MFC-FL-2 (LIXIVIADO)

Determinaciones	Unidades	*Método	**Límites	Resultados
Potencial de hidrogeno (pH)	Und.	4500H-B	5-9	3,96
Conductividad	μ Siems/cm	2510-B	-	7 010
Temperatura	$^{\circ}$ C	2550-B	Con.nat \pm 3	22,6
Nitrógeno Amoniacal	mg/L.	4500-NH3	30,0	184
Demanda Química de Oxígeno	g/L.	5220-C	200	71,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	g/L.	5210-B	100	52,6

*Métodos Normalizados. APHA, AWWA, WPCF 17 ed.

** Acuerdo Ministerial 097-A, 2015 – Tabla 9. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

Observaciones:

Atentamente,

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS

ANEXO F: DATOS DE DIFERENCIA DE POTENCIA GENERADA AL CABO DE 15 CICLOS

CICLO-MFCs	MFC-BL-1	MFC-BL-2	MFC-FL-1	MFC-FL-2	MFC-BB-1	MFC-BB-2	MFC-FB-1	MFC-FB-2
1	44.94	43.74	42.74	41.99	39.51	39.66	38.37	36.99
2	154.72	98.46	93.31	112.78	126.07	96.41	87.88	63.05
3	249.12	178.70	155.49	105.36	89.70	134.62	125.78	124.83
4	95.10	226.16	152.18	174.82	42.97	62.92	56.98	68.36
5	43.51	170.97	143.99	55.23	288.07	43.66	60.78	63.04
6	63.77	228.03	148.65	98.79	149.84	41.32	81.62	52.45
7	150.73	317.02	180.07	119.08	47.28	76.02	58.92	92.31
8	224.61	358.74	164.58	110.07	58.98	53.47	78.72	70.10
9	254.02	357.23	150.40	106.38	65.37	50.85	77.17	71.26
10	242.68	353.00	152.85	124.85	58.03	60.35	67.85	83.40
11	17.26	331.59	169.92	124.99	143.88	68.59	51.47	121.24
12	54.52	374.10	170.71	145.00	56.66	60.24	65.11	137.60
13	82.67	362.55	157.56	307.58	37.92	152.20	62.37	246.17
14	36.38	354.49	200.64	204.85	125.62	70.98	56.38	149.52
15	61.28	404.59	237.84	221.16	133.26	63.67	60.00	120.78
Promedio individual	118.35	277.29	154.73	136.86	97.54	71.66	68.63	100.07
Promedio por repetición	197.82		145.79		84.60		84.35	

ANEXO G: INTERPRETACIÓN DEL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE SPEARMAN

RANGOS	CORRELACIÓN	GRADO
-1	NEGATIVA	Grande y perfecta
-0,9 A -0,99		Muy alta
-0,7 A -0,89		Alta
-0,4 A -0,69		Moderada
-0,2 A -0,39		Baja
-0,01 A -0,19		Muy baja
0	NULA	
0,01 a 0,19	POSITIVA	Muy baja
0,2 a 0,39		Baja
0,4 a 0,69		Moderada
0,7 a 0,89		Alta
0,9 a 0,99		Muy Alta
1		Grande y perfecta

ANEXO H: AVAL DE INVESTIGACIÓN



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO



"Saber para Ser"

CERTIFICADO

A QUIÉN CORRESPONDA:

El Grupo de Investigación y Desarrollo para el Ambiente y Cambio Climático GIDAC – ESPOCH, Certifica Que: Jhoselin Mabel Lagla Molina con CI: 1722531033 estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental, desarrollará el Trabajo de Integración curricular denominado: **“Obtención de biocarbón y biol a partir del bagazo de caña de azúcar para su uso potencial en celdas de combustible microbiano”** mismo que forma parte del Proyecto de Investigación IDIPI-273: “Opportunities and challenges of renewable energies as a territorial development in zones of the province of Chimborazo”

Este trabajo es de interés, tanto investigativo como aplicativo y contribuirá a la consecución de los objetivos propuestos en el mencionado proyecto; razón por la cual se otorga el **AVAL DE APROBACION** para la realización de las diferentes actividades y el apoyo técnico necesario disponible que así requiera la estudiante.

Cabe mencionar que el patrimonio intelectual de los resultados que se obtengan del trabajo de integración curricular pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 07 de marzo de 2023

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
MAGDY
MILENI
ECHEVERRIA
GUADALUPE

Dra. Magdy Echeverría PhD

DIRECTORA GIDAC-

ESPOCH



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: 08 / 08 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Jhoselin Mabel Lagla Molina
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Ambiental
Título a optar: Ingeniera Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1463-DBRA-UPT-2023