



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CELDAS
COMBUSTIBLES MICROBIANAS POR USO DE LODOS
RESIDUALES EN REEMPLAZO DE ENERGÍAS NO
RENOVABLES.**

PROYECTO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Trabajo de titulación presentado como requisito para la
obtención del título de
INGENIERO AMBIENTAL

**AUTOR
RUIZ BALDEÓN GABRIELA RENATTA**

**TUTOR
ING. DIEGO MUÑOZ**

GUAYAQUIL – ECUADOR

2021



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, **MUÑOZ NARANJO DIEGO IVAN**, docente de la Universidad Agraria del Ecuador, en mi calidad de Tutor, certifico que el presente trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CELDAS COMBUSTIBLES MICROBIANAS POR USO DE LODOS RESIDUALES EN REEMPLAZO DE ENERGIAS NO RENOVABLES**, realizado por la estudiante **RUIZ BALDEÓN GABRIELA RENATTA**; con cédula de identidad **N°0951623305** de la carrera **INGENIERIA AMBIENTAL**, Unidad Académica Guayaquil, ha sido orientado y revisado durante su ejecución; y cumple con los requisitos técnicos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador; por lo tanto se aprueba la presentación del mismo.

Atentamente,

ING. MUÑOZ NARANJO DIEGO IVAN M.Sc.

Guayaquil, 16 de abril del 2021



**UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL**

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Los abajo firmantes, docentes designados por el H. Consejo Directivo como miembros del Tribunal de Sustentación, aprobamos la defensa del trabajo de titulación: **“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE CELDAS COMBUSTIBLES MICROBIANAS POR USO DE LODOS RESIDUALES EN REEMPLAZO DE ENERGIAS NO RENOVABLES”**, realizado por la estudiante **RUIZ BALDEON GABRIELA RENATTA**, el mismo que cumple con los requisitos exigidos por la Universidad Agraria del Ecuador.

Atentamente,

**Dra. Tamara Borodulina.
PRESIDENTE**

**Blgo. Raúl Arizaga Gamboa
EXAMINADOR PRINCIPAL**

**Ing. Luis Morocho Rosero
EXAMINADOR PRINCIPAL**

Guayaquil, 16 de abril del 2021

Dedicatoria

Le dedico este proyecto de investigación a Dios, mis padres Byron Ruiz y Elena Baldeón, mi hermano Cristhian y mis tres mascotas; por permanecer conmigo hasta el final de la realización de mi tesis. Apoyándome moralmente a pesar de todas las adversidades que se presentaron en estos años.

Agradecimiento

Mi agradecimiento se dirige al Ing. Carlos Banchon, por habernos incentivado en nuevas ideas de investigación con respecto a la tesis, al Ing. Diego Arcos, por aconsejarme a inicios del anteproyecto y al Ing. Diego Muñoz, por guiarme en el proceso restante de mi tesis.

Autorización de Autoría Intelectual

Yo Gabriela Renatta Ruiz Baldeón, en calidad de autora del proyecto realizado, sobre **“Determinación de la eficiencia de celdas combustibles microbianas por uso de lodos residuales en reemplazo de energías no renovables”** para optar el título de Ingeniera Ambiental, por la presente autorizo a la UNIVERSIDAD AGRARIA DEL ECUADOR, hacer uso de todos los contenidos que me pertenecen o parte de los que contienen esta obra, con fines estrictamente académicos o de investigación.

Los derechos que como autora me correspondan, con excepción de la presente autorización, seguirán vigentes a mi favor, de conformidad con lo establecido en los artículos 5, 6, 8; 19 y demás pertinentes de la Ley de Propiedad Intelectual y su Reglamento.

Guayaquil, 17 de mayo del 2021

RUIZ BALDEON GABRIELA RENATTA
C.I. 0951623305

Índice general

PORTADA	1
APROBACIÓN DEL TUTOR	2
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	3
Dedicatoria	4
Agradecimiento	5
Autorización de Autoría Intelectual	6
Índice general.....	7
Índice de tablas	11
Índice de figuras	12
Resumen.....	13
Abstract	14
1. Introducción	15
1.1 Antecedentes del problema.....	15
1.2 Planteamiento y formulación del problema	18
1.2.1 Planteamiento del problema	18
1.2.2 Formulación del problema	20
1.3 Justificación de la investigación.....	20
1.4 Delimitación de la investigación	22
1.5 Objetivo general	22
1.6 Objetivos específicos	22
1.7 Hipótesis.....	23
2. Marco teórico	24
2.1 Estado del arte	24

2.2 Bases teóricas	27
2.2.1 Aguas residuales	27
2.2.2 Electromicrobiología	30
2.2.3 Celda de Combustible Microbiana	30
2.2.4 Voltaje	33
2.3 Marco legal	34
2.3.1 Constitución del Ecuador	34
2.3.2 Código Orgánico Ambiental	36
2.3.3 Ley de Gestión Ambiental	37
2.3.4 Acuerdo Ministerial 061	38
3. Materiales y métodos	40
3.1 Enfoque de la investigación	40
3.1.1 Tipo de investigación	40
3.1.2 Diseño de investigación	40
3.2 Variables	40
3.2.1.1. Variable independiente	40
3.2.1.2. Variable dependiente	41
3.2.2 Tratamientos	41
3.2.3 Diseño experimental	41
3.2.4 Recolección de datos	41
3.2.4.1. Recursos	41
3.2.4.2. Métodos y técnicas	41
3.2.5 Análisis estadístico	43
4. Resultados	45

4.1	Descripción de la generación de energía por celdas combustibles microbianas basado en los microorganismos y materiales usados en trabajo de distintos autores	45
4.1.1	Temperatura	50
4.1.2	pH.....	51
4.2	Cuantificación de la cantidad de residuos orgánicos generados por la hacienda Casa de Teja.....	51
4.3	Caracterización de la presencia de microorganismos en canales de agua producto de los residuos orgánicos generados por la hacienda Casa de Teja	52
4.3.1	Comparación con parámetros de calidad de agua.....	54
4.4	Propuesta de aplicación de la mayor eficiencia energética para la hacienda Casa de Teja basado en la cuantificación, análisis de agua y comparación bibliográfica experimental de 5 autores.	54
4.4.1	Descripción de las celdas de los 5 estudios escogidos	54
4.4.1.1	<i>Producción energética en celda de combustible microbiana mediante Escherichia coli y Pseudomonas aeruginosa.</i>	54
4.4.1.2	<i>Generación de electricidad por celda de combustibles microbianas mediante residuos provenientes de actividades agrícolas.</i>	56
4.4.1.3	<i>Bioelectricidad a partir de residuos de frutas y vegetales usando celda combustible microbiana de una sola cámara.</i>	57
4.4.1.4	<i>Uso de los residuos de las cascaras de banano y naranja en celdas combustibles microbianas.....</i>	58
4.4.1.5	<i>Desarrollo de celda combustible microbiana de bajo presupuesto usando cepa de Escherichia coli.....</i>	59

4.4.2 Comparación de voltaje.....	60
4.4.3 Relación Costo/Beneficio	65
5. Discusión.....	66
6. Conclusiones	68
7. Recomendaciones	70
8. Bibliografía	71
9. Anexos.....	83
9.1 Anexo 1. Tipo de cámara conforme a la comunidad microbiana.....	83
9.2 Anexo 2. Límites según Acuerdo Ministerial	84
9.3 Anexo 3. Costos unitarios de materiales usados para las diferentes cámaras	86
9.4 Anexo 4. Costo total por celda de los distintos autores mencionados...	87
9.5 Anexo 5. Modelos de celdas.....	88
9.6 Anexo 6. Ubicación de la hacienda Casa de Teja	89
9.7 Anexo 7. Resultado de análisis físico-químico y microbiológico de agua	

Índice de tablas

Tabla 1. Producción de banano por horas	52
Tabla 2. Rechazo generado de la producción por horas	52
Tabla 3. Resultados de análisis microbiológico de agua de canal de la hcda. Casa de Teja.....	53
Tabla 4. Resultados de análisis físico-químico del agua de canal de la hcda. Casa de Teja.....	53
Tabla 5. Comunidades microbiológicas involucradas en el funcionamiento de celdas combustibles microbianas.....	83
Tabla 6. Límites de descarga a un cuerpo dulce.....	85
Tabla 7. Costo de materiales usados en las descripciones de trabajos de distintos autores.....	87
Tabla 8. Materiales usados por diferentes autores y costo total de elaboración de las respectivas celdas.....	88

Índice de figuras

Figura 1. Representación del voltaje máximo, mínimo y total de Páez, Lache, Medina & Zapata.....	60
Figura 2. Representación del voltaje máximo, mínimo y final de Logroño, Ramírez, Recalde, Echeverría & Cunachi.	61
Figura 3. Representación del voltaje máximo, mínimo y total de Elviliana, Toding, Virginia & Suhatin.....	62
Figura 4. Representación del voltaje máximo, mínimo y total de Rojas y otros.	63
Figura 5. Representación del voltaje máximo, mínimo y total de Olivera.....	64
Figura 6. Composición de una celda a base de papel.....	88
Figura 7. Principio general de una celda microbiana de doble cámara y sus aplicaciones	88
Figura 8. Mapa de ubicación de hacienda Casa de Teja.....	89
Figura 9. Análisis microbiológico de agua de canal de hcda. Casa de Teja. ...	89
Figura 10. Análisis fisicoquímico de agua de canal de hcda. Casa de Teja. ...	90

Resumen

La acumulación de aguas residuales y la contaminación energética han provocado a lo largo de los años un aumento de los gases de invernadero. La importancia de la presente investigación, otorga énfasis en como el avance tecnológico ha logrado desarrollar una solución para la reutilización de aguas residuales, la ventaja en cuanto a la caracterización y cuantificación de los desechos agrícolas; y como se proyectaría su posible aplicación en el área agrícola. El enfoque de la investigación trata sobre como la eficiencia de las celdas podría llegar a reemplazar a las energías convencionales. Por ende se prosiguió a la toma de muestras de agua del canal de la hacienda y el pesaje de la producción y el desecho. La metodología usada en la investigación es de tipo documental con nivel investigativo, descriptivo y explicativo, con metodología de 4 fases: el conocimiento general de la celda, la caracterización de las aguas residuales, la cuantificación de desecho generado por la hacienda y la comparación con trabajos de distintos autores. De los resultados obtenidos se obtuvo que la cantidad de *Escherichia coli* excede los límites permitidos en las normas de calidad de agua como el Acuerdo Ministerial 097 A – Anexo 1. Con los análisis, se procedió a comparar la posibilidad de aplicación de las celdas combustibles microbianas mediante los resultados de los análisis y trabajos de distintos autores.

Palabras clave: aguas residuales, bacterias, biotecnología, celdas combustibles microbianas, materia orgánica.

Abstract

The accumulation of sewage and energy pollution have caused an increase in greenhouse gases over the years. The importance of contiguous research emphasizes how technological advance has managed to develop a solution for the reuse of wastewater, the advantage in terms of characterization and quantification of agricultural waste; and how its possible application in the agricultural area of the experimental collection of different authors would be projected. The focus of the research is on how the efficiency of cells could replace conventional energies. Therefore proceeded to the collection of water from the canal of the farm and the weighing of production and waste. The methodology used in the research is documentary with an investigative, descriptive and explanatory level with a 4-phase methodology: the general knowledge of the cell, the characterization of the wastewater, the quantification of waste generated by the farm and the comparison with works of different authors. From the results obtained, it was obtained that the amount of *Escherichia coli* exceeds the limits allowed in the water quality standards such as Ministerial Agreement 097 A - Annex 1. With the analyzes, the possibility of application of microbial fuel cells was compared through the results of the analyzes and works of different authors.

Keywords: bacteria, biotechnology, microbial fuel cells, organic matter, wastewater.

1. Introducción

El presente trabajo investigativo tiene como objetivo la reutilización de las aguas residuales provenientes de la industria para la generación de energía, la contaminación de las fuentes hídricas atenta no solo contra la flora y fauna, también a la salud humana, la cual, se ha visto perjudicada conforme avanza la globalización.

Se puede adjudicar la problemática ambiental del uso de energías no renovables y el avance tecnológico, que cada vez es más notorio, generando como consecuencia el desbalance ecológico producto del cambio climático. Algunas problemáticas ambientales son la eutrofización, acidificación de cuerpos de agua y suelo, disminución de la capa de ozono, entre otras como menciona Pallise (2003).

Las celdas combustibles microbianas aprovechan las aguas residuales y pueden llegar a ser un reemplazo de las energías convencionales, ya que su emisión es cero. Desde allí, se ve a las celdas como una nueva fuente de energía sostenible.

Por ende, el presente trabajo describirá la función de la celda y como es posible aplicarla en uno de los sectores productivos más grandes como lo es la agricultura, que a su vez, genera una considerable cantidad de materia orgánica en cuerpos de agua cercanos a poblaciones rurales.

1.1 Antecedentes del problema

El constante desarrollo de las poblaciones obliga a un aumento del consumo energético dado el crecimiento demográfico mundial, a su vez, este problema como mencionan Gamez, Cabrera, López, Reta, y Cruz (2008) radica en los

recursos no renovables usados para el movimiento cotidiano de todos los países. El combustible dominante es el petróleo, convertido para su uso como combustible a gas y la gasolina el cual perjudica, desde un ámbito ambiental, por sus distintas fases para que se logre la obtención del producto final.

Las secuelas que se ocasionan por la extracción de rocas en yacimiento, la instalación de maquinaria y negligencias en el sistema de oleoductos ocasiona zonas de pobre vegetación y riesgos a lagos, lagunas o quebradas cercanas por la capa aceitosa que se forma en la superficie de los mismos. Fernandez (2005), indica que el mayor peligro para el recurso agua viene del transporte del petróleo, ya sea al momento de la extracción como en el transporte fluvial, afectando la vida acuática y consecuentemente el sistema ecológico.

Por el año 1980, el calentamiento global surgió como parte de una problemática ambiental por lo que la Asamblea General de las Naciones Unidas solicitó a la OMM (Organización Meteorológica Mundial) y al PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) la asesoración de los líderes mundiales referente al alcance de la problemática, creando así, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático en 1988 (Fernández 2005)

En México, se genera aprox. 167 TW/h de electricidad a partir de una base de capacidad instalada de 38.5 GW, siendo la fuente principal los combustibles fósiles. En un estudio elaborado por Ize, Gavilán, y Brito (2003), en Pemex se emite de manera exponencial humo, polvos, gases y descargas de aguas residuales producto de las distintas fases que involucran el negocio de la producción petrolera.

Ize, Gavilán, y Brito (2003) indican que en 1986, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente informó sobre cómo la acumulación continua de

gases eleva la temperatura media anual de la superficie terrestre entre 1.5 °C a 4.5 °C y continuaría, provocando la elevación del nivel del mar. Esto afectaría a naciones vulnerables, con poblaciones de entre 8 a 10 millones de personas que habitan cerca de marea alta en deltas de ríos en Bangladesh, Egipto y Vietnam; Otros ubicados en archipiélagos a 3 mts del nivel del mar como Las Malvinas, Islas Marshall, Kiribati, Tokelau, entre otras del Pacífico, Océano Índico y Caribe.

Por otro lado, Ize, Gavilán, y Brito (2003) mencionan como el recurso hídrico también se ve amenazado por el Cambio Climático Global por la vulnerabilidad en zonas donde el cambio climático disminuye la precipitación e incluso las reservas de agua dulce.

En Ecuador, una investigación sobre el sector hidroeléctrico elaborado por Rojas, Duque, y García (2017), se conoció que como respuesta a una crisis eléctrica dada en 1992 se racionó el suministro eléctrico. En 2007 se iniciaron planes de incrementar la producción energética por ende se inició con la construcción de 8 hidroeléctricas: para el 2008 el 46 % de la energía producida fue de fuentes sociales, luego el 43 % de la energía empezó a provenir de hidroeléctricas y para el 2016 la energía proveniente de hidroeléctricas significaba un 58.08 % de la potencia efectiva de la generación.

De 8 hidroeléctricas construidas en 2007, solo 3 funcionan, de las cuales la más grande e importante es Coca Codo Sinclair que se ubica en las provincias de Napo y Sucumbíos y cuyo afluente principal es el Río Coca, sin embargo el mismo recibe aporte del Río Tigre ubicado en la cordillera de Lumbaqui, en el cantón Gonzalo Pizarro en Sucumbíos. Precisamente las comunidades en 2017, mediante un reportaje elaborado por Palma (2017) comentan la ausencia de

fauna ictica, los mismos habitantes mencionaban que entre las especies que más pescaban estaban bocachico, guaña, sábalo, bagre y rayado.

En el mismo reportaje de Palma (2017), el ecólogo, Javier Celi que al ser almacenada agua en el embalse y en la noche ser evacuada, el golpe brusco al momento del desfogue afectaría en cambios hidrológicos a la química del agua y el hábitat de los peces. El investigador de IKIAM (Universidad Regional Amazónica) menciona que la retención de sedimentos afectaría a la alimentación de los peces, ya que los sedimentos contienen nutrientes como N, P, entre otros que ayudan al crecimiento íctico.

1.2 Planteamiento y formulación del problema

1.2.1 Planteamiento del problema

Como describe Olivera (2010), la atmósfera es la parte fundamental de la tierra, tiene un balance de gases que hace posible la vida en ella. Estos gases, a su vez, proporcionan una protección contra la radiación solar, permitiendo únicamente el paso de los rayos de onda corta. Pero las emisiones generadas por industrias, alteran el equilibrio de la atmósfera provocando dificultades en la salida de algunos gases y productos químicos de nuestra atmósfera, derivando en una acumulación de los mismos sobre la biosfera. A lo anteriormente mencionado se lo conoce como efecto invernadero, este efecto incrementa la temperatura de la tierra, derivando en consecuencias sobre el ecosistema.

Incluso Olivera (2010) destaca de entre los gases al vapor de agua (nubes), CO_2 , CH_4 , NO_x , O_3 y clorofluorocarbonos; por su uso en la producción energética, los cuales emiten CO_2 , CH_4 y NO_x . La forma de actuación de estos gases es la absorción de calor de la superficie terrestre y su reintegración a la tierra sobrecalentándola, generando lo que se conoce como cambio climático,

aumento del nivel del mar por erosión de zonas costeras, smog, humedad y variabilidad en el régimen pluviométrico.

En la capa de ozono, las consecuencias están ligadas al uso de clorofluorocarbonos, como menciona León (2017) existen emisiones del 5 % y 10 % por emplear este material para el aislamiento de energía. Cuando entra en contacto con la luz solar al llegar a la estratosfera libera $\text{Cl}_{\text{activo}}$ que en combinación con el ozono forma O_2 y CO , descomponiéndose y provocando más O y Cl , destruyendo así la capa de ozono. Las consecuencias son el aumento de radiación solar a 1% en la tierra, alteración ecológica de los mares e incremento del 4% de casos de cáncer en la piel y otras enfermedades como oculares, al sistema inmunológico.

Uno de los fenómenos más conocidos por combinación de SO_2 y NO_x es la lluvia ácida, Pallise (2003) indica que estos 2 gases son producidos por centrales eléctricas que usan carbón y derivados del petróleo, así como también el uso de vehículos terrestres. Al entrar en contacto con la atmósfera se transforman en ácido sulfúrico y ácido nítrico, devolviéndose a la tierra en forma de precipitación. Esto genera la acidificación de los océanos y suelos, alterando su pH y por ende ocasionando un desequilibrio ecológico en ciertos ecosistemas como la muerte de peces, desaparición de lagos y perjuicios en selvas y bosques.

Otro aportador al calentamiento global es el metano, León (2017) describe que su molécula es 32 veces más efectiva que la del CO_2 ; alrededor de un 19 % del calentamiento global se conforma de emisiones de metano provenientes de actividad microbiana dada por mineralización del carbono orgánico bajo condiciones específicas anaeróbicas como en terrenos pantanosos y por

digestión de animales herbívoros. También, se ven involucradas actividades antropogénicas, como las dirigidas a la generación de energía como la extracción de gas natural, combustión de biomasa y explotación de minas de carbón.

Por ende, es necesario la búsqueda de alternativas energéticas sustentables, menos contaminantes y a su vez ayuden a eliminar la basura que generamos y que se acumula por el estilo de vida que llevamos actualmente. La propuesta en base a investigaciones de otros autores, ayudará a que sectores productivos, generen energía de desechos propios, economizando así un gasto activo. Al comparar resultados de distintos autores, se puede escoger el que más se acople a las necesidades en la hacienda Casa de Teja y lograr disminuir las aguas residuales que terminan afectando cuerpos de agua cercanos y a los moradores por igual.

1.2.2 Formulación del problema

¿Es la eficiencia de las celdas combustibles microbianas mayor a la eficiencia de las energías no renovables?

1.3 Justificación de la investigación

El siguiente estudio toma su enfoque en el impacto ambiental de la producción energética debido al crecimiento demográfico. En Ecuador, las principales fuentes de energía son las centrales eléctricas a base de diésel y las hidroeléctricas, estas dependen de la velocidad del caudal y la cantidad de agua en el cauce. Jardón (1995) menciona el riesgo que significan para agua, tierra, biota, atmosfera y recursos naturales, ya que son parte de la producción de energía en un 50. Estas actividades tienen mayor impacto en Estados Unidos, pero en países como India, pueden darse como un nuevo foco debido a la industrialización.

Se han buscado otras alternativas de energía limpia, de entre ellas las celdas de combustión, que frente a otras los desechos que producen las mismas son agua pura. Jardón (1995) cita en su investigación a Evers, que explica sobre el papel que toma el hidrógeno y el oxígeno, generando energía química y consecuentemente energía eléctrica.

Autores como Buitrón y Pérez (2011) indican que las celdas combustibles microbianas tienen 2 funciones beneficiosas para resolver lo que es la contaminación de agua y transformar el proceso de producción de una industria. Mientras más alta la concentración de materia orgánica en agua existe mayor posibilidad de reducción del costo de operación en procesos de tratamientos de aguas. Mientras otros procesos anaerobios requieren de un post tratamiento, las celdas de combustible microbiana no, sino que incluso son complementarias para otros sistemas de tratamiento.

En textos de Romero (2010) se explica como la biomasa se da a partir de energía lumínica convirtiéndola en energía química y reteniendo CO_2 , por ende es considerada una fuente de energía renovable dado su contenido de energía proveniente de la energía solar que se da en vegetales durante la fotosíntesis, Las aguas residuales con alto contenido de materia orgánica, lodos de depuración y la materia orgánica proveniente de residuos urbanos sólidos son biomasa que puede transformarse en material gaseoso para cumplir como producto energético.

En cuanto a emisiones de biomasa, Romero (2010) menciona que llega a ser neutro solo si el uso de la misma es igual a la producción neta de la biomasa proveniente del ecosistema explotado. También se menciona que el BNE (Balance Neto Energético) de los biocombustibles es inferior en comparación a la de los combustibles fósiles que es de 50. Considerando así que la solución ante

el deterioro progresivo de la atmósfera, es el empleo de energías renovables no agresivas, pero la poca percepción sobre la importancia ambiental se refleja en que solo existe un 6 % de energía producida por fuentes no convencionales.

1.4 Delimitación de la investigación

- **Espacio:** Cantón Baba, Provincia de Los Ríos
- **Tiempo:** 4 meses
- **Población:** Trabajadores de la hacienda, aprox 25 personas

1.5 Objetivo general

Determinar la eficiencia de las celdas combustibles microbianas como alternativa al uso de energías no renovables mediante comparación bibliográfica de distintos autores para el desarrollo de actividades productivas en la hacienda Casa de Teja, cantón Baba, provincia de Los Ríos.

1.6 Objetivos específicos

- Describir la generación de energía por celdas combustibles microbianas basado en los microorganismos y materiales usados en trabajos de distintos autores
- Cuantificar la cantidad de residuos orgánicos generados por la hacienda Casa de Teja.
- Caracterizar la presencia de microorganismos en canales de agua, producto de los residuos orgánicos generados por la hacienda Casa de Teja.
- Proponer la aplicación de la mayor eficiencia energética para la hacienda Casa de Teja, basado en la información de la cuantificación de

residuos, el análisis de agua y la comparación de trabajos de distintos autores

1.7 Hipótesis

La eficiencia de las celdas combustibles microbianas es mayor que la de los combustibles fósiles si la misma es a mayor escala o si es acompañada de otra fuente de energía renovable.

2. Marco teórico

2.1 Estado del arte

Un artículo publicado por Cheung y Tabor (2018) menciona sobre las investigaciones de la NASA enfocadas en el uso de microorganismos provenientes de agua residual para generar energía. La bacteria *Shewanella* se eligió para la investigación en la misión MICRO 12 a bordo del SpaceX-15 en Junio de 2018, cuyo objetivo era conocer los efectos del vuelo y la microgravitación en la fisiología de la *Shewanella*. El artículo enfatizaba sobre la facilidad que sobrepondría el uso de microorganismos como fuente de energía en próximas misiones espaciales.

Con el fin de conocer el comportamiento de microorganismos fuera de la tierra, la NASA publicó los resultados de Dougherty y otros (2019), se usaron equipos como el BioServe Fluid Processing Apparatus (FPA) and Group Activation Pack (GAP) durante el vuelo y el control de las pruebas a los microorganismos. Se pudo obtener que la tasa de transferencia de electrones extracelulares (EET) aumentaron, en cuanto a la biopelícula se mantuvo constante en las condiciones del vuelo. El resultado general respalda la consideración del uso de *Shewanella oneidensis MR-1* y exoelectrogenos, con el fin de ser organismos útiles para distintas aplicaciones utilizando sistemas bioelectroquímicos microbianos y lograr un desarrollo en la bioingeniería y biología sintética.

En 2013, Cambrian Innovation, un grupo de estudiantes graduados del Instituto de Tecnología de Massachusetts, confirmó la venta de su sistema de tratamiento de aguas mejorado, el Reactor EcoVolt. El proceso en palabras de Rycroft (2018)

describe el uso de celdas combustibles microbianas y un conjunto secundario de electrodos que convierten el agua residual, rica en carbono, en gas metano por electro metalogénesis. El metano puede ser devuelto a la planta de tratamiento de agua para dar calor y energía. Se obtuvo también que 35 Kw de electricidad es lo que el sistema produce mientras procesa 400 kl de aguas residuales por día. Se conoce que distintas unidades del EcoVolt funcionan en cervecerías y bodegas.

Choi (2015) en su reporte titulado “Microscale microbial fuel cells: Advances and Challenges” sobre la aplicación de celdas combustibles microbianas en dispositivos portátiles, propone las celdas a base de papel por sus ventajas como la fácil accesibilidad, no es costoso, su flexibilidad, delgadez, biodegradabilidad y proporciona espacio para el almacenamiento de biomoléculas. Como sustrato se consideran a la glucosa, orina, biomasa, agua residual y bebidas; el diseño y fabricación es más simple y no suponen un contaminante. El equipo uso una cámara de papel que permitió una rápida adsorción del líquido bacteriano (*Ver Anexo Figura 6*), permitiendo la fijación de la célula bacteriana al electrodo.

El uso de biosensores mediante bacterias para identificar metales en cuerpos de agua ayudaría en áreas rurales con escasez del servicio de agua potable, así lo menciona The Pham (2018) en su investigación titulada “Biosensors based on lithotrophic microbial fuel cells in relation to heterotrophic counterparts: research progress, challenges, and opportunities” ayuda al uso de celdas de combustible microbianas litotróficas detectar metales en cuerpos de agua. En 2015 se basaron en el modelo del Centro Nacional de Educación en Biotecnología Ingles, cuya principal función es la detección de Fe^{2+} y Mn^{2+} en cuerpos de agua.

El agua residual proveniente de actividades como agricultura o ganadería puede convertirse en fuente de carbono para el crecimiento bacteriano. Esto

menciona Kumar, Singh, Zularisam, y I Hai (2017) en su estudio titulado “Microbial fuel cell is emerging as a versatile technology: a review on it’s posible applications, challenges and strategies to improve the performances” sobre la intervención de las celdas combustibles microbianas en el tratamiento y aprovechamiento de aguas residuales esto a partir del metabolismo microbiano con reacciones electroquímicas, como se puede apreciar en (Ver Anexo Figura 7).

Otro caso de aplicación de las celdas combustibles microbianas para el tratamiento de aguas residuales se menciona en el estudio titulado “Energy generation in a Microbial Fuel Cell using anaerobic sludge from a wastewater treatment plant” de Passos, Andrade, Reginatto, y Neto (2015), donde se usó una comunidad microbiana de un biodigestor usado para tratar el exceso de lodos de una planta de tratamiento de agua residuales de lodos activados en Ribeirao Preto, Sao Paulo, Brazil, los microorganismos fueron cultivados en un bioreactor y empleado como catalizador biológico en la celda de combustible microbiana.

El bajo costo en la implementación de nuevas fuente de energía haría más factible su cambio de las energías convencionales, el trabajo “Perfomance of low cost scalable air-cathode microbial fuel cell made from clayware separator using multiple electrodes” escrito por Ghadge y Ghangrekar (2015), menciona el uso de un cilindro de arcilla y tres pares de ánodos y cátodos en una celda hidráulicamente conectada, las celdas se designaron como MFC-1 (baja porción), MFC-2 (parte media) y MFC-3 (parte alta). Se utilizó lodo anaeróbica de un pozo séptico, el cual paso por un pretratamiento llenando la cámara anódica con 4.87 L.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Aguas residuales

Actualmente se conoce que uno de los medio más contaminados son las corrientes de agua, las aguas residuales tienen un impacto significativo en el ambiente dado su alto contenido químico, físico y biológico de constituyentes pero a su vez estos constituyentes contienen lo necesario para el crecimiento bacteriano, al cual se lo considera como un contaminante patógeno según Gude (2016), incluso menciona que el contenido de energía química de las aguas residuales es de un 26 % en forma de carbono (DQO) y nutrientes como nitrógeno y fosforo. La mayoría de estas aguas residuales provienen de forma domestica industrial o agricultura causando eutrofización, hipoxia y la presencia de algas afectando a los caudales de agua para consumo humano. En el estudio de Algecira y otros (2010) se menciona sobre el éxito de la experimentación con aguas residuales para generar energía, considerándolas una solución al tratamiento de las mismas y generar energía para la propia planta de tratamiento.

2.2.1.1 Materia Orgánica

Esta se forma a partir de la descomposición de restos vegetales o animales ya sea de manera total o una cierta parte en acción de organismos bacterianos. Como menciona Raffo y Ruiz (2014), las aguas superficiales son las más afectadas por ser un vertedero común de varias industrias y como depósito de aguas servidas de pueblos cercanos. La necesidad de oxígeno por parte de la materia orgánica para su degradación abarca con el oxígeno que utilizan plantas y animales acuáticos.

2.2.1.2. DQO

Se conoce que la demanda química de oxígeno es uno de los parámetros fundamentales para conocer la calidad del agua, la cantidad de oxígeno que se requiere para la eliminación de materia orgánica será fundamental para la depuración de las mismas. Como indica Lopez (2014), se ha tomado un valor referencial que expresa teóricamente lo que equivale la energía en 1 Kg de DQO a 1 kWh. Aunque al alimentar una celda puede generar hasta 4 kWh, este valor no se ha alcanzado experimentalmente por problemas en el diseño. Para el análisis se emplean oxidantes químicos, el más usado en palabras de Basante (2018) es el dicromato de potasio y el porcentaje de remoción de DQO es $\% RDQO = \frac{DQO\ final(ppm)}{DQO\ inicial\ (ppm)} \times 100\ \%$, donde se relaciona la carga orgánica que se va a tratar y la que fue tratada. La relación del voltaje y la DQO se encuentran estrechamente relacionados como asegura Nava y Castillo (2018), expresando que la remoción de DQO es de primera mano con la generación de voltaje, en pocas palabras, todo dependerá de la cantidad de DQO actual en el agua residual.

2.2.1.3 Microorganismos

La acción de los microorganismos dentro de la cámara anódica es necesaria para la oxidación de metales, digestión de biomasa y generación de electricidad. El protagonismo de los mismos va desde su acción en la cámara anódica por vías metabólicas como lo describe Revelo, Hurtado, y Ruiz (2013) esto influye en la relación de electrones y protones, el consumo del sustrato y el potencial anódico. Passos, Andrade, Reginatto, y Neto (2015) menciona sobre la aportación a la degradación de compuestos orgánicos por la remoción de electrones por oxidación y el llevarlos a un receptor como oxígeno, en caso de ausencia de

oxígeno, incluso la capacidad exoelectrogénica se usa como catalizador microbiológico en la celda. Singh, y otros (2018) hacen énfasis en algunas comunidades microbiológicas aplicadas al sistema de celda combustible microbiana como se aprecia en (Ver Anexo Tabla 5)

2.2.1.4 Digestión Anaerobia

En palabras de Botheju y Bakke (2011), la digestión anaeróbica se la conoce como un proceso bioquímico donde se convierte la materia orgánica mediante acción de microorganismos, los cuales usan oxígeno para la degradación de la misma. La digestión anaeróbica funciona como una nueva tecnología para el manejo de residuos municipales, domésticos e industriales.

2.2.1.5 Metalogénesis

Se conoce así a la formación de metano por microorganismos, como menciona Moreno (2014), la metanogénesis se puede dar por dos vías, la primera por metanogénesis acetoclástica donde se utiliza acetato como substrato y dando como resultado metano y CO_2 ; Y la segunda por acción de arqueobacterias hidrogenotróficas que reducen el CO_2 y a su vez oxidan el H_2 como resultado.

2.2.1.6 Fermentación

Se conoce a la fermentación como un proceso efectuado por microorganismos, en ausencia de oxígeno generando un producto final orgánico, se da a partir de la glucólisis. En las celdas de combustibles microbianas, como describe Pineda y Rosas (2016) los compuestos orgánicos fermentables y aquellos que no pueden fermentarse son los encargados de generar energía, algunos ejemplos son acetatos, glucosa o ácidos orgánicos. Por otro lado Estrada y Salazar (2013) indican que la fermentación de materia orgánica efectuada por los microorganismos produce sustancias electroquímicas, la fermentación ocurre en

las cámaras de la celda y el resultado de la fermentación genera energía eléctrica.

2.2.2 Electromicrobiología

Según la definición de Obi y Asogwa (2015), se considera de esa forma al estudio de las interacciones dadas entre microorganismos y su aporte a dispositivos electrónicos por medio de las propiedades de los mismos microorganismos. Cornejo (2017) indica que la capacidad electro microbiológica proviene de las reacciones que ocurren en el electrodo de los microorganismos. Los óxidos metálicos o los compuestos orgánicos ayudan al intercambio extracelular de electrones.

2.2.3 Celda de Combustible Microbiana

Las celdas combustibles microbianas como menciona Nava y Castillo (2018) son un tipo de sistema bio electroquímico que cumplen dos funciones específicas: convertir energía química en energía eléctrica y la degradación por microorganismos. Están compuestas ya sean por 1 o dos cámaras, una CCM básica es de dos cámaras, una cámara anaeróbica (cámara anódica) y una cámara aeróbica (cámara catódica), entre ambas cámaras se encuentra un separador. Revelo, Hurtado, y Ruiz (2013) especifican que en la cámara anódica se aplica un sustrato orgánico que produce la oxidación en ayuda con microorganismo, consecuentemente se generan electrones, protones y CO_2 , incluso se menciona que la eficiencia energética también dependerá de las fuentes de carbono utilizadas como lo menciona Jimenez & Garibay (2018) se han usado distintas fuentes de carbono como la D-glucosa, D-galactosa, fructosa, L-fucosa, l-ramnosa, d-manosa, d-xilosa, D-arabinosa, d-ribosa, ácido D-galacturónico, ácido D-glucorónico y ácido d-glucónico. También se indicó que los

valores a producir por parte del ácido d-glucurónico (480 mg/L) como fuente de carbono es de 1.18 mA/m^2 , la sacarosa tiene una densidad de corriente de 1897.3 mA/m^2 , el acetato (1 g/L) junto con ánodo de fibra de grafito en forma de cepillo dio un valor de 73 W/m^3 , la celulosa tiene una densidad de potencia eléctrica de 188 m W/m^3 .

2.2.3.1 Sustrato

Como menciona El Khaloufi (2019) el sustrato es el combustible de la celda, constituye en la fuente de nutrientes para el crecimiento bacteriano y la respiración anaeróbica. El tipo de sustrato también ayudara a la eficiencia y el rendimiento de la celda al momento de la medición de la densidad de corriente, potencia y la eficiencia Columbica,

2.2.3.2 Cámara

Slate, Whitehead, Brownson, y Banks (2019) destacan sobre la configuración estructural, variando considerablemente entre una a dos cámaras, con o sin membrana. Por métodos de estudio, se usan las celdas de 2 cámaras, una anódica y una catódica, permitiendo el movimiento libre de protones en el ánodo hacia el cátodo. Algunos ejemplos de cámaras de 2 compartimientos se encuentra el rectangular, cilíndrico, miniatura, configuración ascendente y placa plana.

2.2.3.3 Ánodo

También se lo conoce como compartimiento anaeróbico, Singh, y otros (2018) lo describen como el lugar donde ocurre la degradación del sustrato orgánico, la interacción del biofilm y los materiales superficiales depende a los materiales del ánodo al tener estos conductividad eléctrica, resistencia a la corrosión, alta

resistencia mecánica y ser de bajo costo. Los lodos son degradados por microorganismos mediante metabolismo (redox). Los microorganismos oxidan el sustrato y producen electrones, protones y dióxido de carbono como producto en palabras de El Khaloufi (2019).

2.2.3.4 Cátodo

Las reacciones reductivas ocurren en la cámara catódica, aquí es donde los electrones son recibidos por ayuda de un circuito externo mientras los electrones y protones se recombinan en la superficie del electrodo del cátodo en textos de Singh, y otros (2018). En otros escritos, como el de El Khaloufi (2019), indica que una vez en la cámara catódica los electrones reaccionan con oxígenos y protones formando moléculas de agua.

2.2.3.5 Circuito Eléctrico Externo

En palabras de Miranda (2019) , el circuito eléctrico externo es el encargado de conectar ambos electrodos por resistencia eléctrica y permiten el viaje de los electrones de la cámara anódica a la cámara catódica, esto último mencionado por Nava y Castillo (2018).

2.2.3.6 Electrodo

Jibaja (2018) destaca algunos de los materiales que pueden ser usados como electrodos, entre ellos el grafito, cobre o platino. Estos son colocados en cada cámara y se conectan a través de un circuito eléctrico externo.

2.2.3.7 Membrana

Se le conoce a la membrana como el separador entre cátodo y ánodo, comúnmente en celdas de doble cámara, se encarga del bloqueo de electrones pero del paso de protones de cámara a cámara como describe Revelo, Hurtado, y Ruiz (2013). Estas membranas puede ser: de intercambio iones, de intercambio

de aniones, bipolar, ultrafiltración, puente salino, micro ultrafiltración, fibra de vidrio, de poros u otros materiales de filtración. Su función acelera el paso de cationes mientras mantiene la electroneutralidad; el proceso de transporte ocurre de forma natural debido al gradiente de concentración del protón. En el lado del ánodo generalmente es más ácido que en el lado del cátodo dando como resultado un *pH* más bajo. Mientras menos permeable al oxígeno sea el material de la membrana, mayor eficiencia habrá, como indica (El Khaloufi 2019).

2.2.3.8 Bacterias

En textos de Slate, y otros (2019), indica que a inicios del 2000 se reportó sobre la actividad electroquímica dada entre bacterias y levaduras, donde cultivos de *Escherichcia coli* y *Saccharomyces spp* generaban electricidad mediante el uso de macro electrodos de platino a una batería en un medio estéril, la misma investigación fue replicada reportando un voltaje de 35 U a 0.2 m A de un sistema de celda de combustión bacteriana.

2.2.4 Voltaje

Es medido en voltios, se la conoce como la relación entre la corriente (*I*) y la resistencia externa (R_{ext}), una ecuación de textos de Lopez (2014):

$$E = I \times R_{ext}$$

2.2.4.1 Curva de Polarización

Forma parte de la electroquímica, sirve para la ilustración de la densidad de corriente en función del voltaje, es decir el potencial eléctrico de los electrodos. Para la generación de la misma se requiere de una amplia gama de resistor externo conectado al circuito externo como menciona El Khaloufi (2019).

2.2.4.2 Eficiencia Colúmbica

Es la representación de la conversión de materia orgánica a energía eléctrica como mencionan Nava y Castillo (2018), su ecuación es expresada como:

$$EC = \frac{32 \times \int_0^{t_b} I dt}{FbV_{an}\Delta COD}$$

2.2.4.3 Resistencia Interna

También conocida como Resistencia Ohmica en palabras de Lopez (2014) y se puede medir ya sea por curvas de polarización o picos de densidad de potencia. El Khaloufi (2019) indica la importancia de este factor ya que algunas celdas pueden tener el mismo volumen de reactor como la misma cantidad de sustrato pero pueden llegar a producir distintos niveles de corriente.

2.2.4.4 Densidad de potencia

En textos de Jibaja (2018), indica sobre la expresión de la densidad de potencia como:

$$DP = \frac{(\text{Voltaje generado})^2}{\text{Resistencia externa} \times \text{Area del electrodo}}$$

2.3 Marco legal

El siguiente proyecto tiene como base legal expuesta, artículos de la norma suprema, leyes, decretos y normas nacionales

2.3.1 Constitución del Ecuador

En la Constitución del Ecuador, dado por Asamblea Nacional del Ecuador (2008), se menciona en el Título II Derechos, Capítulo Segundo Derechos del Buen Vivir, Sección Segunda Ambiente Sano.

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzara en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectara el derecho al agua.

Se prohíbe el desarrollo, producción, tenencia, comercialización, importación, transporte, almacenamiento y uso de armas químicas, biológicas y nucleares, de contaminantes orgánicos persistentes altamente tóxicos, agroquímicos internacionalmente prohibidos, y las tecnologías y agentes biológicos experimentales nocivos y organismos genéticamente modificados perjudiciales para la salud humana o que atenten contra la soberanía alimentaria o los ecosistemas, así como la introducción de residuos nucleares y desechos tóxicos al territorio nacional.

En el Capítulo Séptimo Derechos de la naturaleza:

Art. 71.- La naturaleza o Pacha Mama, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

Toda persona, comunidad, pueblo o nacionalidad podrá exigir a la autoridad pública el cumplimiento de los derechos de la naturaleza. Para aplicar e interpretar estos derechos se observaran los principios establecidos en la Constitución, en lo que proceda.

El Estado incentivará a las personas naturales y jurídicas, y a los colectivos, para que protejan la naturaleza, y promoverá el respeto a todos los elementos que forman un ecosistema.

Art. 72.- La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos colectivos que dependan de los sistemas naturales afectados.

En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptara las medidas adecuadas para eliminar o mitigar consecuencias ambientales nocivas.

Art. 73.- El Estado aplicara medidas de precaución y restricción para las actividades que puedan conducir a la extinción de especies, la destrucción de ecosistemas o la alteración permanente de los ciclos naturales.

Se prohíbe la introducción de organismos y material orgánico e inorgánico que puedan alterar de manera definitiva el patrimonio genético nacional.

Art. 74.- Las personas, comunidades, pueblos y nacionalidades tendrán derecho a beneficiarse del ambiente y de las riquezas naturales que les permitan el buen vivir.

Los servicios ambientales no serán susceptibles de aprobación; su producción, prestación, uso y aprovechamiento serán regulados por el Estado.

En el Capítulo noveno Responsabilidades

Art. 83.- Son deberes y responsabilidades de las ecuatorianas y ecuatorianos, sin perjuicio de otros previstos en la Constitución y la ley:

Del numeral 6. Respetar los derechos de la naturaleza, preservar un ambiente sano y utilizar los recursos naturales de modo racional, sustentable y sostenible

Art. 267.- Los gobiernos parroquiales rurales ejercerán las siguientes competencias exclusivas, sin perjuicio de las adicionales que determine la ley:

Del numeral 4. Incentivar el desarrollo de actividades productivas comunitarias, la preservación de la biodiversidad y la protección del ambiente.

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

Del numeral 4. Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

Art 326.- El derecho al trabajo se sustenta en los siguientes principios:

Del numeral 5. Toda persona tendrá derecho a desarrollar sus labores en un ambiente adecuado y propicio, que garantice su salud, integridad, seguridad, higiene y bienestar.

En el Título VII Régimen del Buen Vivir, Capítulo primero: Inclusión y equidad, Sección octava: Ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales

Art. 385.- El sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad:

1. Generar, adaptar y difundir conocimientos científicos y tecnológicos.
2. Recuperar, fortalecer y potenciar los saberes ancestrales.
3. Desarrollar tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad, mejoren la calidad de vida y contribuyan a la realización del buen vivir.

2.3.2 Código Orgánico Ambiental

En el Código Orgánico Ambiental, efectuado por Ministerio del Ambiente (2017), en el Título II de los derechos, deberes y principios ambientales

Art. 4.- Disposiciones comunes. Las disposiciones del presente Código promoverán el efectivo goce de los derechos de la naturaleza y de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, de conformidad con la Constitución y los instrumentos internacionales ratificados por el Estado, los cuales son inalienables, irrenunciables, indivisibles, de igual jerarquía, interdependientes, progresivos y no se excluyen entre sí.

Para asegurar el respeto, la tutela y el ejercicio de los derechos se desarrollarán las garantías normativas, institucionales y jurisdiccionales establecidas por la Constitución y la ley. Las herramientas de ejecución de los principios, derechos y garantías ambientales son de carácter sistémico y transversal.

Art. 5.- Derecho de la población a vivir en un ambiente sano. El derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado comprende:

1. La conservación, manejo sostenible y recuperación del patrimonio natural, la biodiversidad y todos sus componentes, con respeto a los derechos de la naturaleza y a los derechos colectivos de las comunas, comunidades, pueblos y nacionalidades;
2. El manejo sostenible de los ecosistemas, con especial atención a los ecosistemas frágiles y amenazados tales como páramos, humedales, bosques

nublados, bosques tropicales secos y húmedos, manglares y ecosistemas marinos y marinos-costeros;

3. La intangibilidad del Sistema Nacional de Áreas Protegidas, en los términos establecidos en la Constitución y la ley;

4. La conservación, preservación y recuperación de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico;

5. La conservación y uso sostenible del suelo que prevenga la erosión, la degradación, la desertificación y permita su restauración;

6. La prevención, control y reparación integral de los daños ambientales;

7. La obligación de toda obra, proyecto o actividad, en todas sus fases, de sujetarse al procedimiento de evaluación de impacto ambiental;

8. El desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías alternativas no contaminantes, renovables, diversificadas y de bajo impacto ambiental;

9. El uso, experimentación y el desarrollo de la biotecnología y la comercialización de sus productos, bajo estrictas normas de bioseguridad, con sujeción a las prohibiciones establecidas en la Constitución y demás normativa vigente;

10. La participación en el marco de la ley de las personas, comunas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos, en toda actividad o decisión que pueda producir o que produzca impactos o daños ambientales;

11. La adopción de políticas públicas, medidas administrativas, normativas y jurisdiccionales que garanticen el ejercicio de este derecho; y,

12. La implementación de planes, programas, acciones y medidas de adaptación para aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad ambiental, social y económica frente a la variabilidad climática y a los impactos del cambio climático, así como la implementación de los mismos para mitigar sus causas.

Art. 6.- Derechos de la naturaleza. Son derechos de la naturaleza los reconocidos en la Constitución, los cuales abarcan el respeto integral de su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos, así como la restauración.

Para la garantía del ejercicio de sus derechos, en la planificación y el ordenamiento territorial se incorporarán criterios ambientales territoriales en virtud de los ecosistemas. La Autoridad Ambiental Nacional definirá los criterios ambientales territoriales y desarrollará los lineamientos técnicos sobre los ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos de la naturaleza.

2.3.3 Ley de Gestión Ambiental

En la Ley de Gestión Ambiental Ministerio del Ambiente (2017) Del Título I: Ámbitos y Principios de la Gestión Ambiental.

Art.1.- La presente establece los principios y directrices de política ambiental; determina las obligaciones, responsabilidades, niveles de participación de los sectores público y privado en la gestión ambiental y señala los límites permisibles, controles y sanciones en esta materia.

Art. 2.- La gestión ambiental se sujeta a los principios de solidaridad, corresponsabilidad, cooperación, coordinación, reciclaje y reutilización de desechos, utilización de tecnologías alternativas ambientalmente sustentables y respecto a las culturas y prácticas tradicionales.

Del Título II: Del Régimen Institucional de la Gestión Ambiental, Capítulo III: Del Sistema Descentralizado de Gestión Ambiental

Art. 10.- Las instituciones del Estado con competencia ambiental forman parte del Sistema Nacional Descentralizado de Gestión Ambiental y se someterán obligatoriamente a las directrices establecidas por el Consejo Nacional de Desarrollo Sustentable.

Este Sistema constituye el mecanismo de coordinación transectorial, integración y cooperación entre los distintos ámbitos de gestión ambiental y manejo de recursos naturales; subordinando a las disposiciones técnicas de la autoridad ambiental.

2.3.4 Acuerdo Ministerial 061

En el Acuerdo Ministerial 061 efectuado por Ministerio del Ambiente (2015), de los estudios ambientales

Art. 27.- Objetivo.- Los estudios ambientales sirven para garantizar una adecuada y fundamentada predicción, identificación, e interpretación de los impactos ambientales de los proyectos, obras o actividades existentes y por desarrollarse en el país, así como la idoneidad técnica de las medidas de control para la gestión de sus impactos ambientales y sus riesgos; el estudio ambiental debe ser realizado de manera técnica, y en función del alcance y la profundidad del proyecto, obra o actividad, acorde a los requerimientos previstos en la normativa ambiental aplicable.

Art. 28.- De la evaluación de impactos ambientales.- La evaluación de impactos ambientales es un procedimiento que permite predecir, identificar, describir, y evaluar los potenciales impactos ambientales que un proyecto, obra o actividad pueda ocasionar al ambiente; y con este análisis determinar las medidas más efectivas para prevenir, controlar, mitigar y compensar los impactos ambientales negativos, enmarcado en lo establecido en la normativa ambiental aplicable.

Para la evaluación de impactos ambientales se observa las variables ambientales relevantes de los medios o matrices, entre estos:

Físico (agua, aire, suelo y clima);

Biótico (flora, fauna y sus hábitat);

Socio-cultural (arqueología, organización socio- económica, entre otros);

Se garantiza el acceso de la información ambiental a la sociedad civil y funcionarios públicos de los proyectos, obras o actividades que se encuentran en proceso o cuentan con licenciamiento ambiental.

DEL APROVECHAMIENTO

Art. 73.- Del aprovechamiento.- En el marco de la gestión integral de residuos sólidos no peligrosos, es obligatorio para las empresas privadas y municipalidades el impulsar y establecer programas de aprovechamiento mediante procesos en los cuales los residuos recuperados, dadas sus características, son reincorporados en el ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio del reciclaje, reutilización, compostaje, incineración con fines de generación de energía, o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales y/o económicos.

El aprovechamiento tiene como propósito la reducción de la cantidad de residuos sólidos a disponer finalmente; con lo cual se reducen costos y se

aumenta la vida útil de los sitios de disposición final, por lo que se debe considerar:

Cuando los residuos sólidos no peligrosos ingresen a un nuevo ciclo productivo, se deberá llevar actas de entrega- recepción de los mismos por parte de los gestores ambientales autorizados por la Autoridad Ambiental competente. Si del proceso de aprovechamiento se generaren desechos, éstos deberán ser entregados al prestador del servicio.

Todos los sistemas de aprovechamiento se los realizará en condiciones ambientales, de seguridad industrial y de salud, de tal manera que se minimicen los riesgos; deberán ser controlados por parte del prestador del servicio y de las autoridades nacionales, en sus respectivos ámbitos de competencia.

Cuando el aprovechamiento de los residuos sólidos no peligrosos se los realice como materia prima para la generación de energía, este tipo de actividad deberá ser sometido a la aprobación de la Autoridad Ambiental Nacional.

Todas las empresas, organizaciones o instituciones que se dediquen a la valorización, reúso o reciclaje de los residuos sólidos no peligrosos deben realizar las acciones necesarias para que los sistemas utilizados sean técnica, financiera, social y ambientalmente sostenibles.

Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con programas de recuperación de residuos reciclables, y promover su reúso.

La recuperación y aprovechamiento de los residuos sólidos no peligrosos deberá efectuarse según lo establecido en la normativa ambiental vigente.

Los procesos de aprovechamiento deben promover la competitividad mediante mejores prácticas, nuevas alternativas de negocios y generación de empleos.

3. Materiales y métodos

3.1 Enfoque de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación del presente trabajo es del tipo documental, un trabajo documental se basa en métodos y técnicas de búsqueda, proceso y almacenamiento de información en documentos previos suficientes para generar una nueva información como menciona Tancara (1993).

El nivel de conocimiento investigativo del presente es descriptivo y explicativo ya que se llevara a cabo una recolección de resultados en cuanto al voltaje generado de las celdas de combustible microbianas dependiendo el uso de microorganismos, diseño y materiales usados para su fabricación. Luego se comparara los resultados de la bibliografía basándose en la potencia generada y la eficiencia colúmbica para evaluar la eficiencia del uso de las celdas de combustible microbiana como una opción de energía renovable.

3.1.2 Diseño de investigación

Para la presente investigación, no se ejecutara un diseño de investigación por ser del tipo no experimental.

3.2 Metodología

3.2.1 Variables

3.2.1.1. Variable independiente

Especie de bacteria (*spp*)

Cantidad de biomasa (*g/L*)

Tipo de sustrato

Diseño de celda (*cm²*)

Componentes de celda

3.2.1.2. Variable dependiente

Voltaje (V)

3.2.2 Tratamientos

El presente proyecto no requiere de tratamiento alguno, ya que se basa en comparación de distintos resultados bibliográficos.

3.2.3 Diseño experimental

El presente proyecto no utilizará un diseño experimental, ya que se basará netamente en casos bibliográficos

3.2.4 Recolección de datos

3.2.4.1. Recursos

Los recursos utilizados para la evaluación de la eficiencia de las celdas combustibles microbianas fueron:

Material de oficina: Esferos, papel A4, computadora, cuaderno de apuntes

Material bibliográfico: Bibliotecas virtuales y libros digitales; Biblioteca de la institución.

Material Digital: Computadora, Microsoft Word y Microsoft Excel.

3.2.4.2. Métodos y técnicas

Para la elaboración del siguiente proyecto se llevarán a cabo 4 fases que permitirán determinar la eficiencia de las celdas combustibles microbianas como reemplazo de las energías no renovables y su posible aplicación en la hacienda Casa de Teja, Baba.

3.2.4.2.1. Fase 1

. Constituye en la descripción del diseño de las celdas y como ocurre la generación de energía en la misma, se desarrollara mediante investigaciones documentales y datos bibliográficos. Se mencionaran los elementos que integran

la celdas y como es la producción de energía dentro de la misma, como las reacciones químicas entre el sustrato, microorganismo y equipo. También se mencionarán los materiales más usados, tipo de celda más usada y cuál es el propósito común del uso de estas celdas.

3.2.4.2.2. Fase 2

Por otro lado para conocer la cantidad de material orgánico desechado, se procederá a realizar pesaje durante 15 días para luego obtener un promedio mediante medidas de tendencia central como lo es la media, mediante la siguiente formula:

$$\text{Media Aritmetica} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Esto ayudará a conocer con cuanto se cuenta de residuos para la actuación del sustrato en las celdas. También, los resultados obtenidos se tabularan y se representaran mediante histogramas.

3.2.4.2.3 Fase 3

Mediante un análisis de agua se conocerá sobre la presencia de microorganismos en las aguas residuales de la hacienda. Para esta fase se procederá a tomar 3 muestras de agua del canal principal que desemboca al rio, durante 3 semanas, una muestra por semana, las cuales serán llevadas a un laboratorio certificado para su respectivo análisis. Una vez obtenido los resultados se presentaran mediante diagrama de barras y tabulación.

3.2.4.2.4 Fase 4

La presente fase se efectuara en dos partes. La primera parte consiste en escoger 5 autores cuyos trabajos con las celdas tenga similitudes con las

características de los residuos de la hacienda. Se comparara la energía producida por las celdas en los 5 trabajos escogidos y se conocerá que favoreció a su generación, es decir, microorganismos y sustratos. Se tabularán los datos y se presentara como diagrama de barras. Se tomara en cuenta la cantidad energética promedio que habitualmente se consume en una hacienda.

La segunda parte de esta fase consiste en un análisis costo/beneficio de la opción escogida para conocer el costo de la manufactura de la celda y los beneficios que aportaría a la hacienda. Como indica (Universidad de Quintana Roo, 2019):

- Se determinará los costos de las partes de la celda
- Se sumará los costos totales
- Se determinará el beneficio tanto en dólares como de manera cualitativa.
- Se efectuará la suma del beneficio total

Como resultado del análisis costo/beneficio se conocerá si la opción escogida es viable y confirmar si se considera a las celdas como una opción factible en grandes producciones.

3.2.5 Análisis estadístico

El presente trabajo se realizará mediante un análisis estadístico descriptivo, ya que se analizará y tabulará los datos obtenidos de la cuantificación, análisis de agua y los datos bibliográficos comparados. Para la representación de la información se utilizara: tablas, diagrama de barras, promedios e histogramas (Rendón, Villacís y Miranda, 2016).

La estadística escogida nos ayudará a estudiar la viabilidad mediante comparación bibliográfica y representaciones gráficos de los datos obtenidos.

El análisis consiste en medidas de tendencia central, en especial el promedio que consiste en la suma del conjunto de datos (Ubiarco y Barraza, 2014).

4. Resultados

4.1 Descripción de la generación de energía por celdas combustibles microbianas basado en los microorganismos y materiales usados en trabajo de distintos autores

Una celda de combustible microbiana es un tipo de reactor biológico, cuyo propósito es la generación de energía a partir de un combustible biológico, en este caso materia orgánica. Como explica Slate, Whitehead, Brownson, & Banks (2019) sobre el uso de las capacidades bio catalíticas de los microorganismos que tienen capacidad de usar energía de los recursos orgánicos para convertir la energía almacenada en sus enlaces químicos en corriente eléctrica.

La composición de una celda combustible microbiana puede variar debido a las cámaras que contenga, pueden ser de una o dos cámaras generalmente. Calder (2007) menciona que la división de las 2 cámaras se debe a la intervención de una membrana y en cada cámara existe un electrodo. La materia orgánica, que actúa como combustible es suministrada en la cámara anódica donde se produce la oxidación originando electrones e iones H^+ . Mientras que en la cámara catódica se suministra un oxidante cuya reacción es reductiva.

En textos de Scott et al. (2012) la degradación de la materia orgánica en la celda aun es estudiada; sin embargo, las reacciones se las atribuye a las bacterias heterotróficas que cuentan con una capacidad de liberar energía de la oxidación de materia orgánica. A su vez la celda usa la acción catabólica de los microorganismos para que la conversión de energía química sea efectiva. Al oxidar un químico, se capturan electrones y se transfieren a una serie de enzimas para almacenar la energía en forma de ATP, estos electrones pueden ser hierro, nitrato, sulfato u oxígeno.

Los protagonistas dentro de la celda, son los microorganismos, estos son los encargados de efectuar todas las reacciones metabólicas dentro de la celda. Se ha efectuado experimentos tanto con cultivos puros, como mezclados y ambos han dado distintos resultados. Acorde avanzan las investigaciones, se ha dado el nombre de exo electrógenos a las bacterias con capacidad electroquímica, estas bacterias cuentan con un mecanismo interno que permite la sintonización de apéndices largos llamados nanocables que permite la transferencia de electrones al ánodo sin contacto con la superficie como menciona El Khaloufi (2019).

Chacón (2018) indica que estos microorganismos poseen dos mecanismos que permiten la transferencia electrónica: aquella directa de electrones, donde actúan nanocables microbianos y la membrana exterior; y la transferencia de electrones mediada que contiene procesos mediadores insolubles. Estos microorganismos pocas veces se encuentran en superficies de ambiente anaerobio el cual disminuye su característica redox y la aportación de nutrientes es limitada.

Otros autores como The Pham (2018) destacan el rol de los microorganismos como un inóculo cuyo uso es necesario para el enriquecimiento de una comunidad bacteriana que logre la oxidación de hierro y la producción eléctrica en la celda. Las bacterias más usadas en laboratorios son de la especie *Geobacter*, aunque también existen otras especies que arrojan resultados distintos, dentro de un sistema bioelectroquímico, actúan principalmente en la cámara anódica.

Autores como Kumari (2012) describe otras comunidades de bacterias como lo son las heterotróficas que tienen una sola colonia idéntica de cualquiera que este en el medio o en las biopelículas que crecen en los electrodos; las fotoheterotróficas que pueden actuar como biocatalíticas en el metabolismo

microbiano junto con recursos fotosintéticos y las células sedimentarias en ambientes acuáticos.

Chacón (2018) menciona cómo funciona el metabolismo microbiano en la celda, en especial el que influye en el tratamiento de aguas residuales como lo son: el metabolismo oxidativo, respiración anóxica o digestión anaerobia. El metabolismo oxidativo se encarga de la oxidación de materia orgánica con oxígeno a su vez que el componente anabólico es reutilizar la materia orgánica para la formación celular. La respiración anóxica consiste en la adición de NO_3^- , NO_2^- y SO_4 . Algunos microorganismos facultativos que aportan con nitratos y nitritos, mientras bacterias sulfatorreductoras aportan con sulfato.

En cuanto a la mezcla de diferentes cultivos de microorganismos, Slate et al. (2019) explica que algunas bacterias en los biofilms de las celdas no muestran una interacción directa con el ánodo. Por ende, se ve en la necesidad de una interacción que contribuya directamente con la generación de electricidad. Como ejemplo menciona a los *Brevibacillus*, los cuales se usan seguidos en los sistemas de CCM; sin embargo, su utilidad para producción energética es baja por lo que logran compensarse con la adición de los *Pseudomonas*.

Otro ejemplo que menciona Slate et al. (2019) se refiere a la producción de miembros de las *Pseudomonas* que secretan fenazinas de las *Pseudomonas aeruginosa*. Su efecto en un cultivo puro de *Enterococcus faecium* permitió un aumento de $294 \pm 49 \mu W m^{-2}$ a $3977 \pm 612 \mu W m^{-2}$, 13 veces más.

Los electrodos, van colocados en cada cámara para actuar como aceptor de electrones. El material usado como electrodo es fundamental para que la actividad bio catalítica dentro de la celda se efectúe correctamente. Como menciona Guo et al. (2020) algunos de los materiales usados son grafito, fieltro

de grafito, papel carbon, tela de carbono, platino, platino negro, carbono vitreo reticulado. Para lograr una transferencia de electrones mas eficiente, es posible modificar la superficie para generar un ambiente favorable en favor del biofilm.

Otros autores como (Nava y Castillo, 2018) mencionan que incluso la separación de los electrodos es fundamental esto debido a la resistencia interna. Dependiendo de las cámaras la función del electrodo es diferente, en el cátodo se acelera la reacción reductiva en la superficie. Se conocen de dos tipos de electrodos: abióticos, como lo son metales de transición oxidativos, metales de compuesto macro cíclicos e incluso polímeros; y biocátodos como aeróbicos y anaeróbicos respetando las condiciones de la cámara.

La membrana es comúnmente usada en celdas de dos cámaras para su respectiva separación y permitir la transferencia de protones. Scott et al. (2012) menciona como la membrana puede ser limitante en el tratamiento de aguas debido a la suciedad que contrae la membrana por los solidos suspendidos y contaminantes solubles Chacón (2018).

En palabras de Singh et al. (2018) se enfatiza sobre el alto costo que llegan a tener los materiales, algunos de estos son Naftlon, Ultrex, poli polietileno, puente salino o incluso tabique de porcelana; Sin embargo se ha logrado reemplazar con materiales sustentables que destaquen por su rendimiento y costo, los materiales reusables han supuesto una solución a esos dos factores por ende se ha propuesto fibra de nylon, vidrio, ceramica e incluso bolsas de compras biodegradables y otros materiales como guantes de laboratorio. Se menciona también materiales litosféricos como terracota porosa o arcilla.

La cámara es donde ocurren todas las reacciones, el diseño es fundamental para la generación de energía y la resistencia interna de la celda. Como menciona

El Khaloufi (2019) existen dos tipos de camaras: las cubicas o tambien celdas de una sola camara, cuentan con un volumen pequeño no mas de 30ml, sin embargo se ha demostrado que logran una mayor eficiencia de energia. El anodo se coloca en un extremo y el catodo al extremo contrario en el cual se realiza una perforacion para el paso de oxigeno, a su vez existen dos orificios superiores para el llenado y drenaje del sustrato. Las camaras cubicas no cuentan con membrana.

El Khaloufi (2019) menciona otro tipo de diseño de celda, las de doble camara, son las mas usadas en experimentos. Cada camara es para un compartimiento, el anodo y el catodo con un puente salino o una membrana de intercambio que separa las camaras, mientras que los electrodos son conectados a traves de un circuito externo.

Singh et al. (2018) explica que mientras en el anodo ocurren las degradaciones del sustrato, en la camara catodica ocurren las reacciones reductivas. El material con el que puede ser construidas las camaras va desde vidrio, policarbonato y Plexiglass.

El sustrato es el combustible de la celda, los diferentes tipos de sustrato afectaran considerablemente la actividad biocatalitica, el sistema de la celda y la comunidad bacteriana usada como explica Guo, y otros (2020). Incluso llega a generar un metabolismo microbiano específico afectando la transferencia organica y electronica. Por ejemplo una investigacion efectuada en 2019 demostro cambios en el cultivo microbiano al agregar agua residual sintetica. Otro ejemplo en 2017, al usar una concentracion de agua residual de pulpa de papa resultando en un incremento de la potencia de salida de la celda.

Guo et al. (2020) tambien menciona sobre el uso de los co-sustratos como una mejora en la degradacion de algunos contaminantes recalcitrantes en la celda. El

uso de co-sustratos se da por la induccion de enzimas oxidantes y la proliferacion de bacterias por el carbono biodegradable. Se ha mencionado el uso de acetato como co-sustrato ayudando a la generacion de electricidad simultanea y la degradacion de fenol por *Pseudomonas*, *Shewanella* y *Geobacter* en la celda. Incluso se usan compuesto organicos biodegradables como co-sustrato para mejorar el metabolismo bacteriano y la aceleracion del 2,4,6 triclorofenol.

Autores como Revelo, Hurtado y Ruiz (2013) tambien mencionan a la glucosa como un sustrato usado al inicio del descubrimiento de las celdas combustibles microbianas. Se conoce de dos tipos de sustratos: puros y complejos. Los puros resultan mas costosos a diferencia de los complejos que son de facil consecucion,son abundantes y economicos; los mismos necesitan una comunidad microbiana y que a su vez sea eletroquimicamente activa.

Sin embargo, ultimamente se ha procedido al uso de sustratos poco comunes como lo es las aguas residuales. Revelo, Hurtado y Ruiz (2013) explican que contiene biomasa y a la vez lograr la depuracion de la misma, estas aguas comunemente provienen de industrias agricolas, ganaderas, biorrefinerias, industrias farmaceutica, etc. Otros autores como Singh et al. (2018) destacan sobre los diferentes resultados producidos por el uso de agua residual en la remocion de DQO, mejorar la densidad de potencia, la eficiencia columbica y la efectividad de la concentracion de los sustratos.

4.1.1 Temperatura

Como indica Nava y Castillo (2018) parte de las condiciones ambientales que es necesario tomar en cuenta es la temperatura debido a que contrubuiria con el crecimiento de microorganismos. Bermudez y Bernal (2018) especifica sobre como a muy baja o muy altas temperaturas, los microorganismos simplemente no

crecen. Existen los microorganismos psicrófilos a temperaturas bajas entre 0°C - 12°C, mesófilos con temperaturas entre 10° C – 45°C, termófilos con temperaturas altas entre 40°C – 65°C e hipertermófilos con temperaturas extremadamente elevadas 65°C – 95°C.

4.1.2 pH

Chacón (2018) explica sobre el pH, como el parámetro principal en cuanto a las aguas residuales por las propiedades corrosivas de las mismas. En los tratamientos de aguas, existe un conflicto al momento de existir fluctuaciones de pH, como en procesos de floculación-coagulación. Por otro lado Nava y Castillo (2018) explica sobre cómo el pH bajo ayuda a la transferencia de protones al cátodo y disminuye el gradiente de concentración de protones por la membrana, mientras que, un pH alto no permite el crecimiento de metanógenos que llegan a mejorar la función de la célula.

4.2 Cuantificación de la cantidad de residuos orgánicos generados por la hacienda Casa de Teja

La hacienda “Casa de Tejas” cuenta con aproximadamente hectáreas, produce banano, el cual es exportado dependiendo de los requerimientos del país que lo solicite. Muchos pueden escoger entre la cantidad, el tamaño de la fruta o la calidad, por ende, el estándar de la fruta es primordial y las piezas que no cumplan los requisitos, sencillamente son dejadas de lado, a esto se lo conoce como “rechazo”.

En la hacienda “Casa de Tejas”, ubicada en la Vía Vences – San Juan (Ver Anexo Figura 8) los cortes empiezan desde las 6:00 y culminan entre las 15:00 o las 17:00, la hora dependerá de la cantidad de personal y de la disponibilidad del contenedor.

Tabla 1. Producción de banano por horas

Horas	Produccion
2 hrs	440 cajas
11 hrs	2420 cajas

Cajas de banano producidas para exportación
Ruiz, 2020

Al llegar a la hacienda para la toma de datos, solo habían transcurrido dos horas de producción y se procedió con un cálculo de la producción para ese momento. Luego se tomó del resto de horas que se trabajó ese día, comúnmente son 11 horas completas, llegando a 2420 cajas como total para llenar un contenedor.

Tabla 2. Rechazo generado de la producción por horas

Produccion/hrs	Rechazo de la produccion
440 cajas	670 lbs
2420	3685 lbs

Materia prima desechada durante proceso de selección de banano de exportación
Ruiz, 2020

El rechazo comúnmente se lo utiliza para alimentación de ganado o se lo desecha. La fruta no es considerada rechazo solo por estar en malas condiciones para consumo, si no por incumplimiento de los estándares requerido de exportación como el peso, imagen, tamaño, madurez, entre otros.

4.3 Caracterización de la presencia de microorganismos en canales de agua producto de los residuos orgánicos generados por la hacienda Casa de Teja

Se tomaron pruebas microbiológicas y físico - químicas del agua del canal, para conocer las condiciones del crecimiento bacteriano y adecuar la celda a los microorganismos. Los resultados fueron:

Tabla 3. Resultados de análisis microbiológico de agua de canal de la hcda. Casa de Teja

Resultados de Análisis Microbiológico		
Parametros	Unidad	Resultados
Coliformes Totales	<i>NMP/100 ml</i>	16×10^2
Coliformes Fecales	<i>NMP/100 ml</i>	16×10^2
E. coli *	<i>NMP/100 ml</i>	< 1.8

Cantidad de especies microbiológicas presentes en agua de lavado.
Ruiz, 2020

Los resultados del analisis microbiologico indican una presencia considerable de Coliformes Totales y Fecales.

Tabla 4. Resultados de análisis físico-químico del agua de canal de la hcda. Casa de Teja

Resultados de Análisis Físico-Químico		
Parametros	Unidad	Resultados
pH	Unidades de pH	7.01
Solidos Totales Disueltos	<i>mg/L</i>	40.3
Turbidez	NTU	1
Nitrogeno – Nitratos	<i>mg/L</i>	2.2
Cloruros	<i>mg/L</i>	6.68
Conductividad	<i>uS/cm</i>	83.8
Dureza ($CaCO_3$)	<i>mg/L</i>	< 1

Niveles de factores físicos-químicos presentes en agua de lavado.
Ruiz, 2020

4.3.1 Comparación con parámetros de calidad de agua

Luego de conocerse los resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos, se procedió a la comparación con los límites de descarga a un acuífero según el Acuerdo Ministerial 097-A Anexo 1 (Ver Tabla 6).

Se puede apreciar que a pesar de que no se exceden los límites permisibles de pH, cloruros y coliformes fecales se aproxima al límite. Siendo un indicador de posible contaminación en un futuro si aumenta la demanda del producto y llegando incluso a sobrepasarlos.

Sin embargo, la presencia de la comunidad microbiana de *Escherichia coli* complementaria el uso de las CCM, en función de la necesidad de un biocatalizador para la materia orgánica presente.

4.4 Propuesta de aplicación de la mayor eficiencia energética para la hacienda Casa de Teja basado en la cuantificación, análisis de agua y comparación bibliográfica experimental de 5 autores.

Se han considerado los trabajos experimentales de 5 autores, sus trabajos tienen características similares en lo que se refiere al uso del sustrato para Cercado, y otros (2010) sobre el funcionamiento de la celda.

4.4.1 Descripción de las celdas de los 5 estudios escogidos

4.4.1.1 Producción energética en celda de combustible microbiana mediante *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*.

El uso de cepas de *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* en el trabajo efectuado por Páez, Lache, Medina y Zapata (2019) es una de las variables a estudiar, por la capacidad que tienen estas bacterias de producir energía eléctrica

dentro de la celda. El material del electrodo, el uso de un mediador y el pH del sustrato son también objeto de estudio en este trabajo investigativo.

Páez et al. (2019) usaron inoculos de *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa* basado en los estándares de McFarland #2 en solución de agua de peptona. La preparación de inóculos se añadió a la cámara anódica con una concentración inicial de $1 * 10^7$ UFC/ml, un volumen de 800 ml de agua residual sintética compuesta por peptona de caseína, peptona de soya, glucosa y fosfato dipotásico hidrogenado.

Las pruebas se efectuaron a una temperatura constante de 37 °C, mientras que el pH se estableció en un rango de 6.5 a 7 para *Escherichia coli* y 8 para *Pseudomonas aeruginosa*. Para tener una atmósfera adecuada en la cámara anódica se usó Oxoid AnaeroGen de 2.5L, los cuales absorbieron el oxígeno presente en la atmósfera generando a la vez CO_2 sin producir hidrógeno.

La celda fue de dos cámaras de polipropileno con un volumen de 1234 ml para cada cámara y se separó mediante un puente de cloridato de sodio con agar, en el cual existe un desplazamiento de iones positivos. Cada cámara cuenta con un electrodo de grafito con dimensiones de 4 cm x 7 cm x 1 cm y para el electrodo de tela de carbono las dimensiones fueron 4 cm x 7 cm x 0.1 cm, los mismos se prepararon en el laboratorio tomando en cuenta la disponibilidad del material y su uso común en otros estudios tomando como referencia el volumen de las cámaras.

Como mediador se usó azul de metileno a una concentración de 0.1 mg/ml de sustrato en la cámara anódica. A su vez se realizaron 16 pruebas basadas en el diseño experimental de 2^4 , considerando las 4 variables que son: cepas, pH, el material del electrodo y el uso o no de un mediador. Se le sumó un test en blanco

sin cepas para la demostración de la generación de energía cuando existe microorganismos.

Para la medición se tomó en cuenta 2 horas para cada test por 24 horas mediante un multímetro UT33C con una precisión por una medida de voltaje de $\pm 0.5 \% + 2$ y la medición de la intensidad de corriente de $\pm 1 \% + 2$. También se midieron parámetros como: energía, densidad de corriente, densidad de poder y energía volumétrica. El pH se midió con un pHmetro digital de tipo lápiz modelo PH-009 (I) con una precisión de $\pm 0.1 \text{ pH}$ para evaluar las variaciones que podrían existir durante el proceso de la producción de energía eléctrica.

En cuanto al crecimiento bacteriano, se tomaron pruebas cada dos horas de la cámara anódica por 24 horas. Se realizaron 8 diluciones consecutivas de base 10, de 13 pruebas en tubos de 4.5 ml de solución salina previamente esterilizadas y se añadió 0.5 ml de las pruebas a cada tubo. La siembra de las cepas se realizó en diluciones en placas Petri con medio de cultivo incubado por 24 horas a 37 °C.

4.4.1.2 Generación de electricidad por celda de combustibles microbianas mediante residuos provenientes de actividades agrícolas.

La generación de residuos agrícolas cada vez es mayor si de abastecer a la expansión de metrópolis se trata. Por ende el trabajo de Rojas et al. (2020) tiene como objetivo buscar un segundo uso a los desperdicios derivados del área agrícola. La construcción de una celda de combustible microbiana fue una de las ideas por encontrar a esta idea como la idea del futuro.

Se construyeron 3 celdas de una sola cámara, cada uno con un sustrato diferente, en este caso se usaron residuos de cebolla, tomate y papa. Las cámaras fueron elaboradas de acrílico de 144 cm^2 con agujeros en cada esquina. Las cámaras a su vez, usaron tubos PVC de 5 cm de diámetro y 10 cm de largo,

con placas circulares de contención donde el cátodo fue hecho de cobre y el ánodo de zinc, con 5 cm de diámetro y 0.2 de espesor para cada extremo del tubo. Entre las tapas de acrílico, se ha asegurado la tubería con pernos, tuercas y arandelas. En caso de fugas se procedió a usar adhesivo termofusible en los extremos de la tubería.

La materia orgánica usada fue de restos de tomate, cebolla y papa recolectados de los mercados ubicados en Hermelinda-Trujillo en Perú. Estos residuos se trituraron y luego, se homogenizó 120 ml de cada sustrato con un agitador magnético y colocados luego en las celdas. Las mezclas se realizaron a temperatura ambiente de $21\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Las mediciones de voltaje se efectuaron con un sensor de voltaje de marca Venier, mientras que las de corriente, con un multímetro Testech, KT-5510 y el pH, con un un multi-HQ40D.

4.4.1.3 Bioelectricidad a partir de residuos de frutas y vegetales usando celda combustible microbiana de una sola cámara.

El Ecuador es conocido por su exhaustiva producción agrícola, el clima y el suelo son aptos para esta actividad. Dado a lo anteriormente mencionado, Logroño et al. (2015) decidieron aplicar la tecnología de las celdas combustibles microbianas usando como sustrato los residuos de frutas y vegetales en conjunto con los suelos alto andinos.

Para el estudio se realizó en primer instancia un análisis físico – químico del suelo arrojando como resultados un pH de 5.5, materia orgánica de 3.7 %, una conductividad eléctrica de 203, NH_4 de 11.5, fósforo de 68.1, potasio de 0.24, calcio de 10.2 y magnesio de 5.7. Como sustrato se usó la materia orgánica suministrada por los residuos municipales de la ciudad de Riobamba.

La celda fue de una sola cámara, usando cubos de plástico de 12 litros; una mezcla de carbón activado de suelo sirvió de membrana y se probó por 60 días en operación por lotes. El cubo tenía una altura de 270 mm, diámetro inferior de 200 mm y 270 de diámetro superior. Los electrodos del ánodo y cátodo son de fibra de carbono con dimensiones de 300 mm x 250 mm con diferentes mezclas de residuos y con una distancia entre electrodo de 50 mm. Se añadió agua, efectuando una columna de 2 cm en el cátodo creando condiciones anaeróbicas y a su vez como la matriz experimental húmeda. También se conectó 2 alambres de hierro al cátodo y ánodo de manera separada efectuando un circuito externo. La medida del voltaje de salida se midió con un multímetro DT-832, diariamente y se efectuaron 3 modelos de la celda para diferentes proporciones de fruta: vegetales, siendo: SMFC1 – 50:50, SMFC2 – 25:75 y SMFC3 – 75:25.

4.4.1.4 Uso de los residuos de las cascarras de banano y naranja en celdas combustibles microbianas

En el trabajo elaborado por Elviliana et al. (2018) usa como solución el uso de las celdas combustibles microbianas al considerable consumo de naranja y banano, cuya producción mundial solo en el 2016 fue de 73.2 millones de toneladas. Del 50 al 60 % es el promedio de residuos de cascarras de naranjas, de igual manera se ha conocido de distintos estudios donde se utiliza la cascara de naranja como sustrato generando entre 0.59 ± 0.02 V con un amperaje de 500.

Por otro lado Elviliana et al. (2018) menciona el potencial de los residuos del banano como sustrato. La producción de banano es alta en áreas tropicales y subtropicales. Su contenido alto en carbohidratos y otros sustratos lo hace adecuado para el crecimiento bacteriano. Los objetivos de estudio de este trabajo son el reducir la cantidad de residuos de la producción de frutas y la ausencia de

un pretratamiento a los sustratos, en reemplazo el uso de microorganismos nativos.

Para la construcción de la celda se crearon 4 reactores de una sola cámara con un volumen total de 100 cm^3 , el cátodo tuvo 9 hoyos con diámetro de 2 mm cada uno y el material usado para el cátodo fue cobre recubierto con carbón activado en polvo. Como ánodo se utilizó platos de zinc recubiertos con polvo de grafito y las pruebas fueron duplicadas. También se tomara en cuenta los análisis de solidos totales y solidos volátiles según el Método Estándar 2450 G y las mediciones fueron tomadas con un multímetro DT-860D WINNER durante 10 días.

4.4.1.5 Desarrollo de celda combustible microbiana de bajo presupuesto usando cepa de *Escherichia coli*

Con la innovación del uso de los microorganismos como nueva fuente de energía, son muchos los estudios que se han realizado para lograr optimizar esta nueva tecnología. Uno de esos estudios es el de Oliveira, da Costa, de Oliveira y Nascimento (2015) donde elaboran una celda de doble camara con materiales de bajo costo y a su vez evalúan la eficiencia del mismo.

El sistema consistió en dos cámaras circulares de Teflon de 25 ml con diámetro externo de 91 mm, una cavidad interna de 50 mm de diámetro y 2 huecos en la parte superior. Para fines comparativos, se usó como separador, dos membranas diferentes: una de Naftlon y una de Poly(metil metacrilato). La cámara anódica se cargó con bacterias frescas inmersas en TSB media de 37 g/L y usando azul de metileno como mediador en de 0, 300 y 3mm para cada

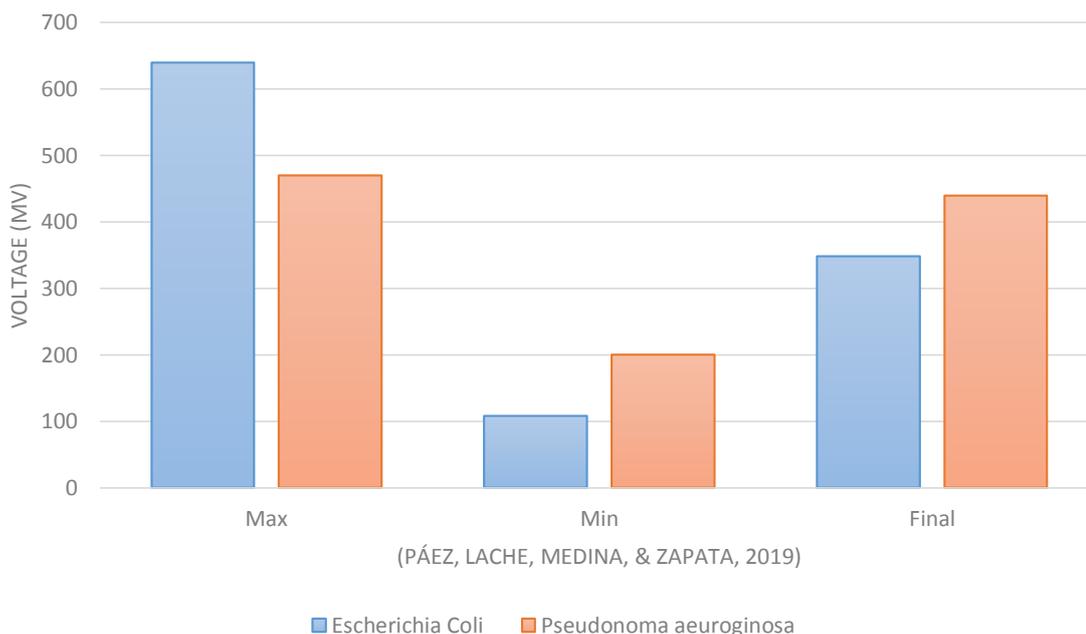
camara mientras el compartimiento catodico contenia agua quimica oxidativa milli-Q.

El crecimiento bacteriano de la *Escherichia coli* se dio a 37 °C en TSB/agar por 24 h. Las medidas de voltaje se realizaron con un multmetro digital de marca Keithely 2002 en un intervalo de tiempo fijo, la potencia de salida fue medido en terminos de resistencia.

4.4.2 Comparación de voltaje

Las comparaciones de voltaje se realizaron tomando en cuenta el tipo de materia orgánica o sustrato; y el diseño de la celda que usaron los autores.

Figura 1. Representación del voltaje máximo, mínimo y total de Páez, Lache, Medina & Zapata

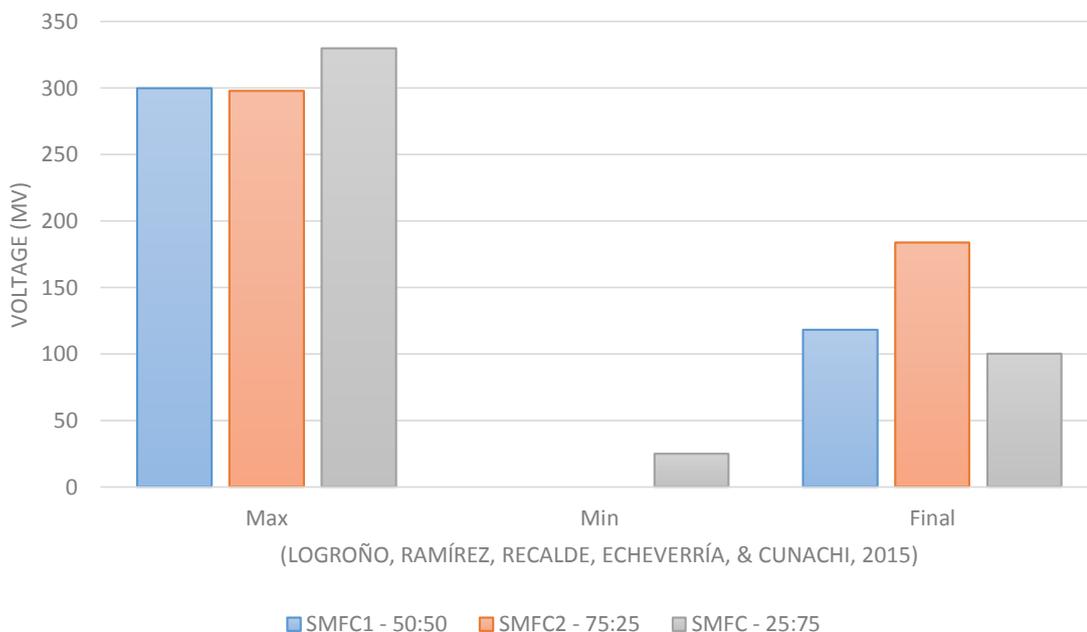


Ruiz, 2021

En los resultados de Páez et al. (2019) se puede apreciar como la *Escherichia coli* alcanza un voltaje de 620mV y su mínimo no resulta ser tan destacable como el de la *Pseudonoma aeuroginosa*, es el mismo caso de su voltaje final que llega a 335 mV. La cantidad de inculo utilizado para la producción del voltaje

especificado fue de 800ml de sustrato para ambas comunidades en agua residual sintética.

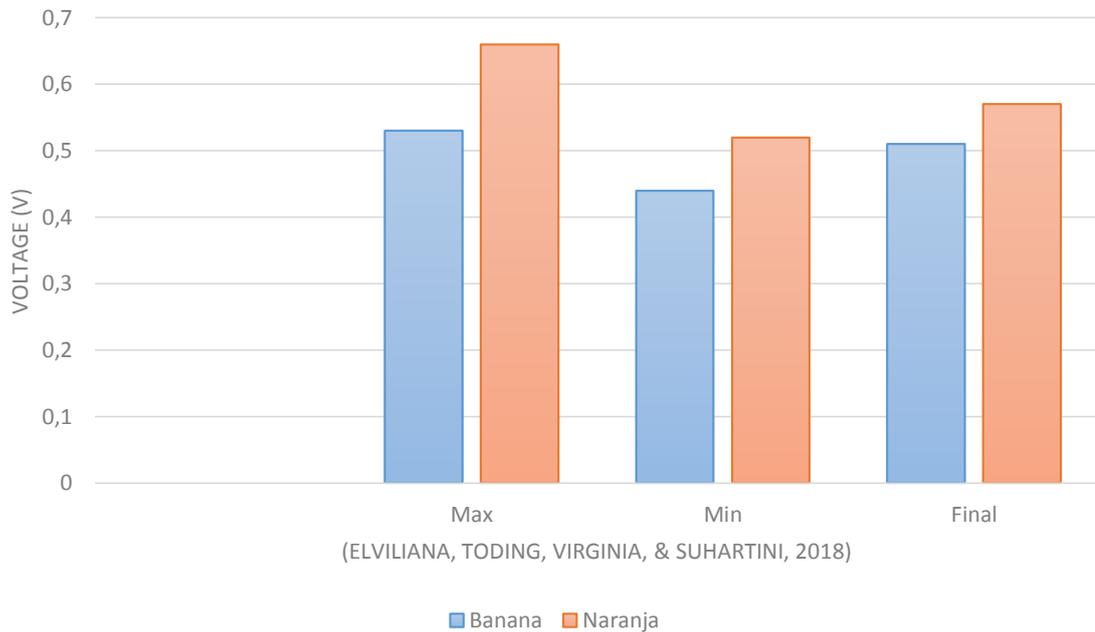
Figura 2. Representación del voltaje máximo, mínimo y final de Logroño, Ramírez, Recalde, Echeverría & Cunachi.



Ruiz, 2021

En el resultado de voltaje de Logroño et al. (2015) se pueden destacar como los materiales usados para la construcción de la celda y la cantidad de sustrato afectan a la producción de voltaje. La celda SMFC- 25:75, 252 g de fruta y 752 g de vegetales, fue aquella cuyo mínimo jamás llegó a cero, es decir genera una cantidad considerable de voltaje. Sin embargo, la celda SMFC con proporción de 75:25, con 752 g de frutas y 252 g de vegetales generó un voltaje máximo de 330 mV.

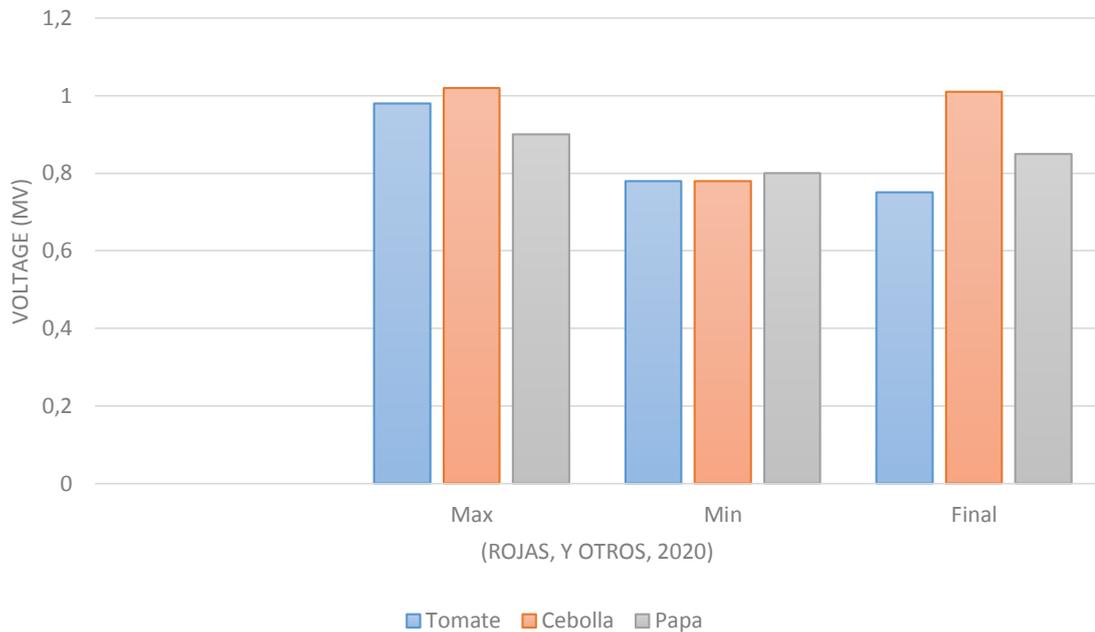
Figura 3. Representación del voltaje máximo, mínimo y total de Elviliana, Toding, Virginia & Suhatin.



Ruiz, 2021

El voltaje generado en el trabajo de Elviliana et al. (2018) indica que tanto el uso de residuos de banana y naranja no sufren cambios tan drásticos en la generación voltaica a excepción del máximo alcanzado, donde el residuo de naranja llega a ser mayor. Esto puede darse ya sea por la cantidad de sustrato, sin embargo la misma cantidad de inóculo se aplicó una mezcla de sustrato de 100 cm^3 para ambas generando un voltaje máximo en el caso de la banana de 0.54 V; mientras que el residuo de naranja generó un máximo de 0.65 V. En cuanto a su voltaje mínimo, con la misma cantidad de sustrato (100 cm^3), para el residuo de banana se generó un voltaje de 0.44 V y para la naranja de 0.51 V.

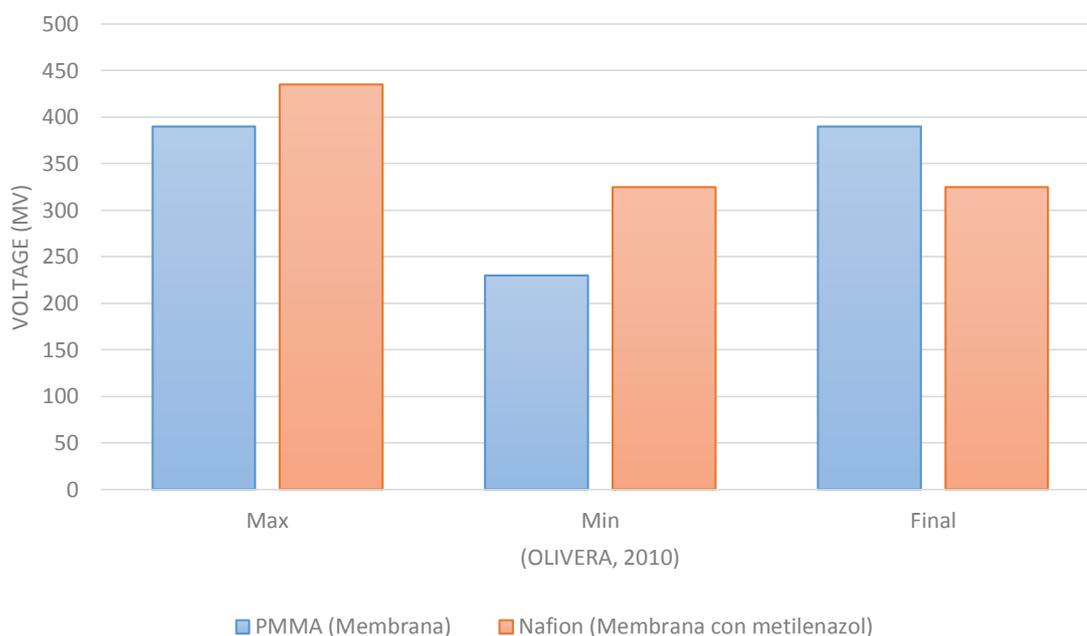
Figura 4. Representación del voltaje máximo, mínimo y total de Rojas y otros.



Ruiz, 2021

El experimento efectuado por Rojas et al. (2020) utilizó 120 ml de sustrato para cada cámara (1 cámara por cada sustrato), generando así, un voltaje máximo de 1,02 V para el uso de cebolla como sustrato. El voltaje final que destaco continuó siendo para el uso de cebolla como sustrato en 1 V. Indicando que no existe un cambio tan significativo como con el tomate y la papa que variaron en su voltaje mínimo y final.

Figura 5. Representación del voltaje máximo, mínimo y total de Olivera.



Ruiz, 2021

El trabajo de Olivera (2010), se enfoca en la función de distintas membranas, para la experimentación de las membranas se aplicó 37 g/L de medio TSB. La membrana de Nafion alcanzó un voltaje máximo de 435 mV y con un final de 330 mV, mientras que la membrana de PMMA en su final logra un voltaje de 390 mV. Aunque varía el voltaje entre membranas, se puede considerar que la membrana de Nafion llega a ser un poco más constante que su adversario, es decir, no es tan drástico el cambio de voltaje.

El uso de *Escherichia coli* generó una potencia máxima de 640 mV, de lo cual, se puede atribuir tanto a la actividad microbológica como a las características de la celda. La segunda potencia a considerar es la generada por la cascara de naranja con 620 mV, cuya celda es de una sola cámara, de misma forma, la tercera potencia es la de la cascara de banana con 520 mV. A diferencia de las centrales eléctricas convencionales cuya producción energética es de 18.9 MW, como menciona Calvo & Vizquerra (2014) consumiendo aproximadamente 180

$gr/KW - h$, una celda combustibles microbiana apenas llega a 2.06 V, aunque el uso de sustrato sea mínimo.

4.4.3 Relación Costo/Beneficio

En vista de la comparación de resultados la producción de voltaje, se procede a la comparación de los costos de los materiales usados en los diferentes trabajos mencionados (Ver Tabla 8) visualizando un coste total de cámara por autor, tomando en cuenta los costos por material y con la suma respectiva de cada experimento realizado.

Se puede apreciar que algunos de los trabajos de experimentación alcanzan un valor de \$9.500,00; sin embargo, en contraste con los tratamientos de aguas residuales convencionales para su construcción oscila entre los \$45.000,00 y \$195.000,00 dólares considerando lagunas o bien \$1'000.000,00 para lodos activados como menciona Universidad de Sonora (2011). A pesar de que algunos autores utilizan comunidades bacterianas, bien esto podrá excluirse debido al uso de materia orgánica y que su fermentación ayuda al crecimiento bacteriano, sin ningún tipo de ayuda de microorganismo insertado.

5. Discusión

Tomando en cuenta los resultados obtenidos de los análisis físico-químicos y microbiológicos, el pesaje, las partes principales de una CCM y la comparación de datos bibliográficos de resultados anteriores.

El trabajo de Choi (2015), usando una cámara de papel en reemplazo de una cámara de acrílico regular, realiza un énfasis en los PEM's, usando papel pergamino debió a lo costoso que llegan a ser como se puede apreciar en la lista de costos individuales (Ver Anexo Tabla 7) el costo de Nafion y de las membranas de poli-metil-metacrilato; por ende, algunos trabajos experimentales cuyo objetivo es buscar una alternativa sustentable a la energía convencional, usan las celdas de una sola cámara, la mayoría cilíndricas, y donde los electrodos van al extremo de las mismas.

En los trabajos de Kumar et al. (2017) menciona como el agua residual cumple su función de sustrato. El agua del canal de la hacienda contiene la materia orgánica suficiente para considerarse sustrato útil en la cámara. Es probable que también dependa la cantidad de agua residual que corre por el canal, ya que no toda proviene de área de la empacadora. Kumar enfatiza sobre el uso de la tecnología de las celdas para el tratamiento de agua, es decir, no solo se podría aplicar como energía sustentable.

En un experimento, mencionado en la investigación de Kumar et al. (2017) estas aguas contienen comunidades bacterianas, específicamente, microorganismos reductores de sulfato entre ellos *Escherichia coli*. Esta última mencionada, está presente en las aguas del canal de la empacadora.

Como se menciona en los textos de Huang y Logan (2008) a pesar de que la celulosa tienen una degradación más complicada por métodos convencionales de

tratamiento, se ha logrado su uso como sustrato a escala de laboratorio en CCM's debido a la fermentación de la celulosa logrando energía por comunidades microbianas como las *Pseudomonas*, *Halaneobium*, etc. Arrojando un voltaje constante de aprox 400mV y 420mV. La producción de banano puede ayudar a que la generación de voltaje en la celda sea aún más productiva.

Se menciona incluso sobre la combinación de distintas comunidades microbianas para mejorar la eficiencia de las celdas como en el caso de Slate et al. (2019) que mencionan sobre el uso de *Shewanella* spp. y *Geobacter* spp. Las comunidades mixtas de cepas inoculadas tienen una capacidad de producir densidades de energía más altas como biopelículas anódicas enriquecidas que han generado densidades de potencia de hasta 6,9 W por m² (área anódica proyectada).

El consumo del sustrato dentro de la celda también es un factor a considerar, sobre este factor es muy poco lo que se ha indagado. Sin embargo autores como Passos y otros (2015) especifican sobre la fluctuación de voltaje y en su trabajo utilizando aguas residuales los voltajes duraron 3 días, donde el segundo día tuvo un ascenso. Esto podría deberse a la concentración de microorganismos dentro del cátodo, ya que las sustancias orgánicas

6. Conclusiones

Se concluye que las CCM, de una sola cámara, llegan a ser más económicas que las de doble cámara debido a la ausencia de una membrana. El costo de la membrana llega a ser muy alto, en ciertos casos, existen trabajos experimentales donde el uso de la membrana es económico luego de varios intentos con materiales reusables. También, se ha conocido que la mezcla de cepas ayuda a un mejor rendimiento de las celdas.

Por otro lado, los residuos generados por la hacienda, tanto el agua residual como el rechazo, bien pueden ser suministrados a las celdas para maximizar la potencia energética de la misma. El uso de materia orgánica dependerá de su fermentación y ayudaría a la economización de los mismos procesos de la hacienda.

De la misma manera, el agua residual no solo sería aprovechada para la generación de energía a favor de la economización de los procesos productivos y a su vez evitar en los tratamientos de agua convencionales costosos que comúnmente son necesarios para el momento de devolver el agua a los ríos.

El uso de residuos, es mucho más eficiente en cuanto al uso de sustrato para la alimentación de comunidades microbianas. No solo minimiza la cantidad de basura acumulada y la lixiviación afectando los suelos, si no que aprovecha los desperdicios orgánicos, generando en un futuro una economía circular. En contraste con la comparación bibliográfica de otros trabajos, el uso de materia orgánica y agua residual ha sido usado frecuentemente como sustrato en las celdas debido a la capacidad oxidativa de las mismas.

Pero el mayor reto es desplazar por completo las energías no renovables y de eso depende la eficiencia energética de estas, la producción de energía por una

CCM es muy baja en comparación con la producida por una planta eléctrica a base de diésel; también debe ligarse el hecho de que tan rápido se consume el sustrato en una CCM en comparación a la velocidad del consumo de diesel en una planta eléctrica convencional. La hipótesis no se cumple, ya que todos los trabajos demostraron no alcanzar ni un aproximado de lo producido en una planta eléctrica convencional.

7. Recomendaciones

El uso de residuos orgánicos es mucho más eficiente que el uso de una comunidad microbiana en un medio de cultivo. La actividad microbiana generada en residuos orgánicos llega a ser más completa para que los microorganismos sobrevivan

Es posible la combinación de distintas comunidades de microorganismos para lograr una eficiencia mayor de la actividad bio catalítica.

Aun se realizan pruebas a nivel de laboratorio, debido a que el voltaje no siempre es constante y tanto los materiales como el sustrato pueden variar la energía que producen.

Sería posible llegar a un punto medio de eficiencia mediante una serie de celdas combustibles, sin embargo para ser totalmente sustentables, únicamente se debe recurrir al uso de desechos orgánicos de la industria; es decir, únicamente podría ser aplicable a industrias agrícolas o ganaderas.

8. Bibliografía

- Algecira, N., Hernández, C., & Ibáñez, R. (2010). *COGESTEC*. Obtenido de Comunidad Colombiana de Gestión Tecnológica: [http://cogestec.ingenio.com.co/db/separated/2010%20\(19\).pdf](http://cogestec.ingenio.com.co/db/separated/2010%20(19).pdf)
- Arevalo, C. P. (1 de Enero de 2007). *Estudio de prefactibilidad para la implementacion de un sistema de generacion distribuida con celda de combustible en la planta de tratamiento de aguas residuales El Salitre, Bogotá*. Tesis de grado, Universidad de La Salle, Bogota. Obtenido de Universidad de La Salle: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1150&context=ing_electrica
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2008). *Constitucion*. Normativo, Asamblea Constituyente, Quito. Obtenido de https://www.asambleanacional.gob.ec/sites/default/files/documents/old/constitucion_de_bolsillo.pdf
- Basante, N. (Febrero de 2018). *Evaluacion del efecto de polimeros conductores en el tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando celdas de combustible microbianas*. Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador, Quito. Obtenido de Universidad Central del Ecuador: <http://200.12.169.19/bitstream/25000/14582/1/T-UCE-0008-Q009-2018.pdf>
- Bermudez, M., & Bernal, E. (2018). *Implementacion de una celda de combustible microbiana a escala laboratorio para generacion de energia electrica*. Tesis, Bogota. Obtenido de <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6695/1/6131003-2018-1-IQ.pdf>
- Botheju, D., & Bakke, R. (01 de Abril de 2011). Oxygen Effects in Anaerobic Digestion – A Review. *The Open Waste Management Journal*, 4, págs. 1 - 19. Obtenido de <https://benthamopen.com/contents/pdf/TOWMJ/TOWMJ-4->

Direct: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956566315001128?via%3Dihub>.

Cornejo, A. (Noviembre de 2017). *Estudio del microbioma presente en celdas de combustibles microbianas*. Centro de Investigacion y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, Queretaro. Obtenido de CENTRO DE INVESTIGACION Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN ELECTROQUÍMICA, S.C: https://cideteq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/314/1/Electromicrobiolog%C3%ADa%20del%20microbioma%20presente%20en%20celdas%20de%20combustible%20microbianas_rees.pdf

Dahunsi, S. (2020). *Electricity generation from food wastes and spent animal beddings with nutrients recirculation in catalytic fuel cell*. Ho Chi Minh: Nature Research. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-020-67356-0>

de Oliveira, H., da Costa, M., de Oliveira, A., & Nascimento, M. (2015). *Development of low cost microbial fuel cell based on Escherichia coli*. Universidade Federal do Vale do São Francisco. Juazeiro: IEEE. doi:0.1109/NANO.2015.7388771

Dougherty, M., Deutschbauer, A., Ball, N., Karouia, F., Price, M., Arkin, A., & Hogan, John. (20 de Noviembre de 2019). Obtenido de NASA: <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20190033397>

El Khaloufi, Y. (Abril de 2019). *Microbial fuel cells for electricity generation*. Propuesta, Al Akhawayn University, Ifrane. Obtenido de <http://www.aui.ma/sse-capstone-repository/pdf/spring-2019/MICROBIAL%20FUEL%20CELLS%20FOR%20ELECTRICITY%20GENERATION%20.pdf>

- Elviliana, Toding, O., Virginia, C., & Suhartini, S. (2018). Conversion banana and orange peel waste into electricity using microbial fuel cell. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Bogor: IOP Publishing Ltd. doi:10.1088/1755-1315/209/1/012049
- Estrada, E., & Salazar, M. d. (2013). *Generacion de energia electrica a partir del tratamiento de aguas residuales por medio de bioceldas*. Informe Final, Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua, Morelos. Obtenido de Repositorio IMTA: <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/1377/TC-1314.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fernandez, L. (14 de Julio de 2005). Energias Alternativas. *Tecno Lógicas*(14), 105 - 126. Obtenido de Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal: https://www.redalyc.org/pdf/3442/3442_34_270007.pdf
- Gamez, A., Cabrera, J., López, F., Reta, M., & Cruz, O. (Mayo de 2008). Impacto en la generación de electricidad con fuentes no convencionales de energia en el sistema electroenergetico mexicano. *Ingeniería Energética*, XXIX(3), 18 - 25. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3291/329127739003.pdf>
- Ghadge, A. N., & Ghangrekar, M. M. (28 de Abril de 2015). Performance of low cost scalable air–cathode microbial fuel cell made from clayware separator using multiple electrodes. *Bioresource Technology*, 182, 373-377. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.115>
- Gude, V. G. (Diciembre de 2016). Wastewater treatment in microbial fuel cells - an overview. *Journal of Cleaner Production*, 122, págs. 287-307. doi:10.1016/B978-1-78242-375-1.00008-3

- Guo, Y., Wang, J., Shinde, S., Wang, X., Li, Y., Dai, Y., & Ren, J. (08 de Julio de 2020). Simultaneous wastewater treatment and energy harvesting in microbial fuel cells: an update on the biocatalysts. *Royal Society of Chemistry*, 10, págs. 25874-25887. doi:10.1039/d0ra05234e
- Huang, L., & Logan, B. E. (Julio de 2008). Electricity generation and treatment of paper recycling wastewater using a microbial fuel cell. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 80, 345 - 55. doi:10.1007/s00253-008-1546-7
- Ize, I., Gavilán, A., & Brito, O. (Octubre de 2003). La restauración de suelos contaminados con hidrocarburos en Mexico. *Gaceta Ecológica*(69), 83 - 92. Obtenido de Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal: <https://www.redalyc.org/pdf/539/53906906.pdf>
- Jardón, J. (1995). *Energía y Medio Ambiente: Una perspectiva social y económica* (Primera ed.). Distrito Federal, Mexico: Plaza y Valdes. Obtenido de https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=7dRBFry7IakC&oi=fnd&pg=PA113&dq=ALGUNOS+EFECTOS+DE+LA+ENERGIA+EN+EL+MEDI+O&ots=q9O9I3e3YW&sig=MctcWrXa6VT7vS63js8FCQI6b_4&redir_esc=y#v=onepage&q=ALGUNOS%20EFECTOS%20DE%20LA%20ENERGIA%20EN%20EL%20MEDIO&f=false
- Jibaja , S. (2018). *Producción de electricidad en celdas de combustible microbianas a partir de tiosulfato utilizando cepas de Acidithiobacillus ferrooxidans*. Tesis de Posgrado, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima. Obtenido de Universidad Peruana Cayetano Heredia: http://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/upch/3965/Produccion_JibajaCaceres_Sandro.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Jimenez, M., & Garibay, C. (Agosto de 2018). Modelo bioquímicamente estructurado para la estimación de la eficiencia de una celda de combustible microbiana. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 34(2), 331 - 345. doi:10.20937/RICA.2018.34.02.13
- Khan, A., & Obaid, M. (18 de Diciembre de 2015). Comparative bioelectricity generation from waste citrus fruit using a galvanic cell, fuel cell and microbial fuel cell. *Journal of Energy in Southern Africa*, págs. 90-99. Obtenido de http://www.scielo.org.za/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1021-447X2015000300009
- Kumar, R., Singh, L., Zularisam, A. W., & I Hai, F. (8 de Mayo de 2017). Microbial fuel cell is emerging as a versatile technology: A review on its possible applications, challenges and strategies to improve the performances. *International Journal of Energy Research*, pág. 28. doi:10.1002/er.3780
- Kumari, S. (2012). *Studies on Marine Microbial fuel cell*. Tesis, Department of Life Science National Institute of Technology, Rourkela. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/53188211.pdf>
- León, Y. (2017). Algunos efectos de la energía en el medio ambiente. *Revista Faces*, 5. Obtenido de <http://servicio.bc.uc.edu.ve/faces/revista/a2n5/2-5-1.pdf>
- Li, X., Zhu, N., Wang, Y., Li, P., Wu, P., & Wu, J. (Enero de 2013). Animal carcass wastewater treatment and bioelectricity generation in up-flow tubular microbial fuel cells: Effects of HRT and non-precious metallic catalyst. *Bioresource Technology*, 128, 454 - 460. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.10.053>

Logroño, W., Ramírez, G., Recalde, C., Echeverría, M., & Cunachi, A. (Agosto de 2015). Bioelectricity Generation from Vegetables and Fruits Wastes by Using Single Chamber Microbial Fuel Cells with High Andean Soils. *Energy Procedia*, 75, págs. 2009 - 2014. doi:<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.259>

Lopez, J. (Agosto de 2014). *Desarrollo de una celda combustible microbiana (CCM) para aplicacion en tratamiento de aguas residuales*. Centro de Investigacion y Desarrollo Tecnologico en Electroquimica, S.C. Querétaro: Repositorio Institucional Cideteq. Obtenido de CIDETEQ: <https://repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1021/144/1/Desarrollo%20de%20una%20celda%20de%20combustible%20microbiana%20%28CCM%29%20para%20la%20aplicaci%C3%B3n%20en%20el%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales%20%28Protegida%29..pdf>

Mathuriya, A. S., & Yakhmi, J. V. (13 de Marzo de 2014). Microbial fuel cells – Applications for generation of electrical power and beyond. *Critical Reviews in Microbiology*, 42(1), 1-17. doi:10.3109/1040841X.2014.905513

Ministerio del Ambiente. (14 de Abril de 2015). GOB. Obtenido de <https://www.gob.ec/regulaciones/acuerdo-ministerial-no-061-reforma-libro-vi-texto-unificado-legislacion-secundaria>

Ministerio del Ambiente. (12 de Abril de 2017). *Ambiente.Gob*. Obtenido de https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf

- Ministerio del Ambiente. (septiembre de 2018). *Gob Portal Oficial de Tramites Ciudadanos*. Obtenido de https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf
- Miranda, J. P. (Abril de 2019). *Obtencion de energia electrica a partir de materia organica biodegradable mediante el sistema integrado humedal construido - Celda Combustible Microbiana*. Tesis de grado, Universidad de Concepcion, Concepcion. Obtenido de http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/3589/4/Tesis_Obtencion_de_energia_electrica.Image.Marked.pdf
- Moreno, A. (2014). *Modelización de la dinámica de los microorganismos anaerobios sintróficos oxidantes del ácido acético (SAO)*. Tesis de grado, Universidad Politecnica de Cataluña, Barcelona. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/41813659.pdf>
- NASA. (2019). *NASA Spinoff*. Obtenido de NASA Spinoff: https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2019/ee_1.html
- Nava, P., & Castillo, M. (Marzo de 2018). Celdas de combustible microbianas como alternativa para atender los retos de la sostenibilidad: Agua, energía y contaminación. *Revista de Ingeniería Innovativa*, 2(5), 18-34. Obtenido de Revista de Ingeniera Innovatica: http://www.ecorfan.org/publicaciones/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Innovativa/vol2num5/Revista_de_Ingenieria_Innovativa_V2_N5_3.pdf
- Obi, C., & Asogwa, A. (01 de Enero de 2015). Electromicrobiology: An Emerging Reality—A Review. *Open Access Library Journal*, 2(11), págs. 1 - 10. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/283816080_Electromicrobiology_An_Emerging_Reality-A_Review

- Olivera, E. (2010). Energía y Medio Ambiente. *Revista Mexicana de Opinión Pública*(9). doi:<http://dx.doi.org/10.22201/fcpys.24484911e.2010.9.41814>
- Páez, A., Lache, A., Medina, S., & Zapata, J. (2019). Producción de energía eléctrica en una celda de combustible micr. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 10(6). doi:10.24850/j-tyca-2019-06-11
- Pallise, J. (2003). *Impactos ambientales de la producción de electricidad*. Resumen, Universidad Pública de Navarra, Navarra. doi:<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1171108>
- Palma, J. (1 de Junio de 2017). Ecuador: comunidad amazónica denuncia escasez de peces y culpa a la mayor hidroeléctrica construida en el país. *Mongabay Latam*, pág. 1. Obtenido de Periodismo Ambiental Independiente: [https:// es.mongabay. com/2017/ 06/hidroelectricas-pueblos _indigenas-conflictos-rios-ecuador/](https://es.mongabay.com/2017/06/hidroelectricas-pueblos_indigenas-conflictos-rios-ecuador/)
- Passos, V. F., Andrade, A. R., Reginatto, V., & Neto, S. (13 de Septiembre de 2015). Energy generation in a Microbial Fuel Cell using anaerobic sludge from a wastewater treatment plant. *Scientia Agricola*, 73(5), págs. 424 - 428. doi:<https://doi.org/10.1590/0103-9016-2015-0194>
- Pineda, A. d., & Rosas, M. (2016). *Estado del arte en celdas de combustibles microbianas(CCM) para produccion de bioenergía*. Proyecto de Grado, UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS, Bogota. Obtenido de Universidad Distrital Francisco José de Caldas: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3837/2/PinedaMar%C3%ADnRosasTafurMarthaLizeth2016.pdf>

- Raffo, E., & Ruiz, E. (20 de Marzo de 2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Industrial Data*, 17(1), 71-80. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Rendón, M., Villacís, M., & Miranda, M. (Octubre de 2016). Estadística descriptiva. *Revista Alergia Mexico*, 63(4), 397- 407. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4867/486755026009.pdf>
- Revelo, D. O., Hurtado, N. H., & Ruiz, J. O. (2013). Celdas de Combustible Microbianas (CCMS): Un reto para la remocion de materia organica y la generacion de energia eléctrica. *Informacion Tecnologica*, 24(6), págs. 17-28. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642013000600004>
- Rojas, H., Duque, E., & Garcia, Y. (5 de Octubre de 2017). *Ingenieria Sismica*. Obtenido de UTPL: [http://www.ingenieriasismica .utpl.edu.ec/ sites/default /files/5.SectorHidricoEcuador.pdf](http://www.ingenieriasismica.utpl.edu.ec/sites/default/files/5.SectorHidricoEcuador.pdf)
- Rojas, S., Nazario, R., Abanto, E., Alza, J., Cruz, T., Rodriguez, A., & Sanchez, M. (01 de Junio de 2020). Agricultural Wastes For Electricity Generation Using Microbial Fuel Cells. *The Open Biotechnology Journal*, 14, págs. 52 - 58. doi:[10.2174/1874070702014010052](https://doi.org/10.2174/1874070702014010052)
- Romero, A. (2010). Aprovechamiento de la biomasa como fuente de energia alternativa a los combustibles fosiles. *Revista Real Academia de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales*, 104(2), 331 - 345. Obtenido de <http://www.rac.es/ficheros/doc/00979.pdf>
- Rycroft, M. (4 de Diciembre de 2018). Microbial fuel cells: A new approach to waste-water treatment. *EE Publishers*, pág. 1. Obtenido de <https://www.ee.co.za/article/microbial-fuel-cells-a-new-approach-to-waste-water-treatment.html>

- Scott, K., Yu, E., Ghangrekar, M., & Erable, B. (2012). *Biological and microbial fuel cells*. California, United States of America: EPrints. doi:DOI:10.1016/B978-0-08-087872-0.00412-1
- Singh, H. M., Pathak, A. K., Chopra, K., Tyagi, V. V., Anand, S., & Kothari, R. (30 de Enero de 2018). Microbial fuel cells: a sustainable solution for bioelectricity generation and wastewater treatment. *Biofuels*, 10(1), págs. 11-31. doi:10.1080/17597269.2017.1413860
- Slate, A., Whitehead, K., Brownson, D., & Banks, C. (Marzo de 2019). Microbial fuel cells: An overview of current technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 101, 60 - 81. doi:https://doi.org/ 10.1016/ j.rser. 2018.0 9 . 044
- Tancara, C. (1993). *Scielo*. Obtenido de Scielo: <http://scielo.org.bo/pdf/rts/n17/n17a08.pdf>
- The Pham, H. (20 de Julio de 2018). Biosensors based on lithotrophic microbial fuel cells in relation to heterotrophic counterparts: research progress, challenges, and opportunities. *AIMS Microbiology*, 4(3), 567-583. Obtenido de EUROPE PMC: <https://europepmc.org/article/med/31294234>
- Ubiarco, N., & Barraza, S. (2014). *Las Medidas de Tendencia Central*. Vision Educativa IUNAES. Obtenido de [file:///C:/Users/Usuario/ Downloads/ Dialnet-LasMedidasDeTendenciaCentral-4713596.pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-LasMedidasDeTendenciaCentral-4713596.pdf)
- Universidad de Quintana Roo. (Julio de 2019). *Departamento de la Gestion de Calidad*. Obtenido de [http://sigc.uqroo.mx/Manuales/ Institucional/ Procedimientos/Secretaria%20General/Gestion%20Calidad/DGC-001/Metodologias/Costob.pdf](http://sigc.uqroo.mx/Manuales/Institucional/Procedimientos/Secretaria%20General/Gestion%20Calidad/DGC-001/Metodologias/Costob.pdf)

Universidad de Sonora. (2011). *Bibliotecas Digitales*. Obtenido de <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/4371/Capitulo7.pdf>

Universidad Nacional Autónoma de México. (2016). *Asesorías Cuautitlán*. Obtenido de http://asesorias.cuautitlan2.unam.mx/Laboratorio_virtualde_estadistica/DOCUMENTOS/TEMA%202/1.%20MEDIDAS%20DE%20TENDENCIA%20CENTRAL%20Y%20DISPERSION.pdf

Wang, Z., & Lim, B. (2017). Electric power generation from treatment of food waste leachate using microbial fuel cell. *Environmental Engineering Research*, 22(2), 157-161. doi:<https://doi.org/10.4491/eer.2016.061>

9. Anexos

9.1 Anexo 1. Tipo de cámara conforme a la comunidad microbiana.

	Microbial community	Design of MFC
Bacteria	Geobacter spp.	Two Chambers
	Rhodopseudomonas, Pseudomonas, Comamonas, Acinetobacter, Methanosarcina, Methanobrevibacter,	Single Chambers
	Ignavivibacteriaceae, Desulfovibro, Wolinella, Methanobacterium, Methanocorpusculum, Hydrigenophaga and Sphaeroaeta	Single Chamber
	Halanerobium praevalens and Marinobacter hydrocarbonoclasticus	Two Chambers
Algae	Shewanella	Two Chambers
	Chlorella vulgaris	Single Chamber
	Dunaliella tertiolecta	Single Chamber
	Scenedesmus obliquus	Two Chambers
	Chlorella pyrenoidosa	Two Chambers
Synechococcus leopoliensis	Two Chambers	
Fungi	Coriolus versicolor	Two Chambers
	Saccharomyces cerevisiae, Agaricus meleagris	Single Chamber

Tabla 5. Comunidades microbiológicas involucradas en el funcionamiento de celdas combustibles microbianas.

Singh, Pathak, Chopra, Tyagi, Anand, & Kothari, 2017

9.2 Anexo 2. Límites según Acuerdo Ministerial

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	30.0
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aluminio	Al	mg/l	5.0
Arsénico total	As	mg/l	0.1
Bario	Ba	mg/l	2.0
Boro Total	B	mg/l	2.0
Cadmio	Cd	mg/l	0.02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cinc	Zn	mg/l	5.0
Cloro activo	Cl	mg/l	0.5
Cloroformo	Ext. Carbón cloroformo	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1.0
Cobalto	Co	mg/l	0.5
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	2000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
Demanda bioquímica de oxígeno (5días)	DBO ₅	mg/l	100
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	200
Estaño	Sn	mg/l	5.0
Fluoruros	F	mg/l	5.0
Fosforo total	P	mg/l	10.0
Hierro total	Fe	mg/l	10.0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20.0

Manganeso total	Mn	mg/l	2.0
Materia flotante	Visibles	mg/l	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0.005
Niquel	Ni	mg/l	2.0
Nitrogeno amoniacal	N	mg/l	30.0
Nitrogeno Total Kjeldahl	N	mg/l	50.0
Compuestos Organoclorados	Organoclorados totales	mg/l	0.05
Compuesto organofosforados	Organofosforados totales	mg/l	0.1
Plata	Ag	mg/l	0.1
Plomo	Pb	mg/l	0.2
Potencial de hidrogeno	<i>pH</i>	mg/l	6-9
Selenio	Se	mg/l	0.1
Solidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	130
Solidos totales	ST	mg/l	1600
Sulfatos	SO_4^2	mg/l	1000
Sulfuros	S^2	mg/l	0.5
Temperatura	°C	mg/l	Condición natural ± 3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0.5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1.0

*La apreciación del color se estima sobre 10 cm de muestra diluida

Tabla 6. Límites de descarga a un cuerpo dulce.
Ministerio del Ambiente, 2018

9.3 Anexo 3. Costos unitarios de materiales usados para las diferentes cámaras

Material	Costo
Placa de cobre	\$ 8.00
Placa de Zinc	\$ 7.00
Polvo de carbón activado	\$ 255.00
Polvo de grafito	\$ 19.00
Multímetro digital DT-860 D WINNER	\$ 6.00
Cámara de Teflon	\$ 7.00
Membrana Nafion Teflon	\$ 75.00
Membrana de poli-metil-metacrilato	\$ 200.00
Azul de metileno	\$ 150.00
Mili-Q agua (Oxidante químico)	\$ 3.39
Multimetro digital Keithely 2002	\$ 6950.00
Escherichia coli (NCTC 5934)	\$ 1896.00
Pseudonoma aeruginosa (ATCC BAA-1744)	\$ 550.00
Oxoid AnaeroGen (2.5L)	\$ 100.00
Polipropileno (doble cámara)	\$ 86.00
Cloruro de sodio	\$ 2.38
Agar	\$ 13.60
Electrodo de grafito	\$ 12.00
Electrodo de fibra de carbono	\$ 55.00
Azul de metileno	\$ 150.00
pHmetro digital tipo pluma pH-009 (I)	\$ 11.00
Cubeta de plástico	\$ 8.00
Fibra de carbono	\$ 2.00
Alambre de hierro	\$ 1.00
Multimetro digital DT-832	\$ 4.51
Acrilico (144cm ²)	\$ 10.95
Tubos PVC	\$ 1.50

Placa de zinc	\$ 6.98
Placa de cobre	\$ 10.00
Alambre de cobre	\$ 1.47
Multímetro Testech KT-5510	\$ 200.00

Tabla 7. Costo de materiales usados en las descripciones de trabajos de distintos autores.

Ruiz, 2021

9.4 Anexo 4. Costo total por celda de los distintos autores mencionados

	Cámara	C.M/M	Membrana	Electrodo	Sustrato	Costo
(Elviliana, Toding, Virginia, & Suhartini, 2018)	Una cámara	Actividad microbiana de residuos	----	Cátodo: Placa de cobre con polvo de carbón activado Ánodo: Placa de Zinc con polvo de grafito	Residuo de cascara de naranja y banano	295.00
(de Oliveira, da Costa, de Oliveira, & Nascimento, 2015)	Doble cámara	<i>Escherichia coli</i>	Nafion y PMMA film		Medio TSB (Caldo de soja)	9281.39
(Páez, Lache, Medina, & Zapata, 2019)	Doble cámara	<i>Pseudonoma aeruginosa</i> , <i>Escherichia coli</i>	Cloridato de sodio con agar	Grafito y fibra de carbono	Agua residual sintética	2875.98
(Logroño, Ramírez, Recalde, Echeverría, & Cunachi, 2015)	Una cámara	Actividad microbiana de residuos	Carbón activado por suelo	Fibra de carbono	Residuos municipales de vegetales y frutas	15.51

(Rojas, y otros, 2020)	Una cámara	Actividad microbiana de residuos	----	Cobre (Cátodo) Zinc (Ánodo)	Mezcla de restos de tomate, papa y cebolla	230.09
------------------------	------------	----------------------------------	------	--------------------------------	--	--------

Tabla 8. Materiales usados por diferentes autores y costo total de elaboración de las respectivas celdas.
Ruiz, 2021

9.5 Anexo 5. Modelos de celdas

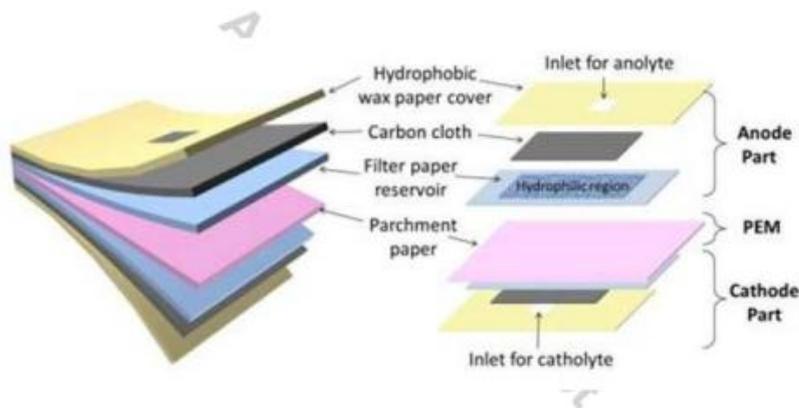


Figura 6. Composición de una celda a base de papel.
Choi, 2015

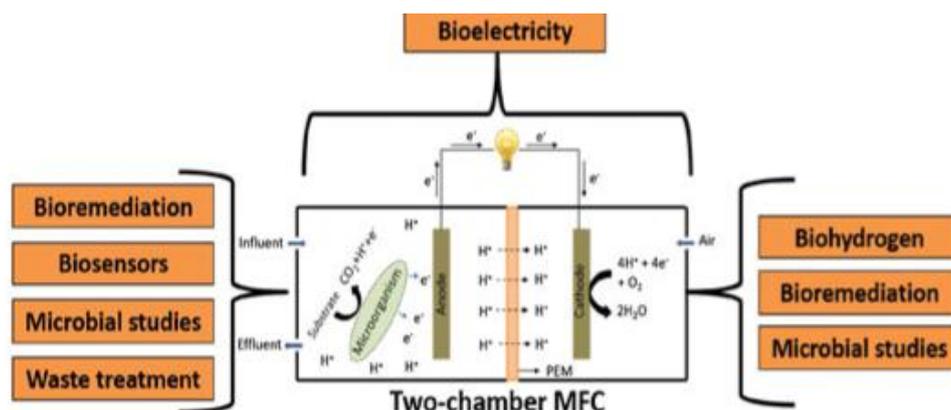


Figura 7. Principio general de una celda microbiana de doble cámara y sus aplicaciones

Kumar, Singh, Zularisam, & I Hai, 2017

9.6 Anexo 6. Ubicación de la hacienda Casa de Teja

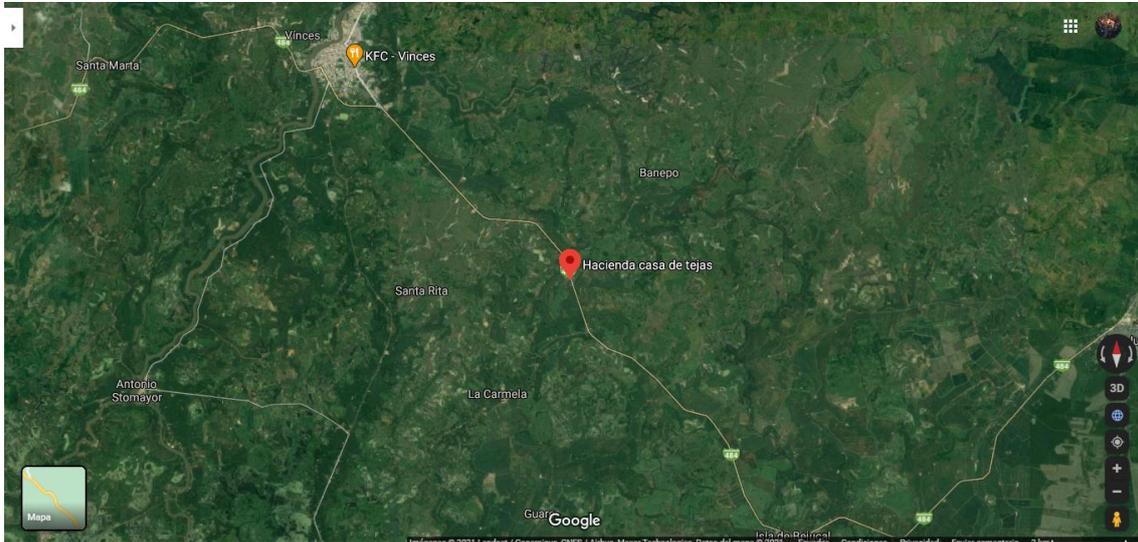


Figura 8. Mapa de ubicación de hacienda Casa de Teja Google Maps, 2021

9.7 Anexo 7. Resultado de análisis físico-químico y microbiológico de agua



**LABORATORIO
LAZO**

Informe de Ensayo				
Orden N° AD0397 - Muestra N° 2020 - AF4871 - M				
« Datos del Cliente »				
Cliente: SR. BONIFACIO MORÁN ASPIAZU				
Dirección: PROV. LOS RÍOS, VÍA VINCES – SAN JUAN				
Solicitado por: SR. BONIFACIO MORÁN ASPIAZU		Fecha: 13/10/2020	Hora: 9:23 am	
Toma de Muestra realizada por: Agroab Company S.A		Lugar: N/A		
Fecha de Recepción: 13/10/2020	Inicio de Ensayo: 14/10/2020	Termino de Ensayo: 24/10/2020		
Observaciones: Los resultados aplican a la muestra como se recibió. Este informe no se puede reproducir, excepto totalmente, sin una autorización escrita de Laboratorio LAZO.				
Datos de la Muestra				
Tipo: Agua	Cantidad: 1 Litro	Envase: Una botella plástica		
«Identificación de la muestra: Agua de Canal; OT: EC2000641; Variedad: Riego y Empaque; Lote / Cuarte: Hacienda Casa de Tejas # 2; Productor: Sr. Bonifacio Morán Aspiazu»				
Resultados				
Parámetros	Métodos de Referencia	SAE	Unidad	Resultados
Coliformes Totales	Standard Methods 23 – 9221B	✓	NMP / 100 ml	16 x 10 ¹
Coliformes Fecales *	Standard Methods 23 – 9221E		NMP / 100 ml	16 x 10 ¹
E.coli *	Standard Methods 23 – 9221F		NMP / 100 ml	< 1.6
Observaciones: Laboratorio de Ensayo Acreditado por el SAE con N° SAE LEN 09 – 001. Los ensayos marcados con (✓) NO están incluidos en el alcance de acreditación del SAE. a) Datos proporcionados por el cliente. = 3 Significa ausencia de tubos positivos. = 1 Significa ausencia en una siembra directa. < 1.6 Significa ausencia de tubos positivos. < 10 Significa ausencia en una dilución de 1/10. = 1.1 Significa ausencia de tubos positivos. Este informe reemplaza al emitido con fecha 04 de Junio del 2020, para incluir información de la procedencia del tipo de agua de pozo que es de Riego y Empaque, solicitado por el cliente.				
Durán, 25 de Octubre del 2020 RITA Firmado SUSANA Firmado por LAZO Firmado por LAZO Firmado por LAZO Firmado por Q.F. Susana Lazo Dir. Técnica				

Figura 9. Análisis microbiológico de agua de canal de hcda. Casa de Teja.



LABORATORIO
LAZO

Informe de Ensayo					
Orden N° AG0397 - Muestra N° 2020 - AF4371 - M « Datos del Cliente »					
Cliente: DR. BONIFACIO MORAN ASPAZU					
Dirección: PROV. LOS RIOS, VIA VINCES - SAN JUAN					
Solicitado por: DR. BONIFACIO MORAN ASPAZU		Fecha: 13/10/2020			
Toma de Muestra realizada por: Agrícola Company S.A		Lugar: N/A			
Hora: 9:23 am					
Fecha de Recepción: 13/10/2020	Inicio de Ensayo: 14/10/2020	Termino de Ensayo: 24/10/2020			
Observaciones: Los resultados aplican a la muestra como se recibió. Este informe no se puede reproducir, excepto totalmente, sin una autorización escrita de Laboratorio LAZO.					
Datos de la Muestra					
Tipo: Agua	Cantidad: 1 Litro	Envase: Una botella plástica			
« Identificación de la muestra: Agua de Canal; OT: EC2000641; Variedad: Riego y Empaque; Lot# / Cuarte# : Hacienda Casa de Teja # 2; Productor: Dr. Bonifacio Moran Aspazu »					
Resultados					
Parámetro	Métodos de Referencia	SAE	Unidad	Resultado	Resultado de d K = 2
pH	Standard Methods 23, 4500 H*	✓	Unidades de pH	7.72	0.19
Nitrógeno - Nitrito *	Standard Methods 23, 4500 B (NO ₂)		mg / L	< 0.2	---
Sólidos Totales Disueltos *	Hach		mg / L	124	---
Conductividad *	Hach		uS / cm	253	---
Dureza (CaCO ₃) *	Standard Methods 23, 2340 C		mg / L	82.0	---
Cloruro ¹⁾	Standard Methods 23, 4500 D - B		mg / L	15.6	---
Turbidez *	Spectrophotometer Nova 60 Método 17		NTU	< 1	---
RITA	<small>Firma</small>				
SUSANA	<small>Identificación por</small>				
LAZO	<small>Identificación</small>				
LARA	<small>Identificación</small>				

Figura 10. Análisis fisicoquímico de agua de canal de hcda. Casa de Teja.