



FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS

TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES
DE LA UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS FILIAL
HUANCAYO MEDIANTE CELDAS DE
COMBUSTIÓN MICROBIANA 2018

PRESENTADO POR LA BACHILLER:
CONTRERAS VALLADARES DANA WENDY

ASESOR:
DR. OSORIO LÓPEZ IVÁN

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

HUANCAYO - PERU

2018

ASESOR:
Dr. Osorio López Iván

DEDICATORIA

Dedico con cariño a mis papas,
por su infinita paciencia, perseverancia
han estado presentes en mi vida en cada momento,
por concederme una profesión para labrar
el futuro que me espera por venir
y por tenerme confianza,
hemos pasado por todo tipo de momentos,
bueno y malos,
y siempre han estado constantes
y brindándome todo su apoyo y amor,
y agradezco de todo corazón su compañía.

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis maestros por la perseverancia, y valoro mucho la paciencia en la enseñanza, por su constancia por la enseñanza, y el aliento de superación que nos daban a cada uno de nosotros, son una fuente inspiradora en el desarrollo profesional.

Para agradecer a mis padres me faltarían palabras, solo les agradezco infinitamente su perseverancia, y constancia, y de no perder la fe en mí, y en las cosas que puedo lograr, gracias por estar conmigo cuando más los necesite, y darme aliento para no rendirme, los amo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iv
Índice de contenido	V
Indice de tablas.....	X
Indice de figuras	XI
Resumen.....	XI
Abstract.....	XIV
Introducción.....	XV
CAPÍTULO I	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Caracterización de la realidad problemática.....	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general.....	2
1.2.2. Problemas específicos.	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general.	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación.....	3
1.5. Importancia.....	4
1.6. Limitaciones	5
CAPÍTULO II	6
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
2.1. Marco referencial.....	6

2.1.1. Antecedentes de la investigación.....	6
2.1.2. Referencias históricas.....	8
2.2. Marco legal.....	9
2.3. Marco conceptual.....	11
2.4. Marco teórico.....	11
2.4.1. Agua residual.....	11
2.4.2. Bacterias.....	16
2.4.3. Microorganismos exoelectrógenos.....	22
2.4.4. Bioenergía.....	23
2.4.5. Celda de combustible (CCM'S, CMC o FCM).....	26
2.4.6. Transporte de electrones.....	30
2.4.7. Condiciones de operación.....	35
CAPÍTULO III.....	47
3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO.....	47
3.1. Metodología.....	47
3.1.1. Método.....	49
3.1.2. Tipo de la investigación.....	49
3.1.3. Nivel de la investigación.....	49
3.2. Diseño de la investigación.....	50
3.3. Hipótesis de la investigación.....	51
3.3.1. Hipótesis general.....	51
3.3.2. Hipótesis específicas.....	51
3.4. Variables.....	52
3.4.1. Variable independiente.....	52
3.4.2. Variable dependiente.....	52
3.5. Cobertura del Estudio.....	52

3.5.1. Universo	52
3.5.2. Población	52
3.5.3. Muestra	52
3.5.4. Muestreo	53
3.6. Técnicas e instrumentos	54
3.6.1. Técnicas de la investigación.....	54
3.6.2. Instrumentos de la investigación.....	54
3.6.3. Fuentes	54
3.7. Procesamiento estadístico de la información	55
3.7.1. Estadísticos	55
3.7.2. Representación.....	55
3.7.3. Técnica de comprobación de la hipótesis	55
CAPITULO IV	56
4. ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	56
4.1. Resultados.....	56
4.1.1. Configuración del diseño.....	56
4.1.2. Caracterización del agua residual de la Universidad Alas Peruanas.	57
4.1.3. Evaluación de la potencia eléctrica.....	57
4.1.4. Evaluación de la concentración del DBO ₅ y DQO.	59
4.1.5. Correlación entre DBO ₅ , DQO y Voltaje.....	61
4.2. Discusión de resultados	62
4.3. Contrastación de Hipótesis.....	63
4.3.1. Balance de materia y energía.	71
Conclusiones.....	72
Recomendaciones.....	73

Bibliografía.....	74
Anexos	78
Anexo n°1: Panel fotográfico de la prueba preliminar de la CCM's	78
Anexo n°2: Resultados de laboratorio.....	81

INDICE DE ABREVIATURAS

Agar SS	: Agar salmonella
CCM's	: Celdas de combustión microbianas
DBO 5	: Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	: Demanda química de oxígeno
Efem	: Elementos finitos de energía
MFC	: Microbial fuel cell
OD	: Óptica bacteriana
RAFA	: Reactor anaerobio de flujo ascendente
UFC	: Unidades formadoras de colonias

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Analisis comunes usados para estimar los constituyentes encontrados en las aguas residuales.....	13
Tabla 2: categorizacion de macroorganismos a respuestas de factores ambientales.....	19
Tabla 3: potenciales estandar Efem0 y potenciales teoricos para las condiciones tipicas en CCM (Efem)	27
Tabla 4: parametros de resistencia y capacidades del anodo en tres configuraciones de celdas de combustibles microbianas	43
Tabla 5: Recoleccion de tratamientos realizados.....	50
Tabla 6: Total de tratamientos realizados	51
Tabla 7: Potencia electrica generada:	58
Tabla 8: Degradación de materia organica DBO	59
Tabla 9: Degradación de materia organica DQO	60
Tabla 10: Degradacion de materia organica y potencia eléctrica generada	61
Tabla 11: Analisis de varianza DBO	66
Tabla 12: Analisis de varianza DQO	66
Tabla 13: Analisis de varianza potencia.....	67
Tabla 14: Agrupación utilizando el método de Sidak y una confianza de 95% del potencia.....	67
Tabla 15: Diferencias de las interaccion de las variables empleadas	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema general que representa el corte transversal de una célula bacteriana.	16
Figura 2: Fases de crecimiento bacteriano	17
Figura 3: Proceso para la determinación de UFC	21
Figura 4: Imagen SEM de fieltro de carbono después de 48 horas de inoculación con E. coli.	23
Figura 5: Sistema que muestra el funcionamiento de una celda de combustible microbiana	26
Figura 6: En la parte superior la estructura del ácido Teicoico de las Gram (+). Abajo la representación de los lipopolisacaridos en las Gram (-).	32
Figura 7: El mecanismo de reacción para glucosa-oxidasa.....	34
Figura 8: Mecanismos Enzimas Ligninolíticas de Reacción.....	35
Figura 9: Proceso de construcción de la CCM's	47
Figura 10: Proceso de cultivo bacteriológico	48
Figura 11 : Proceso de recojo de muestras	48
Figura 12 : Proceso de tratamiento de aguas residuales mediante CCM's .	49
Figura 13: Muestreo de agua residual	53
Figura 14. Esquema del diseño de la Celda de Combustión Microbiana CCM's	56
Figura 15: Potencia eléctrica generado en el tiempo de ejecución.	58
Figura 16: Degradación de Demanda Biológica de Oxígeno ejecutada.	59
Figura 17: Degradación de Demanda Química de Oxígeno.	60
Figura 18: Comparación de la degradación del DQO, DQO y Potencia eléctrica obtenido con las resistencias trabajadas.	61
Figura 19: Probabilidad de DBO.	64
Figura 20: Probabilidad del DQO	64
Figura 21: Probabilidad de potencia.	65
Figura 22: Interacción para Resistencia y tiempo de operación	70
Figura 23: Balance de materia y energía de la celda de combustión microbiana	71
Figura 24. Reacciones biológicas fundamentales.....	71

Figura 25: Puesta en marcha de las CCM's	78
Figura 26: Control del voltaje eléctrica.....	78
Figura 27 Manipulación del biofilm generado en la CCM's	79
Figura 28: Conteo de colonias del cultivo bacteriológico del ánodo y cátodo	79
Figura 29: Proceso de coloración Gram	80
Figura 30: Cultivo bacteriológico del ánodo (Gram negativas), identificación de bacterias Salmonellas Aleolis	80
Figura 31: Cultivo bacteriológico del cátodo (Gram positivas), identificación de bacterias Salmonellas Aleolis	81
Figura 32. Cultivo bacteriológico de la placa de cobre (Gram positivas), identificación de bacterias Gobacter Sulfurencis	81

RESUMEN

En el trabajo de investigación presentado se evaluó la degradación de materia orgánica y generación de potencia eléctrica tratada mediante la CCM's. Para ello se construyeron y operaron dos CCM's un volumen de seis litros por cabina, la cabina principal se encontraba aislada (anaerobio) y la otra en contacto con el ambiente (aerobio), los cuales fueron alimentadas con agua residual y agua de pozo respectivamente, las que estaban interconectadas a través una membrana de intercambio protónico, de una distancia de veinte y cinco centímetros entre las cabinas, con cátodos estables y la resistencia externa fija de 500 Ω y 1000 Ω , con tiempos de operación de 3 y 5 días. Por último, se comparó, operó y evaluó el comportamiento de la CCM's construida, donde demostró que la influencia de la resistencia externa es mínima sobre el desempeño de una CCM's, teniendo valores de degradación mayores con la combinación de 500 Ω y 5 días de operación obteniendo 80% de degradación de la materia orgánica y 16,41 V/ uA como máxima potencia.

ABSTRACT

In this research work the degradation of organic matter and generation of electric potential treated by the CCM's was evaluated. To do this, two CCM's were built and operated, a volume of six liters per cabin, the main cabin was isolated (anaerobic) and the other in contact with the environment (aerobic), which were fed with wastewater and well water respectively, those that were interconnected through a proton exchange membrane, of a distance of twenty-five centimeters between the cabins, with stable cathodes and the fixed external resistance of 500 Ω and 1000 Ω , with operation times of 3 and 5 days. Finally, it was operated, evaluated and compared the behavior of the CCM's built, where it showed that external resistance has a minimal influence on the performance of a CCM, having the highest values of degradation with the combination of 500 Ω and 5 days of operation obtaining 80 % degradation of organic matter and 16,41 V / μ A as maximum power.

INTRODUCCIÓN

El siglo XXI se ha caracterizado por los grandes cambios que se da en su desarrollo que se comprenden en el uso de la energía dándose inicio en la industrialización, la que se inició en los países conocidos como “desarrollados”. En la actualidad, la población de los países desarrollados comprende el 20% de la población mundial, con una tasa de natalidad baja en comparación con los países “en desarrollo” teniendo una tasa de natalidad alta.

La redistribución espacial de las personas a las grandes ciudades lleva al desarrollo de mega ciudades, teniendo como desafío el desarrollo de infraestructura que cumpla con las necesidades de comida, energía, movilidad, y vivienda que se presentes siendo estos enormes, y ninguno de estos desafíos puede ser satisfecho sin energía; la distribución de energía a nivel mundial se puede dar ya que en el mundo se tiene recursos energéticos abundantes que pueden satisfacer la demanda creciente de energía de la población futura pro venir, solo se necesita el eficiente uso de estos recursos y los sistemas energéticos. (World Energy Council, 2013).

En la actualidad se evidencia un alto índice de contaminación de los cuerpos de agua por causa de los efluentes que son vertidos a los mismos, además, es observable el recurso producido por las hidroeléctricas las cuales son el medio de obtención de energía en Perú. Este proyecto en el que se trató las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas filial Huancayo mediante celdas (MFC), contribuyendo con la generación de energía de una forma sostenible y amigable con el medio.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Caracterización de la realidad problemática

Vilchez (2017) expuso que la población del siglo XX ha venido siendo cuadruplicada, y aunque la tasa de crecimiento tuvo un declive en los países desarrollados, esta sigue incrementándose llegando a los 80 millones cada año, pudiendo duplicarse.

La Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (1988) afirma que “los recursos ambientales disponibles no serán suficientes en muchas partes del mundo por el crecimiento acelerado de la población pudiendo no sostenerla, estas tasas de crecimiento sobrepasan el mejoramiento de vivienda, atención médica, seguridad alimentaria o suministro de energía, en todas las expectativas razonables.

El crecimiento poblacional en el mundo excede los 7 millones de personas, y en su mayoría los problemas medioambientales, entre ellos el cambio climático, agravándose por el acelerado crecimiento poblacional y el mayor tamaño de la población y este genera un gran impacto sobre las emisiones de gases de efecto invernadero

El Organismo de Evaluación Fiscalización Ambiental, (2014) señala que la cantidad de agua residual domésticas es igual al agua consumida del sistema de abastecimiento, menos el agua utilizada para cocinar, beber, regar el jardín. Las heces y otros productos de desperdicio que suman las

aguas residuales llegando aproximadamente a solo 1,4 kg por persona al día (kg/ (P.d.). Puede decirse que la cantidad de aguas residuales doméstica es casi un 80% del consumo de agua.

En el Perú se genera aproximadamente 2217946 m³/día de aguas servidas descargadas a la red de alcantarillado, el 32% de estos recibe tratamiento. Cada habitante peruano produce 142 litros de aguas negras en promedio.

Sunnas (2014) en su Proyecto de estudio tarifario manifiesta que el volumen de aguas negras (aguas residuales) resultado del uso de la población del servicio de agua potable se puede determinar que la demanda de agua potable contribuye en el alcantarillado en un 80%, ascendiendo a los 17 358 066 m³/año del volumen de aguas residuales no tratadas.

La generación de aguas residuales domesticas no tratadas es alarmante en nuestro país, ya que no todos cuentan con este servicio, con este trabajo se propone realizar el tratamiento del agua residual domestica aprovechando la energía liberada en el proceso biológico del tratamiento mediante la celda de combustión microbiana, y así poder optar por nuevas tecnologías para el tratamiento de estas, en lugares donde no se cuentan con servicios del tratamiento de aguas residuales y electricidad, en baja producción, pudiendo con esto solucionar los problemas que aquejan a la población peruana.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general.

- ¿Cómo degradar la materia orgánica y generar bioelectricidad de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo - 2018?

1.2.2. Problemas específicos.

- ¿Cuáles fueron las características químicas (DBO – DQO) de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo - 2018?

- ¿Cuánto fue el tiempo de operación y resistencia eléctrica en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo - 2018?
- ¿Cuánto fue la remoción de carga orgánica y obtención de bioelectricidad en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo - 2018?
- ¿Cuál fue la relación entre el tiempo de operación y resistencia eléctrica y porcentaje de remoción orgánica y potencia eléctrica generada Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo - 2018?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general.

- Degradar las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo mediante celdas de combustión microbiana - 2018

1.3.2. Objetivos específicos.

- Caracterizar las propiedades químicas (DBO – DQO) de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo - 2018.
- Determinar el tiempo de operación y resistencia eléctrica en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo - 2018.
- Determinar la reducción de carga orgánica y la bioelectricidad en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo - 2018.
- Determinar la relación entre el tiempo de operación y la resistencia eléctrica en el porcentaje de remoción orgánica y potencia eléctrica generada Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo - 2018.

1.4. Justificación

En el trabajo de investigación se enfocó en el tratamiento de aguas residuales, ya que no son tratadas adecuadamente y la mayoría de las aguas no tratadas son vertidas directamente en los ríos, en el subsuelo,

mares, en los suelos a cielo abierto o lagos, las cuales producen enfermedades en la población aledaña al lugar donde se es vertido, ya sea en la salud o económicamente

El volumen de aguas residuales tiene variaciones durante el transcurso del tiempo desde las horas, días y año, apreciándose el aumento de las aguas servidas al comienzo y final de la semana, debido al lavado de ropa, y a la limpieza de casas. Los feriados y fines de semana, la cantidad de aguas residuales se disminuye de manera notoria debido al cambio en la producción de aguas residuales en el día; ya que en la noche llega al punto mínimo, la generación de agua y la concentración de residuos sufre un incremento en las mañanas, llegando casi siempre a su máximo al medio día, para que después progresivamente disminuya. Estas descargas de las aguas residuales domésticas se aprecian en los ríos: Mantaro, Shullcas; Cunas, Chanchas, etc., debido a esto se ha ido apreciando tonos rojos y azules en su caudal, signo de contaminación.

EL recurso de electrificación no llega a todo el Perú, en especial a las zonas rurales alejadas, debido a esto las personas utilizan pilas, baterías, etc.; generando residuos radiactivos, los cuales no tienen un área de disposición final, y genera pérdidas económicas en las zonas rurales, siendo este uno de sus principales problemas eléctricos. Debido a los problemas que aquejan a la población peruana se propone una solución amigable, que ayudaría al tratamiento de aguas residuales y apoyar minimizando los egresos económicos de las zonas rurales comprando pilas y generando residuos radiactivos, los cuales pueden ser cargados con la generación de bioelectricidad de la celda de combustión microbiana.

1.5. Importancia

En la actualidad se ha impulsado el interés y desarrollo de algunas fuentes energéticas alternativas

Así la investigación brinda conocimiento que permitirá mostrar el tratamiento de aguas residuales con la celda de combustión microbiana (CCM's) para optar este como una alternativa de solución a este problema

que afecta a nuestra sociedad. Desarrollando una CCM's a escala de laboratorio, aprovechando la energía liberada en los procesos microbiológicos y biológicos del tratamiento de las aguas residuales domésticas, además se dará a conocer una mirada integral sobre la minimización del daño al ambiente, ya que de esta manera se optaría una solución más amistosa para el ambiente y la economía, utilizando este tipo de tecnología

1.6. Limitaciones

El desarrollo de esta biotecnología está todavía en desarrollo, no se espera la inmediata aplicación que solucione los problemas de dependencia energética hacia los combustibles fósiles. Pero ya cuenta con la potencia de alimentar pequeños dispositivos electrónicos. También, el bajo costo de esta biotecnología se haría competitiva en los próximos años por ser una fuente de energía amigable y de biocombustibles como una muy buena alternativa.

La ventaja de la bioelectricidad es la posibilidad de poder aprovechar el proceso de desecho que ocurre a alrededor nuestro es constante como el desfogue de las aguas residuales. Las cuales en su mayoría no son tratadas, y solo se disponen en un rio o cualquier cuerpo de agua.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Marco referencial

2.1.1. Antecedentes de la investigación.

En esta misma labor de investigación y consulta se encontró el trabajo realizado por Baeza, Martínez, Guerrero, Ruiz & Guissola el 2017, titulado *Bioelectrochemical hydrogen production from urban wastewater on a pilot scale*, en la producción de hidrógeno electroquímico a escala laboratorio con diferentes sustratos, el diseño, construcción, puesta en marcha y operación de una planta piloto de MEC (130 L) operó durante cinco meses con diferentes sustratos (glucosa, glicerol bruto diluido y aguas residuales urbanas reales), los mejores resultados se presentaron en el último mes con efluentes primarios de aguas residuales urbanas reales. La producción de hidrógeno aumentó a valores superiores a 4 L/día con una pureza de gas de 95%, una recuperación de gas catódico de 82% y una recuperación de energía de 121% con respecto a la entrada eléctrica. La eficiencia de eliminación de la materia orgánica fue aproximadamente 25% para un tiempo de retención hidráulica de 2 días con carga orgánica (OLR) de 0,25 gramos de COD/L*día, siendo posible lograr eficiencias de remoción en torno al 75% con OLR inferiores a 0,05 g COD/L*días. Estos resultados

son prometedores y representan un paso importante hacia la implementación industrial de estos sistemas.

En la investigación presentado por Martinez, Herrer, Gutierrez Y Bello, 2015, titulado Tratamiento de agua residual domestica mediante un reactor RAFA y una celda microbiana de combustible, donde evaluaron el desempeño de un sistema compuesto por un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA de 1L) operando de manera continua en 12 y 6 horas y una celda microbiana de combustible (CMC de 250mL) que opero por lotes con agua residual cruda en el tiempo hidráulico de 12 horas. En el sistema acoplado RAFA-CMC logrando una remoción de 88% demanda química de oxígeno (DQO), 75% de carbono orgánico total (COT) y 79% de solidos suspendidos totales (SST), el cual fue superior a los sistemas separados (RAFA y CMC), los cuales fueron inferiores en un 10% del sistema acoplado (CMC 60% DQO, 53% COT y 40% SST), la CMC obtuvo la mayor densidad de potencia 176 mW/m², utilizando una resistencia de 1000Ω, con una eficiencia coulombica de 8%.

Ivanov, Ren, Sigert & Logan en el 2013 presentaron el trabajo titulado A quantitative method to evaluate microbial electrolysis cell effectiveness for energy recovery and wastewater treatment, en donde desarrollaron el método cuantitativo para evaluar la eficacia de las células de electrólisis microbiana para la recuperación de energía y el tratamiento de aguas residuales, teniendo perfiles simulados de corriente y pruebas de aguas residuales industriales y domésticas, con MECs de pequeño volumen, la energía obtenida del tratamiento fue 2.17 kW h kg⁻¹ para aguas residuales industriales y 2,59 kW h kg⁻¹ para aguas residuales domésticas, esto cuando estas aguas residuales se combinaron en cantidades iguales, la energía obtenida se redujo a 0,63 kW h kg⁻¹, las células de electrólisis microbiana (MECs) son potenciales candidatos para el tratamiento de aguas residuales sostenibles ya que permiten la

recuperación de la entrada de energía mediante la producción de productos químicos valiosos como el gas hidrógeno

También se consultó el trabajo de Buitrón y Pérez investigación del 2011, titulado Producción de electricidad en celda de combustible microbiana utilizando agua residual: efecto de la distancia entre electrodos, en donde se determinó la influencia de la separación de electrodos sobre la producción de electricidad y la eliminación de materia orgánica, para esto se construyó tres celdas de semejante geometría pero con volumen diferente, operadas en un ciclo de 0,97 días para la celda de 40 mL, 1,03 días para la celda de 80 mL y 5,93 días para la celda de 120 mL, obteniéndose como resultado la eliminación del 71% de la materia orgánica y un voltaje máximo de 660 mV. La distancia entre electrodos (4, 8 y 12 cm) efecto negativo ya que causó mayor diferencia en la generación de electricidad, sin embargo, se apreció que la potencia volumétrica disminuyó, a medida que aumentó la separación entre los electrodos.

Una de las primeras investigaciones realizadas presentada por Alzate, Fuentes, Alvarez y P.J en el 2008, sobre la Generación de una Electricidad a partir de una celda de combustible Microbiana tipo PEM, donde desarrollaron la celda de combustión microbiana de vidrio con un volumen de 350 mL, el compartimiento del ánodo fue burbujeando con N₂ para desplazar el O₂, teniendo un periodo de operación de 130 días con una resistencia de 1000 Ω, el voltaje se mantuvo en 0,88 ±0,17V en los primeros 102 días, mientras que después de los 102 días se mantuvo un intervalo de 80 ±20μA; los mejores resultados se obtuvieron en los pH 5,5 y 6,0.

2.1.2. Referencias históricas.

El trabajo por Beaza, A & Guisasola realizado el (2016) denominado *Microbial electrolysis cell performance using non-buffered and low conductivity wastewaters* correspondiente a Ruiz, en donde tienen como prioridad la producción de hidrógeno a partir

de aguas residuales mediante una MEC, donde se evaluó el desempeño con un medio de cultivo similar a la verdadera agua residual, en los ensayos de la MEC de cámara única demostraron que la falta de tampón afectó tanto a los potenciales superiores del ánodo como al cátodo, aunque el potencia de este último fue significativamente mayor, en comparación de la configuración de dos cámaras, el cual fallo por la caída del pH, lo que daño el biofilm. En las cámaras solo se tuvo variaciones desde los valores (4 mV/cm) a (13 mV/cm).

Trabajo presentado por Revelo, Hurtado y Ruiz, el (2013), *Celdas de Combustible (CCM's): Un reto para la remoción de Materia Orgánica y la Generación de Energía Eléctrica*, donde se establecen las posibilidades de utilizar diversos sustratos y comunidades microbianas para la operación de la CCM, y con esto poder lograr una tecnología factible y su operación se realice en cualquier escenario con diversos productos o desechos tales como las aguas residuales provenientes de frutas y vegetales, residuos agroindustriales, melazas de destilerías, suero de queso, etc. ya que son componentes que se encuentran con mucha facilidad y de forma abundante.

2.2. Marco legal

- Constitución Política del Perú.
 - TITULO III: Capitulo II (Del Ambiente y Los Recursos Naturales), Art N°66 al Art N°69.
- Ley N° 28611 Ley General del Ambiente aprobada el 13 de octubre del 2005, y su modificatoria Decreto Legislativo N°1055, Ley N°29263, y Ley N° 29895.
- Ley N°27446 – Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental, y su modificatoria mediante el Decreto Legislativo N°1078.
- Política Nacional del Ambiente (Decreto Supremo N° 012-2009-MINAM).

- Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento aprobado mediante Decreto Supremo N°001-2010-AG.
- Decreto Supremo N°023-2009-MINAM Aprueban Disposiciones para la implementación de los ECA para Agua son referente obligatorio para el otorgamiento de las Autorizaciones de Vertimientos, y su modificatoria Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM y a su vez modificada Decreto Supremo N° 004-2017- MINAM.
- Ley N°26842 – Ley General de Salud, del 20/07/97 – a través de DIGESA, y su modificatoria LEY N° 27604.
- Resolución Jefatura N°10-2016-ANA, Aprueba Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos naturales de Monitorio de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial.
- R.D. N°2254/2007/DIGESA/SA, Programa Nacional de Vigilancia de la Calidad Sanitaria de los Recursos Hídricos.
- R.J. N°202-2010-ANA, de fecha 22 de marzo del 2010, que resuelve aprobar la clasificación de las aguas superficiales y marino-costeros.
- Decreto Supremo N°001-2010-AG, que aprueba el Reglamento de la Ley N° 29338 – Ley de Recursos Hídricos.
- Decreto Supremo N°003-2010-MINAM: Aprueba Límites Máximos Permisibles.
- Decreto Supremo N°07-2010-AG. Declara de interés nacional la protección de la calidad del agua en las fuentes naturales y sus bienes asociados.
- Resolución Jefatura N°274-2010-ANA. Programa de Adecuación de Vertimientos y Reusó de Agua Residual – PAVER.
- Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, Aprueba Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de las aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario y aprobación de su reglamento mediante el Decreto Supremo N°003-2011-VIVIENDA.
- NTP OS.090 Norma para el Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.

2.3. Marco conceptual

- Ánodo es el electrodo en comunicación con el polo positivo de un gran generador de corriente eléctrica. (Provenza, 1983, pág. 194)
- Anión es el Ion con carga eléctrica negativa, que en la electrolisis se dirige al ánodo. (Provenza, 1983, pág. 192).
- Agente oxidante es el proceso de aceptación de electrones que por lo tanto hace que se reduzcan los electrones, también conocido por el proceso redox. (Mortimer, 1983, pág. 768).
- Agente reductor proceso donde se pierden electrones por lo que se produce que se oxiden en el proceso redox. (Mortimer, 1983, pág. 768).
- Biocátodos, se llevan a cabo en el electrodo en el cátodo donde se contienen las bacterias, la que cumplen el rol más importante en las reacciones de reducción. (Rismani, Carver, Christy, & Tuovinen, 2008, pág. 180).
- Cátodo es el polo negativo de una batería eléctrica o de cualquier generador de electricidad. (Provenza, 1983, pág. 515)
- Cation es el elemento electropositivo de una molécula que en la electrolisis se dirige al cátodo. (Provenza, 1983, pág. 515)
- Oxidación es la acción y efecto de oxidar u oxidarte. (Provenza, 1983, pág. 1539)
- Reducción es la acción y efecto de reducir o reducirse. (Provenza, 1983, pág. 1778)
- DBO5 donde se ve que las bacterias realizan la degradación biológica consumido por 5 días del oxígeno disuelto de la materia orgánica.
- DQO consiste en la conversión de la materia orgánica obteniendo como producto final el dióxido de carbono y agua, viendo el oxígeno necesario para oxidarlo.

2.4. Marco teórico

2.4.1. Agua residual.

Son descargadas de agua al sistema de alcantarillado o vertidas a un cuerpo natural de agua, donde las características de las aguas originales fueron alteradas por actividades humanas y por su

contaminación, la calidad de esta agua requiere un previo tratamiento, antes de ser reusadas. (Organismo de evaluación y fiscalización ambiental, 2014, pág. 6)

a) Características físicas

Las constituyentes físicas de las aguas servidas o residuales son los sólidos, estos son compuestos que están flotando en el agua residual, sea suspendidos o disueltos comúnmente expresado en mg/L. La temperatura que es por lo general mayor que el abastecimiento, expresado en °C. El color es influenciado por la cantidad de sólidos suspendidos, sustancias en solución y el material coloidal, si los colores son o pueden ser gris oscuro o negro, se trata en la mayoría de los casos de aguas sépticas que bajo condiciones anaeróbicas han sufrido una fuerte descomposición bacteriana (Crites, 2000, pág. 33)

b) Características químicas

Los químicos constituyentes de las aguas servidas o residuales son en la mayoría de los casos clasificados en orgánicos e inorgánicos. Dentro de los inorgánicos está la concentración del ion Hidrógeno (pH), su concentración permite un tratamiento eficaz de las aguas residuales. El nitrógeno (N) y el fósforo (P), estas son primordiales en el crecimiento biológico, para evaluar el nivel de tratamiento de las aguas residuales para tratamientos biológicos, el total de contenido del nitrógeno está constituido por nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal, nitratos y nitritos y la forma más frecuente en que se puede encontrar el P incluye los, poli fosfatos, orto fosfatos y fosfato orgánico.

Dentro de los orgánicos está la demanda bioquímica de oxígeno donde se da la oxidación (estabilizar) de la materia orgánica biodegradable y se mide la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para esta labor en condiciones aerobias, también referido al consumo en 5 días del oxígeno (DBO₅),

también se emplea (DBO₅ 21) día; midiéndose en ppm de O₂ que son consumidos (mg/L – O₂). (Crites, 2000, pág. 48)

c) Características biológicas

Los constituyentes biológicos de las aguas sépticas o residuales son importantes para el control de las enfermedades causadas por organismos patógenos de origen humano, por las bacterias y otros organismos que tiene un papel fundamental y activo de dentro de la estabilización y descomposición de la materia orgánica; quienes desarrollan un papel fundamental y de gran importancia en la estabilización y descomposición de la materia orgánica, las bacterias entéricas son las que se encuentran con mayor frecuencia en el tracto gastrointestinal del hombre colonizadas quienes son alimentadas por materia fecal.

Los organismos que se utilizan como indicadores de contaminación son los coliformes en otras palabras, quienes indican la existencia de los organismos productores de enfermedades. (Crites, 2000, pág. 74)

Tabla 1

Análisis comunes usados para estimar los constituyentes encontrados en las aguas residuales

Prueba	Abreviatura/ Definición	Uso o significados del resultado
Solidos totales	ST	Determinar la clase de proceso u operación para su tratamiento
Solidos Volátiles totales	SVT	
Solidos fijos totales	SFT	
Solidos suspendidos totales	SST	
Solidos suspendidos volátiles	SSV	
Solidos suspendidos fijos	SSF	
Solidos disueltos volátiles	SDT (ST.SST)	Estimar la reutilización potencia del agua residual.
Solidos disueltos volátiles	SDV	
Solidos disueltos fijos totales	SDF	
Solidos sedimentables		Determinar aquellos solidos que se sedimentan por gravedad en un tiempo específico

Distribución de partículas por tamaño	DPT	Evaluar el desempeño de los procesos de tratamiento
Turbiedad	UNT	Evaluar la calidad del agua residual tratada
Color	Café claro, gris, negro	Estimar la condición del agua residual (fresca o séptica)
Transmitancia	%T	Estimar si el efluente tratado es apropiado para desinfección con radiación UV
Olor	NUO	Determinar si el olor puede ser un problema.
Temperatura	°C o °F	Importe en el diseño y operación e instalaciones de tratamiento con procesos biológicos
Densidad	ρ	
Conductividad	CE	Estimar si el efluente tratado es apto para su uso agrícola.
Características químicas inorgánicas		
Amonio libre	NH_4^+	Usando como medida de nutrientes y para establecer el grado de descomposición del agua residual; las formas oxidadas pueden tomarse como una medida del grado de oxidación.
Nitrógeno orgánico	N-org	
Nitrógeno total Kjeldahl	NTK (N org + NH_4^+)	Usado como medida de nutrientes.
Nitratos	NO_2^-	
Nitratos tos	NO_3^-	
	P inorg	
	FT	
	P org	
pH	$pH = \log 1/[H^+]$	Medida de la acidez o basicidad de una solución acuosa
Alcalinidad	$\Sigma HCO_3^- + CO_3^{2-} + OH^- - H^+$	Medida de la capacidad amortiguadora del agua residual.
Cloruros	Cl^-	Evaluar la posibilidad de ser empleada en el uso agrícola
Sulfatos	SO_4^{2-}	Estimar la formación potencia de olores y de tratamiento apropiado de lodos residuales
Metales	As, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Pb, Mg, Hg, Mo, Ni, Se, Na, Zn	Estimar la posibilidad de reutilizar el agua residual y los posibles efectos tóxicos en el tratamiento.

		Las cantidades de metales son importantes en el tratamiento biológico
Compuestos y elementos inorgánicos específicos		Evaluar la presencia o ausencia de un constituyente específico
Gases	O ₂ , CO ₂ , NH ₃ , H ₂ S, CH ₄	Presencia o ausencia de gas específico.
Características químicas orgánicas		
Demanda bioquímica carbonácea de oxígeno a cinco días	DBOC ₅	Medida de la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente un residuo
Demanda bioquímica carbonácea de oxígeno última	DBOU (DBO _{U,L})	Medida de la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente un residuo.
Demanda de oxígeno nitrogenácea	DON	Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidar biológicamente el nitrógeno amoniacal de un agua residual a nitratos
Demanda química de oxígeno	DQO	Usada con frecuencia como sustituto de la prueba de DBO
Carga orgánica total	COT	Determinar la presencia de los compuestos orgánicos específicos y estimar la necesidad de medidas especiales en el diseño para su remoción.
Características biológicas		
Organismos coliformes	NMP (número más probable)	Estimar la presencia de bacterias patógenas y la eficiencia del proceso de desinfección
Microorganismos específicos	Bacterias, Protozoos, Helmintos, virus	Estimas la presencia de organismos específicos en conexión con la operación de la planta de tratamiento y la reutilización de las aguas.
Toxicidad	UT _A y UT _C	Unidad toxica aguda, unidad toxica crónica.

Fuentes: (Crites, 2000, págs. 30-31)

2.4.2. Bacterias

Las bacterias son procariontes, mientras que los hongos, los protozoos y otros organismos son eucariotas. Las células eucariontes contienen un núcleo con una membrana que encierra múltiples cromosomas, mientras que las células procariontes tienen un cromosoma único (nucleóide) que no está encerrado en una membrana nuclear. Las células eucariontes también tienen diversos orgánulos sub celulares con funciones especializadas, como las mitocondrias (los lugares de respiración aerobia) y los cloroplastos (los lugares de la respiración aerobia). En efecto, estos orgánulos sub celulares evolucionaron probablemente a partir de procariontes que ingresaron en las células eucariontes y desarrollaron relaciones simbióticas con ellas. (Winn, y otros, 2006, pág. 165)

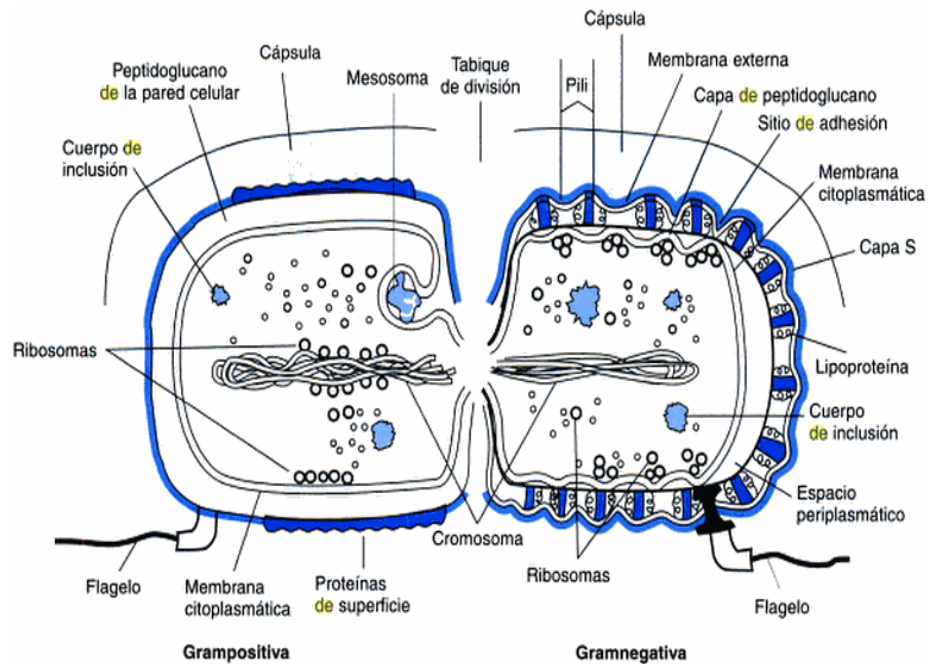


Figura 1: Esquema general que representa el corte transversal de una célula bacteriana.

Fuente: (Winn, y otros, 2006, pág. 175)

A) Factores de crecimiento microbiano

Los microorganismos fabrican componentes celulares indispensables usando rutas bioquímicas, utilizando minerales, recursos energéticos, C, N, P y S. El tipo y concentración de biomasa se describe como un factor alterante del rendimiento de MFC's.

B) Curvas de crecimiento microbiano

Describe Cuatro fases: a) Fase de latencia: periodo de cambio para los microorganismos, b) Fase exponencial: se da el crecimiento de los organismos, c) Fase estacionaria: donde se da las limitaciones en el crecimiento microbiano y d) Fase de muerte: se desarrolla la decadencia del número de células viables. La temperatura influyo el tiempo de la fase de latencia, sugiriendo iniciar a una temperatura de operación de 22 °C con fines de aplicación al tratamiento de AR; ya que la mayor eficiencia columbina fue obtenida a 30 °C, operar MFC's a bajas temperaturas no fue exitoso por las bajas potencias de salida

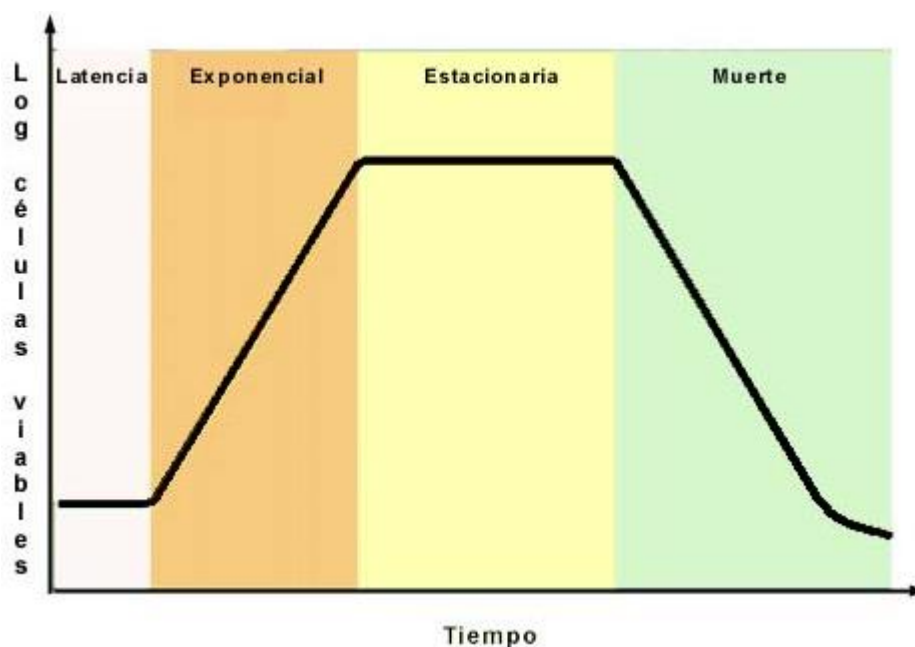


Figura 2: Fases de crecimiento bacteriano

Fuente: (Soto, 2012, pág. 1)

C) Reproducción y crecimiento de las bacterias.

Generalmente la expresión "bacteria" está ligada a infecciones, enfermedades y descomposición, sin embargo, se puede beneficiar de la respiración bacteriana interna y su actividad metabólica de las células, existe microorganismos (*Geobacter*) utilizado como socio en la indagación de variados estudios propicios. La especie de bacterias llamada *Geobacter* descuellan dos especies, el *metallireducens* y el *sulfurreducens*, ostentan características prominentes, que favorecen en variados trabajos para el ser humano

Esta bacteria tiene la cabida de trasladar a moléculas de electrones como el Mn, Fe y óxidos de nitrógeno, sustancias de elevado peso molecular hechas de la degradación química y biológica de residuos de animales y plantas, permite el cambio de electrones directamente a los electrodos, creando bajas corrientes eléctricas, la *Geobacter* tiene esta peculiaridad permitiendo realizar un papel sustancial de la materia orgánica en el ciclo natural y de los metales en las precipitaciones acuáticos y subsuelos, en la biorremediación del ambiente. (Bin, y otros, 2005, pág. 1)

La posibilidad de las variedades *Geobacter* para transferir electrones accede lograr electricidad originalmente de materia orgánica, o donante de electrones en el uso de electrodos para minimizar la presencia de contaminantes como uranio, separadores clorados y nitrato, dispuestos a realizar Pili, útiles en el avance de dispositivos microelectrónica en la industria. (Feng, Liu, Lang, & Fan, 2010, pág. 2050)

D) Influencia del factor ambiental en el crecimiento

Factores químicos y físicos de cada ambiente afectan al crecimiento microbiano, la temperatura es factor que afecta al rendimiento de las MFC's.

Tabla 2

Categorización de microorganismos a respuestas de factores ambientales

Factor	Tipo de organismos	Definiciones	Microorganismos representantes
Solubilidad actividad del agua	Osmotolerante	Capaz de crecer sobre amplia actividad del agua o concentración osmótica	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Saccharomyces rouxii</i> .
	Halófilo	Requiere niveles altos de NaCl, usualmente arriba de 0.2M para el crecimiento	<i>Halobacterium</i> , <i>Dunaliella</i> , <i>Ectothiorhodospira</i>
pH	Acidófilo	crecimiento optimo entre 0 y 5.5	<i>Sulfolobus</i> , <i>Picrophilus</i> , <i>Ferroplasma</i> , <i>Acontium</i> , <i>Cyanidium caldarium</i>
	Neutrófilo	Crecimiento optimo entre 5.5 y 8	<i>Escherichia</i> , <i>Euglena</i> , <i>Paramectum</i>
	Alcalófilo	Crecimiento optimo entre 8 y 11.5	<i>Bacillus alcalophilus</i> , <i>Natronobacterium</i>
Temperatura	Psicrofiló	Crece bien a 0°C un óptimo crecimiento a temperatura de 15°C o menos	<i>Bacillus psychrophilus</i> s. <i>Chalamydomonas nivalis</i>
	Psicótrofos	Puede crecer de 0-7°C y tiene un óptimo crecimiento entre 20°C y 30°C, con un máximo alrededor de 35°C.	<i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Pseudomonas fluorescens</i>
	Mesofiló	Tiene un óptimo crecimiento alrededor de 20-45°C	<i>Escherichia coli</i> , <i>Neisseria gonorrhoeae</i> , <i>Trichomonas vaginalis</i> .
	termófilo	Puede crecer a 55°C o más, óptimamente entre 55°C y 65°C.	<i>Geobacillus stearothermophilus</i> , <i>Thermus aquaticus</i> , <i>Cyanidium caldarium</i> , <i>Chaetomium thermophile</i>

	Hipertermofilo	Tiene un crecimiento optimo entre 80°C y 113°C	<i>Sulfolobus, Pyrococcus, Pyrodictium.</i>
Concentración de Oxígeno	Aerobio estricto	Completamente dependiente del O ₂ atmosférico	<i>Micrococcus luteus, Pseudomonas, Mycobacterium, most protist and fundi</i>
	Aerobio Facultativo	No requiere O ₂ para crecer, pero puede hacerlo en su presencia	<i>Escherichia, Enterococcus, Saccharomyces cerevisiae.</i>
	Anaerobio Aero tolerante	crece bien en presencia o ausencia de O ₂	<i>Streptococcus pyogenes.</i>
	Anaerobio Estricto	No tolera O ₂ , muere en su presencia	<i>Clostridium, Bacteroides, metanobacterium, Treptomonas agilis.</i>
	Microaerofiló	Refiere O ₂ en concentraciones bajas, entre 2-10% para el crecimiento, y es dañado por niveles de O ₂ atmosférico en concentraciones de 20%	<i>Campylobacter, Spirillum volutans, Treponema pallidum</i>
	Presión	Basófilo	Crece más rápido en altas presiones hidrostaticas

Fuente: (Winn, y otros, 2006, pág. 206)

E) Cultivos microbiológicos

Los cultivos bacteriana se efectuaron en condiciones aeróbicas, con matraces de 500 mL con 7,584 de agar SS y 120 mL de agua destilada, se hace hervir la mezcla en el matraz y posteriormente se verte la concentración en las placas Petri para sembrar la bacteria, dejar encubar a 37° durante 24 horas.

F) Unidades formadoras de colonias

Para el desarrollo de los cultivos microbiológicos se desarrolló en el método de extendido en placa UFC; donde se realizaron disoluciones seriadas 1:10 y extender 0.1 mL de cada dilución

en la placa, se utilizó esta metodología porque tiene un límite de detección y así poder saber la viabilidad de las bacterias utilizadas. Para la investigación se procedió en etapas como se presenta a continuación.

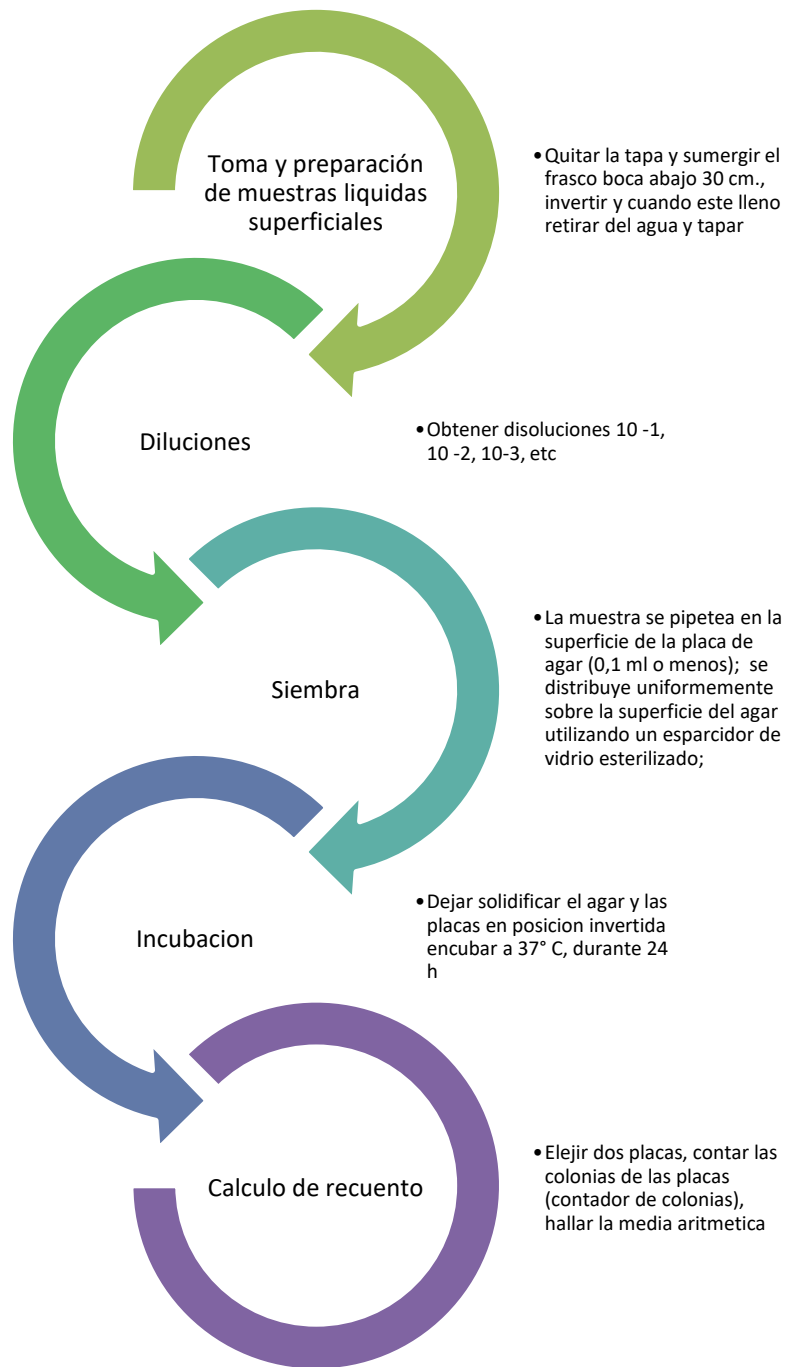


Figura 3: Proceso para la determinación de UFC

Fuente: (Winn, y otros, 2006, págs. 27 - 39)

2.4.3. Microorganismos exoelectrógenos.

Estos organismos son mayormente conocidos como electrógenos o exoelectrógenos son los más comúnmente utilizados en el desempeño de la CCM's, ya que estos instrumentos actúan como intermediario en la generación de electricidad en la CCM's, los que establecen la introducido del inóculo en la sección anódica; en algunos casos los investigadores suelen incluir inóculos procedentes de cultivos naturales o comunidades microbianas plenamente establecidas, mientras se busca examinar en diversos estudios la habilidad de las sustancias de origen microbiano en los inóculos.

En los estudios se busca que los cultivos de microorganismos en el laboratorio sean puros, ya que son muestras separadas en los laboratorios y recopiladas de muestras industriales y del ambiente, siendo a su vez plenamente identificados, y así poder identificar los microorganismos responsables de la producción de energía eléctrica para esto se evalúa las propiedades electrogénicas de microorganismos.

La *Shewanella*, *Rhodospirillum rubrum* y *Geobacter* las bacterias más comunes entre las investigadoras reductoras de metales utilizadas en CCM's, ya que en el ánodo se puede emplear como el receptor final de electrones (Du, y otros, 2007); las bacterias electrógenas desarrollan distintas articulaciones de transferencia de electrones, en las que se aprecia el traslado *nanowires* conductores y extracelular mediante citocromos tipo C, como la *Escherichia coli*, como se aprecia en la Figura 3 el que se aprecian en los ánodos inoculados; quienes tienen la capacidad de generación de intermediario químicos, como la *Pseudomonas aeruginosa*, ilustrándose la información encontrada sobre su desempeño. (Pineda, 2016, pág. 144)

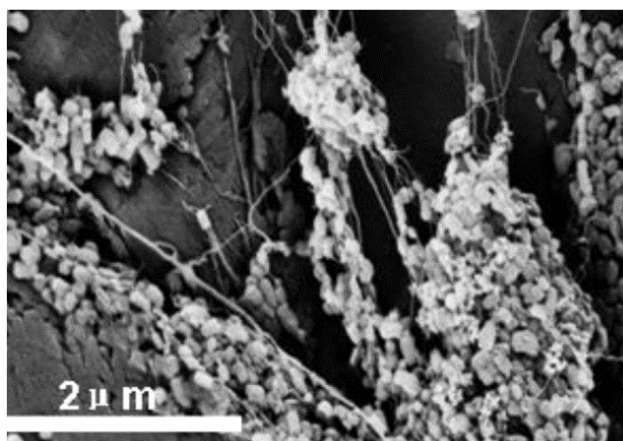


Figura 4: Imagen SEM de fieltro de carbono después de 48 horas de inoculación con *E. coli*.

Fuente: (Pineda, 2016, pág. 145)

Otros estudios se han evidenciado un vínculo entre la generación de energía por algunos microorganismos particulares, en el empleo de la consistencia óptica bacteriana (OD), las células y el incremento celular se toma como una medida de la manifestación. Investigaciones con *Lactobacillus bulgaricus* permiten evidenciar que “cuanto mayor sea el valor de OD producido, la corriente y el voltaje mas pequeño”. Los valores de DO, indican elevados niveles de masa celular que se agotan apresuradamente, la disponibilidad del sustrato en la celda, por lo que ocasionalmente los electrones disponibles serán agotados a un ritmo exponencial, con la disminución de la corriente. (Pineda, 2016, pág. 145)

2.4.4. Bioenergía

Viene a ser la producción de energía a partir de biomasa: "materia viva" o derivada de seres coexistentes, incluyendo productos que se han dividido en tres tipos de comburente: los sólidos que se volatilizan para elaborar calor y electricidad, y los combustibles líquidos, que se usan cultivos energéticos para la producción de etanol y biodiesel.

la generación natural de energía eléctrica o combustibles se conoce como la bioelectrogénesis basándose en el uso de enzimas o procesos biológicos en sistemas bioelectroquímicos, donde se ve

la transformación en sustratos orgánicos hasta protones y electrones exocelulares, los que de manera primaria pueden ser recuperados para la producción energía eléctrica; además de agua (H₂O) y dióxido de carbono (CO₂). (Panwa, Kaushik, Surendra, & Kothari, 2011, págs. 1515-1516)

a) Bioelectricidad

Se puede extraer de procedimientos bioeléctricos en donde se cambian en sustratos orgánicos los electrones exocelulares y protones, los que pueden ser recuperados como subproducto agua y dióxido de carbono, teniendo como ejemplo la elaboración de metano, hidrógeno o electricidad, realizando esto los microbianos de bioenergía por sintrofia. (Falcón, Lozano, & Juárez, 2006, pág. 10)

b) Bioenergética microbiana

Proviene de los desarrollos biológicos dando energía química generado por organismos vivos, existe eficientes microorganismos para realizar el proceso de conversión energética, pero algunos son mejores que otros, teniendo en consideración los más utilizados en los procesos microbianos que los microorganismos tales como “bacterias electrogénicas” que en la mayoría de los casos son encontrados en ambientes anaerobios como sedimentos de lagos o ríos. La transformación equipos electroquímicos de energía química en eléctrica es factible en equipos llamados células o pilas de combustible (“Fuel Cells”), donde de una fuente externa se puede obtener combustible donde se produce hidrógeno o etanol en la mayoría de los casos. (Nuñez, 2008, pág. 1)

Los microorganismos electro activos, a través de sus proteínas llamadas citocromos son capaces a través de sus elementos conductores de donar o aceptar electrones, sugiriendo explorar nueva interacción entre el entorno más próximo y las bacterias, así dando lugar a la transferencia directa de electrones fascinante entre especies (Direct Interspecies Electron Transfer, DIET), siendo

también descubierta la *Geobacter*, el por DIET, en el estudio microbiano del estudio del sedimento ecológico, donde proponen microorganismos capaces de aceptar electrones y dar electrones entre poblaciones de manera forma directa, así es como las bacterias electro activas utilizan con los electrodos en las MET. (Esteve, 2008, pág. 25)

b.1) Microorganismos con capacidad de respiración electrónica

Se indica que en varios estudios se ha intentado identificar y aislar las bacterias e identificar la actividad metabólica que tienen para asimilar la transferencia de electrones viendo su capacidad de transferencia de los electrones a un electrodo a en una MFC, con la reducción de metales desasimilaría. Los metales como el hierro o el manganeso actúan como receptores terminales esto por las bacterias reductoras desasimilarías del metal por ausencia de oxígeno. (Saavedra, 2012, pág. 6)

Las bacterias *Clostridium*, *Geobacter*, *Aeromonas*, *Rhodoferrax*, *Desulfobulbus* y *Shewanella*, son las especies de microorganismos que por primera vez fueron reportados con una considerable cantidad de actividad reductiva de electrodos, y que se capaces de la reducción desasimilaría de metales (el hierro en especial). Estos electrones se pueden transferir de diferentes maneras como: (i) transferencia indirecta, utilizando lanzaderas intermedias de electrones, (ii) transferencia directa por medio de estructuras bacterianas llamada nano cables, la matriz de ex polisacáridos (EPS) se conduce a través del biofilm, o una combinación de estos mecanismos. Cuando se estudió la *Shewanella putrefaciens* los investigadores indicaron que la membrana celular específico citocromos se vuelve electroquímicamente activa cuando esta se cultiva en condiciones anaerobias. En estudios se ha demostrado que la *Gamma proteo bacteria*, *Beta proteo bacteria*, *Rhizobial*, y *Clostridia* son predominantes en la superficie del MFC del ánodo con un sustrato orgánico sabiendo que los cultivos puros en

comparación de los cultivos mixtos generan menor densidad de potencia, esto se debe a la sinérgicas de las interacciones dentro de las comunidades al torno del ánodo, ligado a los mecanismos de transferencia de electrones participando las cepas actualmente desconocidas con sus respectivos mecanismos. (Saavedra, 2012, pág. 7)

2.4.5. Celda de combustible (CCM'S, CMC o FCM).

Las CCM's cuenta con partes fundamentales viniendo a ser la membrana de intercambio protónico, el ánodo, la cámara anódica y el cátodo; viniendo a ser todo esto un sistema bacteriano para la oxidación de la materia orgánica a través del proceso de redox para la generación de materia orgánica en la CCM's. (Regan & Logan, 2006).

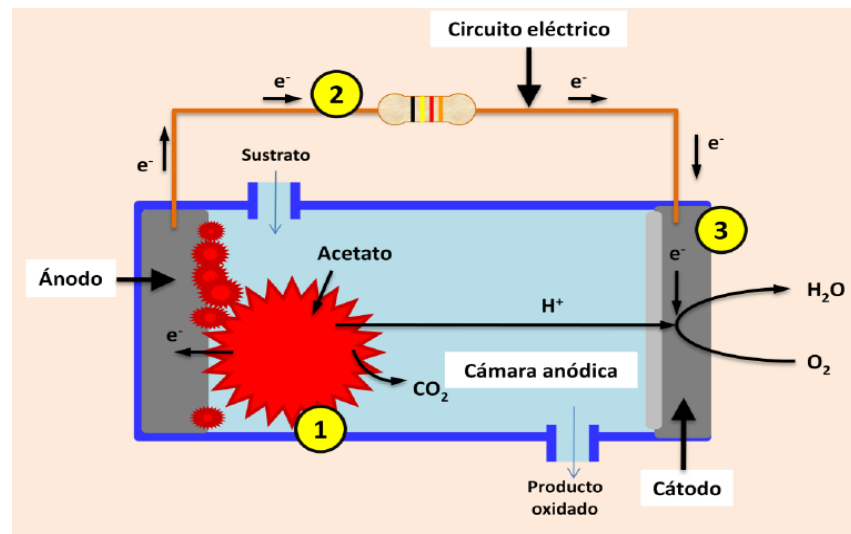


Figura 5: Sistema que muestra el funcionamiento de una celda de combustible microbiana

Fuente: (Cervantes, 2011, pág. 23)

La Figura 4 se muestra CCM's y sus principios de operación; la Tabla 3 sea aprecian las reacciones que se llevan a cabo en la cámara anódica y el catódica. En condiciones anaerobias se encuentra la cámara anódica, donde se oxida del combustible, en donde se encuentran microorganismos, los que cumplen con el rol de oxidar la materia orgánica se realiza en lo biotransformadores,

donde se liberan los electrones y protones esto resultados como producto del sistema, migran hacia cátodo y el ánodo fluyendo respectivamente.

Tabla 3

Potenciales estándar E_{fem}^0 y potenciales teóricos para las condiciones típicas en CCM (E_{fem})

Electrodo	Reacción	E_{fem}^0 (V)	Condiciones	E_{fem} (V)	Ecn
Ánodo	$CH_3COO^- + 4H_2O \rightarrow 2HCO_3^- + 9H^+ + 8e^-$	0.187 ^a	$HCO_3^- = 5mM,$ $CH_3COO^- = 5mM,$ pH=7	-0.296 ^b	1.1
	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	1.229	pO=0.2, pH=7	0.805 ^b	1.2
Cátodo	$O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O_2$	0.695	pO=0.2, [H ₂ O ₂]=5mM, pH=7	0.328	1.3
	$MnO_2(s) + 4H^+ + 2e^- \rightarrow Mn^{2+} + 2H_2O$	1.23	[Mn ²⁺]=5mM, pH=7	0.470	1.4
	$Fe(CN)_6^{3-} + e^- \rightarrow Fe(CN)_6^{4-}$	0.361	[Fe(CN) ₆ ³⁻]= [Fe(CN) ₆ ⁴⁻]	0.361	1.5

^a Calculado de datos tabulados de la energía libre de Gibbs. ^b Note que un CCM con ánodo que oxida acetato ($HCO_3^- = 5mM,$ $CH_3COO^- = 5mM,$ pH=7) y un cátodo que reduce oxígeno (pO=0.2, pH=7) tienen una fem de $0.805 - 0.296 = 1.101$ V.

Fuente: (Cervantes, 2011, pág. 24)

a) Principio de la celda de combustión microbiano

El sistema utiliza como principio los microorganismos para la conversión de energía química en energía eléctrica presente en el sustrato, cuando se cumple ciertas condiciones es posible que los microorganismos en su metabolismo pasen los electrones

producidos en la actividad a un electrodo (ánodo) en vez del oxígeno que es su aceptor natural de electrones, contribuye el proceso a la degradación del combustible o de la materia orgánica (sustrato).

Las CCM's opera de manera eficaz esto hace que se distinga de otros sistemas de generación de energía porque a pesar de las bajas temperaturas o temperatura ambiente siguen produciendo menor emisión de CO₂ al generar energía en comparación a los combustibles fósiles, por tanto estas emisiones bajas no requieren tratamiento de ningún tipo; si el cátodo abiótico sea un biocátodo o es inyectado de aire pasivamente no necesitara aporte de energía; este proyecto en un futuro se podrían utilizar donde haya demanda de consumos básicos de energía eléctrica como en lugares remotos, por su eficiencia el potencial enorme de este sistema.

La principal traba de la CCM's es la baja densidad de potencia, en la escala de los diseños, para proporcionar mayor poder, ya que estos podrían incluir recorridos de difusión de distancias largas o extensas para los protones generados lejos de la Membrana de Intercambio de Protones y el cátodo de una CCM's. Teniendo como primeros diseños las células H, que se interconectan dos vasos por un canal y la membrana u otro separador que, impedido la mezcla de los electrolitos entre el ánodo y cátodo, el separador es a menudo necesario porque el ánodo y el cátodo son típicamente anaeróbica y aeróbica, respectivamente. (Saavedra, 2012, pág. 12)

b) Ánodo

Dispositivos capaces de producir energía debiendo ser químicamente estables y conductivos biocompatibles en la solución del reactor, teniendo variedad en los ánodos en el material desde metálicos no corrosivo de malla de acero

inoxidable (consistentes) hasta el carbón siendo el más versátil es el (gránulos, barras o placas de grafito).

Los más baratos y manejables son las placas y las barras de grafito siendo estos los materiales más utilizados y favoreciendo que tienen definida el área de contacto.

Para incrementar el desempeño del ánodo se ve como opción la del incremento del crecimiento de la biopelícula, también la utilización de como compuestos polianilinas electro catalíticos que han demostrado mejorar la oxidación directa de metabolitos microbianos, generando corriente, dirigiendo al material del ánodo a través del flujo del agua pudiendo utilizarse para el incremento de la potencia. (Falcón, Lozano, & Juárez, 2006, pág. 65)

c) Cátodo

Dispositivo experimental para la generación de energía, siendo popular el ferrocianuro debido a su buen desempeño en MFC's, sobre potencia es su mejor ventaja, teniendo como desventaja que por oxígeno la oxidación insuficiente, necesitando el catódico para ser regularmente cambiado.

El oxígeno viene a ser el receptor más adecuado para una MFC son los electrones teniendo un alto potencia de oxidación, sustentabilidad, bajo costo, disponibilidad y la casi ausencia de residuos químicos. El desempeño es afectado por el material del cátodo, y las aplicaciones variedad. Para, los Se utilizan los catalizadores de platino para incrementar la velocidad de reducción de oxígeno siendo usados usualmente para cátodos de difusión de gas y/o oxígeno disuelto. (Falcón, Lozano, & Juárez, 2006, págs. 65-66)

d) Membrana

La función de la membrana de la celda de combustible microbiano (CCM's) es separar las reacciones del ánodo y el cátodo y prevenir el transporte de oxígeno a la cámara del

ánodo, mientras permite. Transporte selectivo de iones entre el ánodo y el cátodo. Para el tratamiento de aguas residuales, el bajo costo, junto con la durabilidad y la resistencia al ensuciamiento, pueden ser los requisitos más importantes para un sistema económicamente viable que genere energía, aunque los valores bajos de difusión de oxígeno, resistencia iónica y cruce son deseables para una mayor generación de energía.

Revelo, Hurtado, & Ruiz, (2013, pág. 17) afirma que muy común la utilización del Nafion o MIP como membrana.

2.4.6. Transporte de electrones

La parte central de las CCM's es la generación de energía eléctrica o el suministro constante de electrones llevándose a cabo la reacción de los electrones en el ánodo; las celdas de combustible microbianas (MFC) cumple con este principio con la única diferencia de la naturaleza del catalizador, el que favorece la oxidación del combustible, el que consiste en una red cristalina conformada por algún metal o aleación, las MFC tienen las colonias donde se realiza una labor similar, donde los microorganismos siempre estén aptos para efectuar funciones metabólicas contando con combustible alimentándolos, por lo que el flujo de electrones constituye como receptor del electrodo generado en el proceso de dicho metabolismo global, lo que implica que es necesario añadir el factor biótico. (Velez, 2012, pág. 4)

a) Células procariotas

Estas células parten de ciclos de oxidación reducción teniendo la existencia de cadenas transportadoras teniendo acarreadores alternadamente los electrones, se ha demostrado que la bacteria *E. coli* tienen sustancias solubles excretadas por la célula, también encontrándose un que flujo está asociado en el caso concreto de esta especie, mediante la activación del proceso electroquímico siendo posible utilizarlas en las celdas de combustible microbianas CCM's, que aparentemente produce

tres compuestos claves: etil 2-aminoacetimidato, metil4-etoxybutanoato, 3-isobutilhexahidropirrol pirazina-1,4-diona quienes son los encargados del transporte de electrones hacia el electrodo; esto ayuda a que los investigadores puedan hacer o realizar especulaciones de empleado en las celdas de combustible microbianas sobre la posibilidad de que cualquier microorganismo pueda ser empleado, esto dependería del estímulo inicial apropiado que se le pueda dar, pudiendo ser que en un principio presenten una actividad baja o nula.

La medicación electroquímica consiste en la aplicación de la diferencia del potencia en unos cuantos mili voltios los cuales son mencionados como mecanismo "desconocidos", la carga negativa presente puede ser un simple fenómeno electrostático esto ocasionado por las células procariotas, la pared celular de la Gram positivas tiene la presencia de ácidos técnicos, teniendo como función es la de enlazar las moléculas de peptidoglicano en la membrana plasmática, esto en las unidades monomericas del ácido a razón de los enlaces fosfodiester. (Velez, 2012, pág. 7)

Las Gram negativas, a través de la membrana externa donde la carga se debe a la naturaleza de los lipopolisacaridos, las propiedades se confieren en mención a estos ver figura 5.

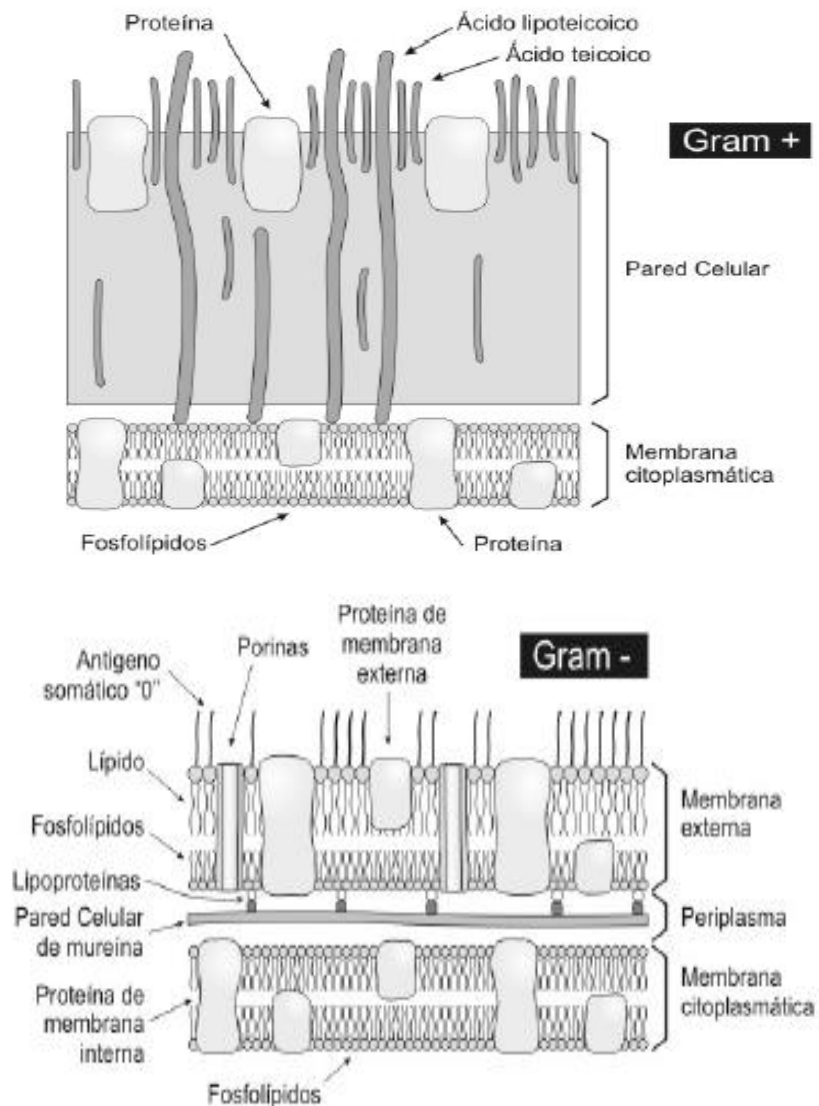


Figura 6: En la parte superior la estructura del ácido Teicoico de las Gram (+). Abajo la representación de los lipopolisacáridos en las Gram (-).

Fuente: (Velez, 2012, pág. 7)

Las bacterias con Pili transfieren los electrones siendo este aspecto importante en la existencia de bacterias, también conocidos la función de transportarlos como nano-cables microbianos los que cumplen la función de aceptores terminales desde la parte anaeróbica o en el caso de consorcios microbianos, estas bacterias tienen mayor exposición al oxígeno. Las *Shewanella* spp y *Geobacter* spp han sido encontrados principalmente en estas especies y estudiados

mediante técnicas de microscopía electrónica de barrido, el mecanismo mediante el cual se da esta transferencia generalmente AFM y STM. (Velez, 2012, pág. 5 al 8)

b) Células eucariotas

Su mecanismo es mucho más complejo, los procesos importantes se llevan a cabo en la mitocondria, sin embargo, viéndolo desde la aplicación de la MFC no son del todo aprovechables para la generación de energía, esto porque ha sido poco explorada por la inaccesibilidad mitocondrial poco explorada de la mitocondria.

La Tela de Carbón, Grafito, Papel Carbón, etc. sus características de porosidad diferentes con cada electrón del carbono, consisten en el aprovechamiento de enzimas oxidorreductasas sus formas más empleadas son la adsorción siendo bastante utilizadas en el sistema electroquímicamente activo en el Electrodo Enzima, dado que los eucariotas tienen una alta conductividad como lo es la secreción esto mediante un mecanismo diferente e indirecto.

Oxidoreductasas están asociadas a la actividad electroquímica; la glucosa oxidasa su producción se reporta es por algunos hongos lamentosos (en particular en *Aspergillus niger*), es posible idéntica la actividad electroquímica del ánodo, precisando con este último los ensayos realizaron de allí la adsorción de enzimas extracelulares en el electrodo de grato esto usar como evidencia para lanzar una hipótesis.

La glucosa-oxidasa tiene un mecanismo de reacción que consiste en dos etapas:

- primero la oxidación de la Glucosa
- seguido de la reducción del peróxido de hidrogeno,

de la siguiente Forma:

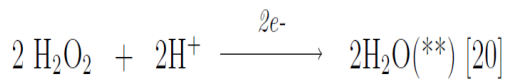
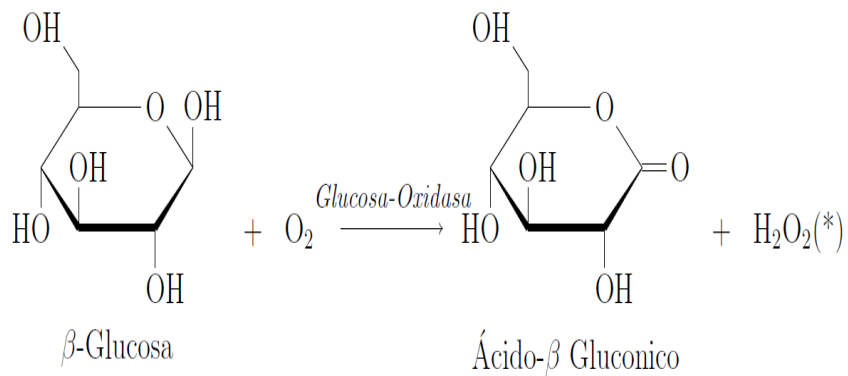
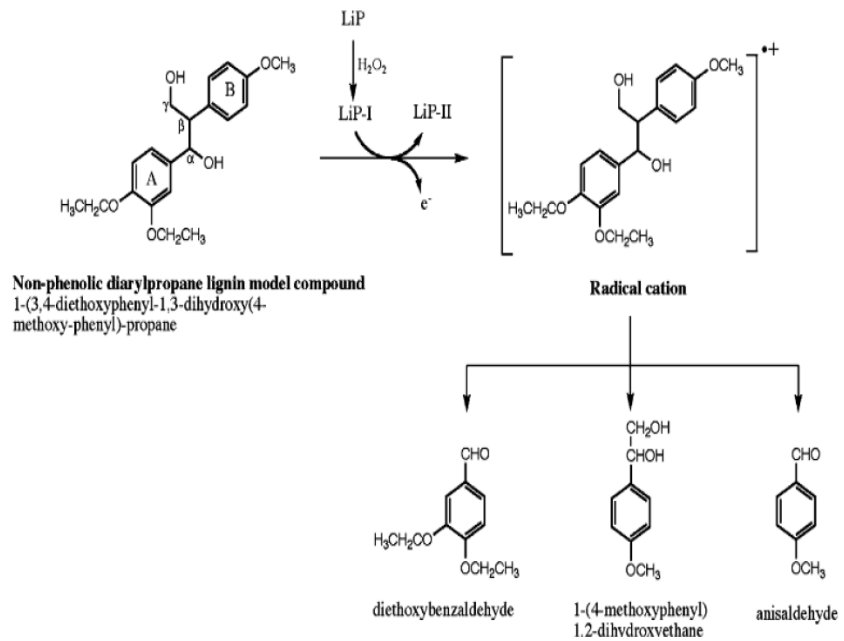


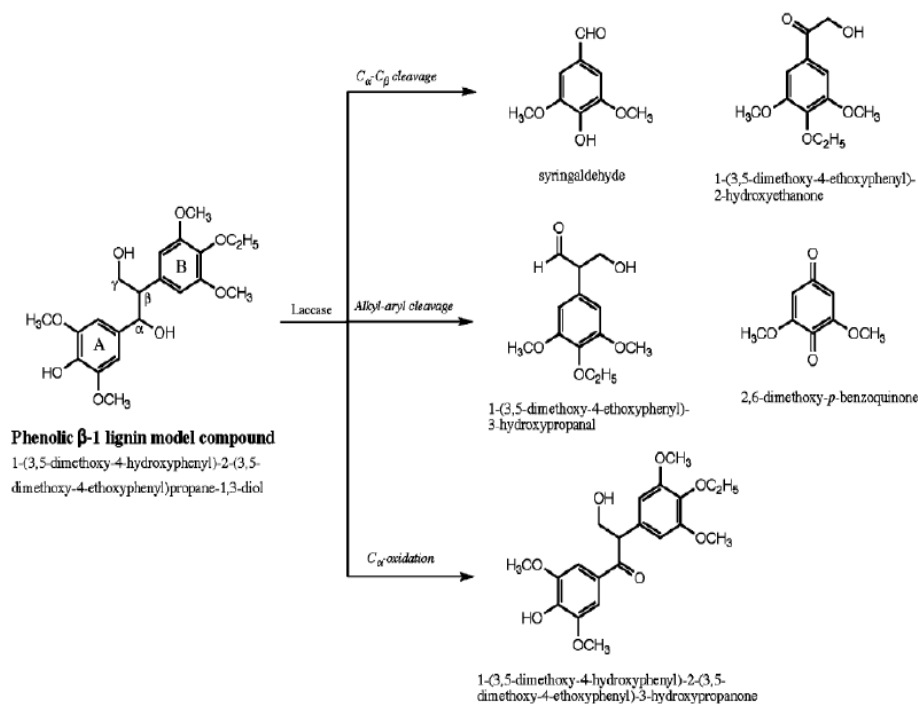
Figura 7: El mecanismo de reacción para glucosa-oxidasa

Fuente: (Velez, 2012, pág. 10)

La degradación ligninolítica con respecto a las enzimas de en la figura 7 se muestra la reacción un esquema general.



(a) Lignina Peroxidasa



(b) Lacasa

Figura 8: Mecanismos Enzimas Ligninolíticas de Reacción

Fuente: (Velez, 2012, pág. 11)

Es factible pensar en la dependencia de estas enzimas con el O_2 que es un buen receptor de electrones, ya que hipotéticamente hablando es factible el alto grado conductividad, ya que gracias a estos electrones libres ubicados en el citocromo es posible el transporte. (Velez, 2012, págs. 9-12)

2.4.7. Condiciones de operación.

Se reconoce que determinadas condiciones de operación ayudan a la generación de energía debido a la alta sensibilidad de los microorganismos como componentes y en la solución electrolítica, que cambian su composición y las condiciones de las propiedades en función. Las principales de inmensa variedad que se han podido identificar en los estudios son: resistencias externas e internas, aireación artificial en la cámara del cátodo, tiempo de operación de la celda, fuerza iónica de las soluciones de las cámaras, tasa de alimentación, demanda química de oxígeno solución alimentadora

presente, pH, las soluciones llevadas a la agitación mecánica y temperatura. (Pineda, 2016, pág. 120)

a) Aireación forzada del cátodo y concentración de oxígeno disuelto.

Eventualmente usada en investigaciones referidas a CCM's de doble cámara, donde demandaron su implementación, en el diseño de CCM's de flujo vertical cilíndrico, donde se utilizó una bomba en la cabina del cátodo para llevarse a cabo la aireación fue forzada, donde en aireación ausencia indica la difusión primaria no permite en el cátodo el desarrollo de las reacciones redox por la insuficiente oxigenación.

Puede afirmarse en términos generales que la aireación forzada en el cátodo mejora el desempeño de las CCM's, y ayuda a incrementar la concentración de oxígeno cerca de la cabina catódica, en la mayoría de sistemas es ideal como el aceptor de electrones por su elevada disponibilidad, elevado potencia redox y bajo costo, no se aceptan el ferrocianuro de potasio u otros en los sistemas aceptores finales de electrones, y tampoco como objetivo la remoción de contaminantes orgánicos suele emplearse en otros sistemas que no tengan electrodos en medio acuoso, podría llegar a ser un factor limitante por la baja solubilidad en la concentración de oxígeno. (Pineda, 2016, págs. 121-122)

La relación entre la generación de energía y la concentración de oxígeno disuelto se ha descrito mediante la ecuación de Monod (Du, y otros, 2007) planteada de la siguiente manera:

$$P = \frac{P_{\max}DO}{K_{DO} + DO}$$

P= Potencia

P_{\max} = Potencia máxima

DO= Concentración de Oxígeno Disuelto

K_{DO} = Constante media de saturación

En la ecuación mostrada, no se encuentran documentos actuales donde se vea la adecuación para las CCM y que permitan verificar,

actualmente las investigaciones dan de conocimiento que se puede permitir describir la relación entre las dos variables.

En la cámara anódica se puede difundir el oxígeno, lo cual es negativo ya que este puede actuar como el sumidero de los electrones y afectar el desempeño de la celda, al emplearse en la oxidación del sustrato, impidiendo que no lleguen al ánodo, dando como consecuencia las pérdidas del sustrato en la cámara anódica, por esta razón se ve a necesaria la presencia de un material separador.

Para un mejor desarrollo de la celda se debe generar modelos matemáticos mejores que permitan predecir y estimar lo susceptible que son las CCM en las pérdidas de energía, considerando parámetros como los coeficientes de transporte de oxígeno, también teniendo la difusión del oxígeno en la cámara anódica con respecto a las membranas empleadas. (Pineda, 2016, pág. 122)

b) Modo y Tiempo de Operación.

En la operación de les CCM's suelen operarse bajo dos modos de alimentación: modo Batch viniendo a ser aquellos procesos donde "el principio del proceso es la alimentación y después de un tiempo posterior el contenido es removido". En CCM's, suele aplicarse de esta manera, viniendo a ser construida y ser suministrada por un sustrato, que con el mismo sustrato es operada posteriormente, llega hasta un valor máximo de potencia y luego empieza a descender, alcanzando valores por debajo de lo necesario, la membrana y el sustrato en la mayoría de los casos es reemplazado por uno nuevo y fresco operado de la misma forma; se les denomina a estos procesos como un ciclo Batch y se denomina ciclo de operación, en el modo Batch donde se distingue el tiempo total de operación, hasta el cese completo del funcionamiento de la celda puede abarcar numerosos ciclos de operación.

Las celdas de combustible microbianas, utilizan este tipo de operación siendo el más común en pudiéndose operar desde 6 a 40

días, aplicarse para estos periodos de duración operación, pudiendo ser de una operación de hasta 300 días, aunque pueden ser tiempos mayores e incluso varios meses.

Este modo ayuda a una mayor estabilidad del sistema a largo plazo de operación ayudando así a que el estudio de parámetros específicos de la celda tenga una mejor operación.

Al utilizar Batch el modo de operación nos permite desestimar los cambios de concentración y la influencia que generan los microorganismos del producto del metabolismo del sustrato, para obtener datos contundentes que permitan evaluar de forma específica, y objetivo de los estudios que se generen otras variables. Los procesos de inversión del voltaje pueden verse influenciadas por la operación de la las CCM. Donde se vio la influencia de la operación en modo BATCH realizaron experimentos alrededor del sistema continuo de la CCM's apilada

Cuando se operaba en modo de flujo continuo, el sistema producía potencia continua y todos los voltajes celulares se mantenían positivos. (...) Cuando el sistema funcionó en modo de alimentación discontinua, los voltajes de células positivas se mantuvieron en ambas células solo al comienzo de cada ciclo

Es importante evidenciar que la operación de las CCM no está especificada en algunos documentos, en la estabilidad del sistema no se evalúa de manera explícita la función del tiempo en la mayoría de los estudios, para aplicaciones prácticas y tener una idea general de la capacidad de las CCM's los lectores pueden extraer una idea, los experimentos que se realizarían con la capacidad de generar potencias estables en el mayor tiempo posible, solo mediante la delimitación del contexto temporal claro, y así poder inspirar investigaciones para evaluar y desarrollar CCM's. (Pineda, 2016, págs. 123-124)

c) Fuerza iónica y concentración de sales.

Este es adoptado por el concepto de Debye-Huckel sobre la fuerza iónica, se expresa concentración de los iones y el efecto de la solución, constituyendo una solución en medida del medio eléctrica, definida como sigue a continuación:

$$\mu = \frac{1}{2} \sum (C_1 Z_1^2 + C_2 Z_2^2 + C_3 Z_3^2 + \dots)$$

μ = Fuerza iónica de la solución

C_i = Concentración del ion i ($\frac{g}{L}$)

Z_i = Valencia iónicas respectivas

En las Celdas de Combustible Microbianas el término de fuerza iónica ha sido aplicado en escasos documentos, donde se identifica que en la cámara catódica puede extrapolarse a la solución y generar la disminución de la resistencia total de la CCM's, lo cual también debido a que "La reducción de RCAT es probablemente atribuible al aumento del transporte de protones al cátodo, similar a la observada para aumentar el caudal de circulación del fluido anódico"

En su mayoría los estudios evalúan el periodo de operación de sus variaciones en función a lo largo del trabajo y de la naturaleza de los iones o bien mediante la medición de la conductividad de las soluciones en el desempeño de las CCM's el efecto de la concentración de los iones, y así las altas concentraciones de sales suele aceptarse en general que de las en la solución del cátodo, permitiendo mejores desempeños obtenidos, facilitan entre cationes la transferencia entre las cámaras, sin embargo también se ha afirmado que "dado que el rendimiento del MFC depende del crecimiento microbiano la adición de sal en la cámara del ánodo está limitada por la tolerancia del microorganismo a la fuerza iónica de la solución."

Las aguas residuales reales se emplean como sustrato en una cantidad considerable de los estudios en los que en la mayoría de

los casos no se evalúa la influencia de estos parámetros, la resistencia al transporte es importante para determinar la influencia de los iones en la solución electrolítica y debido a la precipitación también posibilita a que la membrana separadora pueda reducir la vida útil de la misma. (Pineda, 2016, pág. 125)

d) pH.

En el sistema CCM's existen diferencias entre las cámaras anódicas y catódicas de pH, aunque cambio de H teóricamente no habría siempre en cuando del cátodo la velocidad de reacción de oxígeno, protones, electrones son iguales a la producción en el ánodo de protones, teniendo en consideración la barrera que causa la membrana de intercambio de protones en el transporte de protones a través de la membrana, son más lento el transporte y producción en el ánodo y la velocidad y consumo en el cátodo en la etapa inicial de la operación de la MFC, de esta manera se obtiene la diferencia de pH. (Falcón, Lozano, & Juárez, 2006, pág. 66).

Este fenómeno es causado a que en la cámara anódica se da la acumulación de protones, pudiendo inhibir la actividad microbiana debido a la disminución del pH, finalmente en las soluciones alimentadoras del ánodo o el cátodo puede incluso la precipitación de compuestos presentes o conducir la disminución de la solubilidad. Los iones H⁺ en mayor concentración están en el ánodo y la menor concentración en el cátodo, la resistencia al transporte de protones puede reducir por la presencia de un gradiente positivo, los gradientes negativos de pH pueden generarse de igual forma, caso donde la resistencia ayudaría al incremento en forma considerable mediante, como lo demuestra la siguiente ecuación que describe tal comportamiento:

$$R_{\Delta pH} = \frac{\left(\frac{RT}{F}\right) \ln(10^{(pH_{cat} - pH_{an})})}{i}$$

R_{ΔpH}= Resistencia del pH

pH_{cat}= pH del cátodo

$pH_{an} = pH$ del ánodo

$i =$ Densidad de la corriente por área de la membrana

Se aplica el siguiente principio para poder controlar entre las cámaras los gradientes de pH: al introducir la solución fresca a la cámara anódica, por la liberación de los derivados del metabolismo microbiano esta se acidificará de protones, los protones en las reacciones redox ascenderá como resultado del empleo la solución anódica y esta pasara a través de la cámara hasta el cátodo en donde el pH libera iones OH^- y como resultado, a la cámara anódica pasa la solución más alcalina nuevamente, neutralizando la acidez existente. (Pineda, 2016, págs. 127-128)

e) Resistencia Externa.

Permite el flujo libre de los electrones a través del circuito externo la reducción de estas resistencias la cual se reconoce que a más baja resistencia en la CCM's y si está en viceversa más alta la corriente se genera. La resistencia externa se emplea para el control de la corriente producida en circuitos en generales. En casi todos los estudios de CCM's con circuitos cerrados, se emplearon resistencias externas que rodean los 1000Ω , se utilizan para garantizar el correcto funcionamiento del sistema para evitar fenómenos tales como. corto circuitos.

Se ha explorado en algunos estudios la estrategia denominada Teorema de Máxima Transferencia de Potencia propuesta por Molitz von Jacobi el empleo de la estrategia ajusta la resistencia externa implementada a la resistencia interna del sistema, "La potencia de un generador real transferencia su máximo a un elemento pasivo cuando este tiene lugar el elemento pasivo presente en una resistencia igual a la resistencia interna del generador" (Pineda, 2016, pág. 131)

c) Resistencia Interna.

Falcón, Lozano, & Juárez, 2006 asegura que la resistencia interna puede considerarse como la suma de todas las pérdidas internas de

las Celdas de Combustible Microbianas (CCM's), estas pérdidas de acuerdo a: Pérdidas Óhmicas, Pérdidas por activación y Pérdidas por concentración las pérdidas anteriormente se miden con la ecuación matemática que permite determinar el voltaje obtenido de la CCM:

$$E_{celda} = E_c - \eta_{act,c} - \eta_{conc,a} - E_a - \eta_{act,a} - \eta_{conc,a} - \eta_{ohm}$$

En donde:

E_c y E_a = Potenciales a circuito abierto para el cátodo y el ánodo, respectivamente.

$\eta_{act,c}$ y $\eta_{act,a}$ = Perdidas por la transferencia de carga para el cátodo y el ánodo respectivamente

$\eta_{conc,e}$ y $\eta_{conc,a}$ = perdidas de concentración para el cátodo y el ánodo, respectivamente.

η_{ohm} = Perdidas óhmicas.

En la mayoría de los casos se enfocan en los distintos componentes de la CCM que contribuyen a la misma y por lo general en los estudios que se evalúan la resistencia interna de las celdas, es decir resistencia del ánodo, cátodo, electrolitos y membrana de intercambio de iones son los más evaluados comúnmente; no se puede establecer de forma exacta las causas que generan fluctuaciones en la resistencia ya que son muy variables en cada CCM's de estudio y qué tipo de pérdidas predominan o que compartimento de la celda aporta la mayor resistencia para las CCM's en general. En los primeros días se ve el crecimiento de la comunidad microbiana, en este periodo suele darse la aclimatación debido a esto las operaciones pueden indicar algunos estudios que la resistencia en el ánodo puede verse incrementada, la cámara anódica también pueden encontrarse elevadas pérdidas por activación y baja fuerza iónica de la solución con la que se alimenta, son los principales factores la disponibilidad del sustrato para la acción microbiana que se han encontrado la presencia de sumideros de electrones en la solución electrolítica del ánodo,.

Puede cobrar relevancia la resistencia del cátodo conforme avanza el tiempo de operación de la CCM posteriormente e incluso antes, lo cual la membrana y el cátodo de aire intervienen como es debido a la acumulación de cationes y de sales en la capa de agua. la configuración de la celda también puede ser un factor relevante, en cuanto baja difusión en medio acuoso, del oxígeno a su forma y tipo de conexión, y tipo de aceptor terminal de electrones.

Se considera que la resistencia interna como objeto de estudio, aunque por lo general aporta a la membrana siendo menor que la aportada por el ánodo o el cátodo, esta puede estar relacionada con su permeabilidad, coeficiente de difusión y contaminación biológica a la que es susceptible son los que se han identificado hasta el momento.

Tabla 4

Parámetros de resistencia y capacidades del ánodo en tres configuraciones de celdas de combustible microbianas.

CCM	Inoculo	Resistencia del ánodo (Ω)	Temperatura ($^{\circ}\text{C}$)	Capacidad del ánodo (mF)
CCM1	Lodos anaerobios	1600-1700	25	3,29
CCM2	Lodos anaerobios	818	25	8,59
		1573	0	7,14
CCM3	Cultivo mixto	1,5 - 3	25	90 - 120

Fuente: (Pineda, 2016, pág. 135)

En tabla se percibirse entre la resistencia del ánodo y la capacitancia una correlación inversa, con el análisis llevados a cabo por el grupo investigador de la correlación de Pearson, confirmando lo anteriormente observado, principalmente cuyo incremento mejora la formación y adhesión de la biopelícula y que la resistencia es fuertemente dependiente del área superficial del electrodo y de la

temperatura, la capacitancia del ánodo la cual se relaciona en gran parte. (Pineda, 2016, págs. 132-135)

d) Temperatura.

El sistema se fundamenta en la actividad metabólica de microorganismos anaerobios, siendo la temperatura el parámetro más relevante en las CCM's, dado que, la temperatura entre 25 - 40 °C las cuales en general son activos. Los experimentos se realizan por lo general entre temperaturas comprendidas en un rango de 30 y 25 °C en ambientes controlados. Para el desarrollo de la actividad catalítica y el crecimiento microbiano es necesario la obtención de condiciones óptimas para su desarrollo, la temperatura de la CCM es primordial en el ajuste correcto de la temperatura, por esto, cuando esta variable incrementó la temperatura desde los 35 °C a los 45 °C y observó una disminución en el rendimiento de la celda. A partir de la operación de CCM's de dos y una cámara bajo condiciones idénticas, se realizaron de la influencia análisis sistemáticos, en las celdas de combustible microbianas en operación la temperatura, alimentadas con agua cervecera industrial residual diluida en agua doméstica residual, examinando entre los 4 °C y 35 °C su respuesta a siete valores de temperatura; teniendo expresados en términos de voltaje y corriente los resultados, demostraron que tanto para las CCM's de cámara doble la más baja temperatura, 96 y 118 mV a la más alta en comparación con la de cámara única 3 y 29 mV para la celda; con el aumento de temperatura la generación de energía eléctrica mejoró.

La tendencia del comportamiento de la temperatura en la CCM es aceptada entre los investigadores ampliamente; como indica con la temperatura la actividad incrementa los microorganismos del ánodo es igual la forma estructura de la población microbiana en la proporción y la distribución que está relacionada con los nutrientes también es dependiente de esta variable, los incrementos de temperatura hacen que las tasas de reacción químicas aumenten y

por último, la conductividad puede aumentar a razón de 2%/°C del electrolito pudiendo verse afectada en la misma concentración de la solución.

El efecto de la temperatura ambiente y sus variaciones naturales contemplado dentro de la evaluación de la temperatura sobre la generación de energía se expuso una CCM's de doble cámara a una temperatura ambiente inicial entre las temperaturas de 20 a 35 °C, la que disminuyó de 8 a 22 °C por la temporada de invierno, permitió observar a través de una resistencia de 50 Ω que el voltaje máximo estuvo en un promedio de 40 mV, el que aproximadamente se elevó a 70 mV, en el rango de menor temperatura durante la operación, favoreciendo con una eficiencia coulombica (EC) de funcionamiento por la menor temperatura, ya que mayor temperatura a 5% para el menor rango esta aumentó de 1,5%, por lo cual, "debido a la disminución de la utilización del sustrato por parte de los metanógenos, una mayor fracción del sustrato estaba disponible para la población electrógena y resultó en un aumento de la corriente y la CE". Al disminuir las temperaturas las comunidades microbianas se ven reducidas; sin embargo, el proceso de aclimatación ayuda a la recuperación de los niveles de energía eléctrica debido a la biopelícula,

Esta capacidad obligo a varios investigadores a establecer que los descensos de temperatura pueden reducir la cantidad de energía generada llevado a poder decirse que no hay cambios de temperatura irreversibles que generen efectos negativos, las comunidades microbianas se adaptan frente a estas variaciones, ya que pueden ser restablecidas una vez que la temperatura de la CCM's vuelva a su estado original; no obstante, se tiene que ver los límites de la capacidad de adaptación de la biopelícula requiriendo también que se estudien esto, considerando el tiempo en el que pueden ser expuestas a condiciones poco favorables, sin que se vea permanente la alteración de producción de energía.

Sin un control riguroso de la temperatura interna es fundamental para lograr avanzar estos sistemas realizar la adaptación en espacios abiertos, y así lograr la apropiación eficiente de esta tecnología reconociendo la inocuidad e incluso las bajas temperaturas ambientales como ventajas sobre la CCM's. (Pineda, 2016, págs. 135-136)

CAPÍTULO III

3. PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

3.1. Metodología

Para esta investigación se construyó la celda de combustión microbiana, con su respectiva instalación eléctrica y tuberías para su funcionamiento.

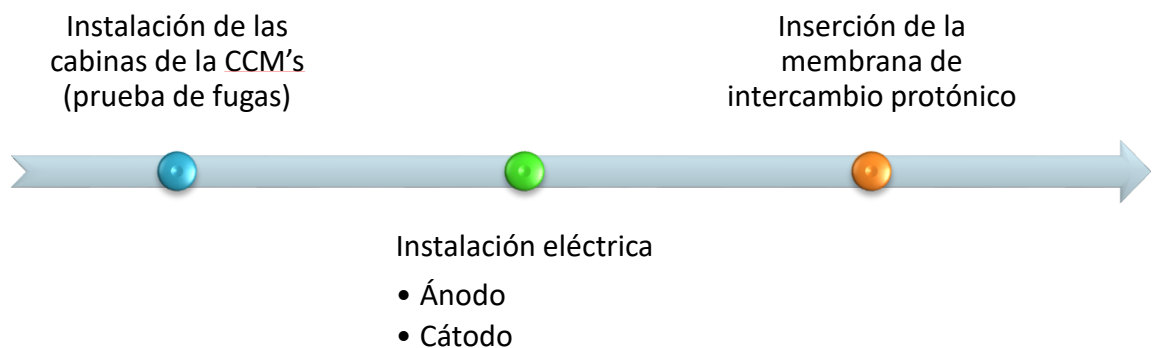


Figura 9: Proceso de construcción de la CCM's

Fuente: Elaboración propia

Seguido de esto se realizó el cultivo e identificación de la bacteria a utilizar para el proceso del tratamiento del agua residual de la Universidad Alas

Peruanas.

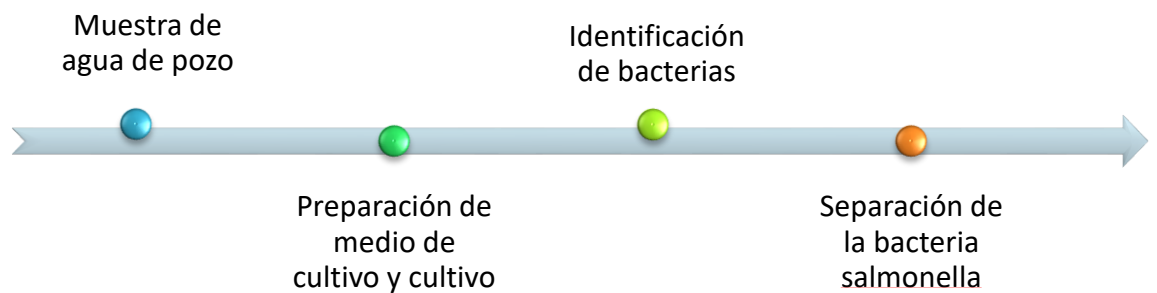


Figura 10: Proceso de cultivo bacteriológico

Fuente: Elaboración propia

El punto de muestreo se ubicó en el colector entre el pabellón B y A de la Universidad Alas Peruanas, realizando las medidas de seguridad, se procederá al recojo de muestras, etiquetado y traslado para el posterior tratamiento.

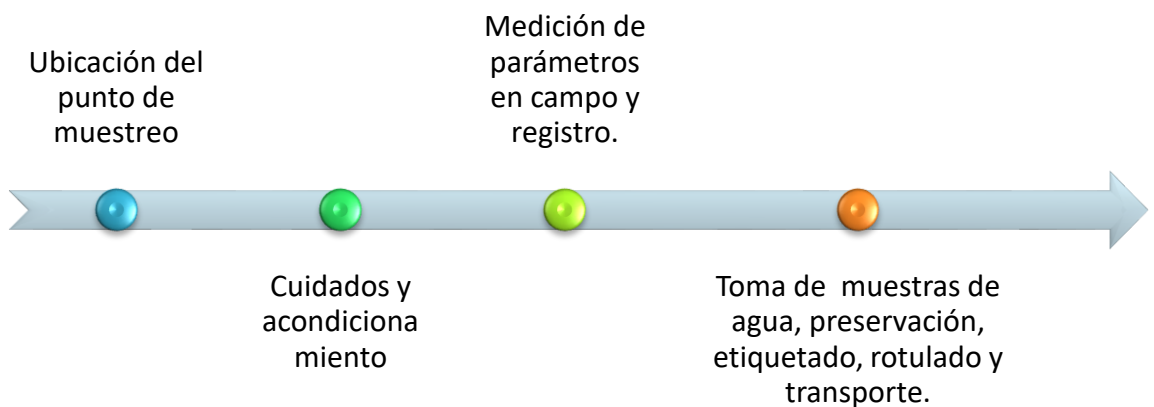


Figura 11 : Proceso de recojo de muestras

Fuente: Elaboración propia

El tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas se vertió a la cámara anódica de la celda de combustión microbiana mientras que en la cámara catódica se vertieron aguas limpias estas sin previo tratamiento para el consumo humano, se procede a esperar en el tiempo establecido en la investigación, para el análisis y contrastación resultados.

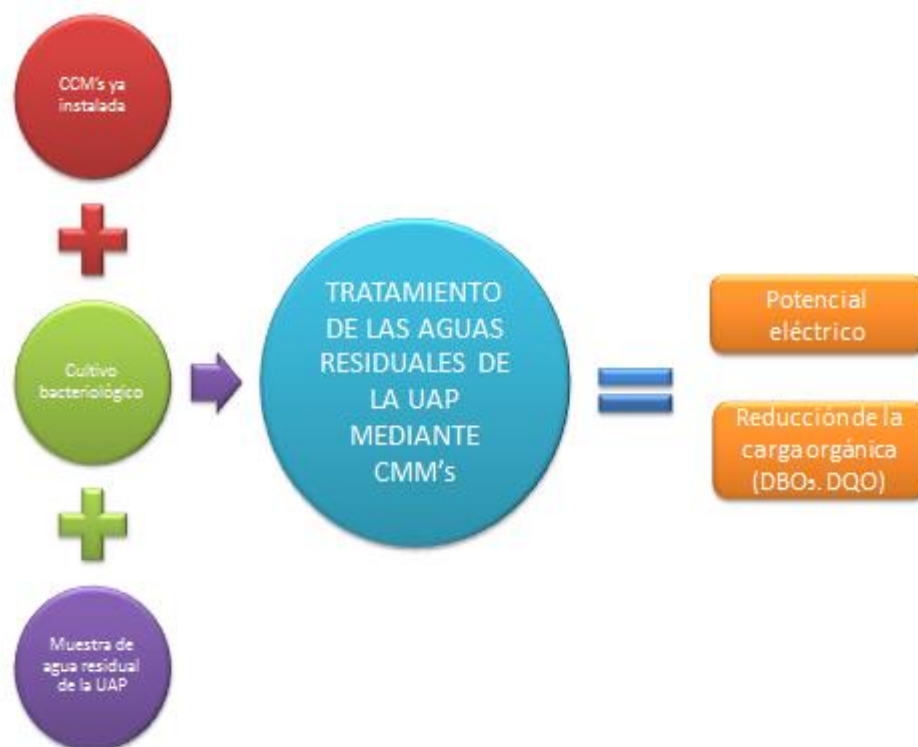


Figura 12 : Proceso de tratamiento de aguas residuales mediante CCM's

Fuente: Elaboración propia

3.1.1. Método

La metodología empleada a la investigación es científica ya que se encuentra acorde, donde se da la comparación de las mediciones del comportamiento de un grupo de observación, con las mediciones del grupo experimental. Las variables dependientes son las que se desean medir, siendo este el objetivo del estudio de investigación y las variables independientes son con las que se desea desarrollar los resultados. También, las variables que puedan intervenir en el estudio (variables extrañas).

3.1.2. Tipo de la investigación

La investigación se considera la investigación de tipo aplicada, en este tipo de investigación el investigador toma como prioridad las consecuencias prácticas de la investigación.

3.1.3. Nivel de la investigación

De acuerdo a la condición de la investigación, este agrupa todos los requisitos de un estudio explicativo, donde se busca la

explicación del porqué de los sucesos que ocurren y en condiciones se vienen dando y el hecho de la relación de variables.

3.2. Diseño de la investigación

La investigación, reúne todos los requisitos de un estudio experimental, y el diseño idóneo para el trabajo de variables es el diseño factorial, teniendo el modelo de ecuación lineal de Fisher.

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Siendo el tipo de prueba estadística descriptiva donde el propósito es la recolección, descripción y resumen del conjunto de datos obtenido a partir de los tratamientos de remediación que se utilizan en la presente investigación pidiéndose visualizar de manera numérica y gráfica.

Tabla 5

Recolección de datos

Factor	Niveles	
	Bajo (-)	Alto (+)
Resistencia Eléctrica	500 Ω	1000 Ω
Tiempo de operación	3 días	5 días

Fuente: Elaboración Propia

$$N^{\circ} \text{ pruebas} = m^k * r$$

Donde:

m = representa los niveles

k = representa a las variables independientes

r = representa las repeticiones o replicas.

Entonces:

$$N^{\circ} \text{ pruebas} = 2^2 * 3$$

$$N^{\circ} \text{ pruebas} = 12$$

Tabla 6

Total, de tratamientos realizados

N°	Resistencia Eléctrica	Tiempo de operación
1	1000 Ω	3 días
2	500 Ω	5 días
3	1000 Ω	5 días
4	500 Ω	3 días
5	1000 Ω	3 días
6	500 Ω	5 días
7	500 Ω	3 días
8	1000 Ω	5 días
9	1000 Ω	5 días
10	500 Ω	5 días
11	500 Ω	3 días
12	1000 Ω	3 días

Fuente: Elaboración Propia

3.3. Hipótesis de la investigación

3.3.1. Hipótesis general

- La celda de combustión microbiana degrada la materia orgánica y genera bioelectricidad de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo – 2018.

3.3.2. Hipótesis específicas

- Las características de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo 2018: DBO5 1350,2, mg/L, DBO 630 mg/L, pH 8,0,
- El tiempo de operación es de 5 días y resistencia eléctrica es de 500 Ω en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo - 2018.
- La remoción de carga orgánica de un 80% y la bioelectricidad de 6 V/ μ m en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo - 2018

- La relación es directamente proporcional entre el tiempo de operación, resistencia eléctrica y el porcentaje de remoción orgánica y potencia eléctrica generada de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo - 2018.

3.4. Variables

3.4.1. Variable independiente

- Tiempo de operación (día)
- Resistencia eléctrica (Ω)

Indicador

- Día
- Ohmios (Ω)

3.4.2. Variable dependiente

- Potencia eléctrica (V/uA)
- Degradación de materia orgánica (DBO5, DQO)

Indicador

- Watts o Vatio
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Demanda química de oxígeno

3.5. Cobertura del Estudio

3.5.1. Universo

El universo que se tomó en la investigación fue el agua residual de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo

3.5.2. Población

La población de la investigación fue el agua residual del colector ubicado entre el pabellón B y A de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo

3.5.3. Muestra

La muestra tomada en la investigación fue de 6 L de agua residual doméstica, teniendo una población finita.

$$n = \frac{Z^2 * N * p * q}{i^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q}$$

$$n = \frac{1,96^2 * 66 * 0,7 * 0,3}{0,1^2 * (66 - 1) + 1,96^2 * 0,7 * 0,3}$$

$$n = 36,551 L$$

Se presenta que la cantidad de muestra a utilizar es de 36 L, pero por cuestiones de accesibilidad en los colectores de agua residual de la Universidad Alas Peruanas, se trabajó con 6 litros de agua con tres repeticiones en cada combinación, presentada en la tabla 6, donde se pudo utilizar los 36 litros para la muestra trabajada. Donde el colector trabajado es del pabellón B, el que contiene mayor cantidad de carga orgánica por tener ahí los laboratorios de microbiología, estomatología, bacteriología, etc.; en comparación a los otros dos pabellones donde no se tuvo acceso para el muestreo del agua residual de los colectores.

3.5.4. Muestreo

Bernal (2006, pág. 167) afirma que el tipo de método probalístico, en donde se desarrollaría el muestreo aleatorio simple con el objetivo de tomar una muestra representativa establecidos del efluente a analiza en el punto de monitoreo, se realizar acciones que presentan a continuación.

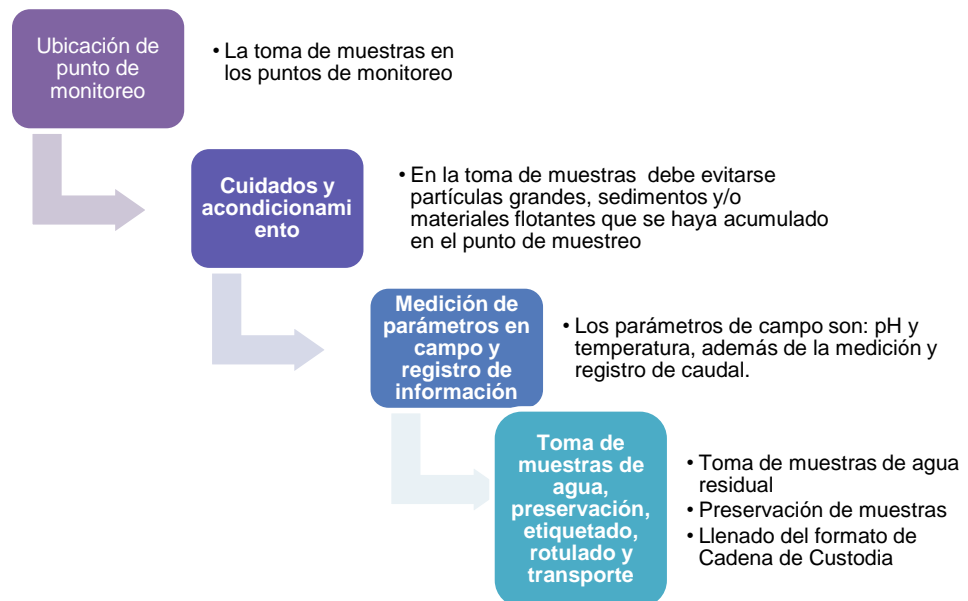


Figura 13: Muestreo de agua residual

Fuente: (Oficina de Medio Ambiente, 2013, págs. 9-11)

3.6. Técnicas e instrumentos

3.6.1. Técnicas de la investigación

En la presente exploración se utilizó la técnica de espectrofotometría en donde se puede establecer la relación $E=hf$ para los fotones, técnica de siembra de cultivos microbianos con el método de siembra por estrías en la placa.

3.6.2. Instrumentos de la investigación

Para realizar la investigación se requirió de multiparametro este instrumento mide el oxígeno disuelto, pH, ORP, conductividad y parámetros relacionados con la temperatura; multitester, instrumento eléctrica portátil para medir magnitudes galvánico activas, como fluido y potenciales (tensiones); pH metro está destinado a medir las particularidad de las sustancias que presentan gran interés para valorar el carácter ácido o fundamental de una sustancia; balanza analítica está diseñada para medir pequeñas masas; celda de combustión microbiana es un sistema en el que se emplea microorganismos para cambiar la energía química presente en un sustrato en energía eléctrica; microscopio es un instrumento que objetos que no pueden ser observados a simple vista, se nos permite observar objetos (objetos demasiado pequeños).; mechero de Bunsen Su temperatura oscila entre (800-900) °C. También se usaron insumos como Agar SS medio de cultivo selectivo y diferencial.

3.6.3. Fuentes

De acuerdo a la condición de la investigación, este reunió todos los requisitos de una fuente primaria, ya que los resultados son información generada o información directa.

Bernal, Metodología de la información, (2006, pág. 175) asegura que donde se origina la información, se obtiene información directa las viene a ser fuentes primarias, es decir de primera mano o desde el lugar de los hechos.

3.7. Procesamiento estadístico de la información

3.7.1. Estadísticos

Se utilizó el software estadístico SSPS-20, para los análisis de varianza se realizó mediante la distribución de F-Fisher, y Pearson para ver la correlación de las variables.

3.7.2. Representación

Las representaciones de la parte experimental se dieron por medio de reportes de laboratorios y gráficas, las relaciones de variables mediante ecuaciones lineales y análisis estadísticos según el software estadístico desarrollado.

3.7.3. Técnica de comprobación de la hipótesis

1. Análisis del Agua Residual de la Universidad Alas Peruanas.
2. Se empleó la distribución F-Fischer para analizar diferencia entre las varianzas.
3. Se empleó también el método de Sidak, donde este se compara los datos como si fueran independientes, lo que produce una aproximación conservadora de la tasa de error real.

CAPITULO IV

4. ORGANIZACIÓN, PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Resultados

La puesta en marcha de la Celda de Combustible Microbiano se llevó a cabo del 05 de mayo al 16 de julio de 2018, donde se realizó diferentes pruebas en base a las variables.

4.1.1. Configuración del diseño.

Para el diseño de la CCM's fue necesario evaluar el esquema básico del sistema, teniendo en cuenta el proceso interno de la celda, las dimensiones y materiales a utilizar.

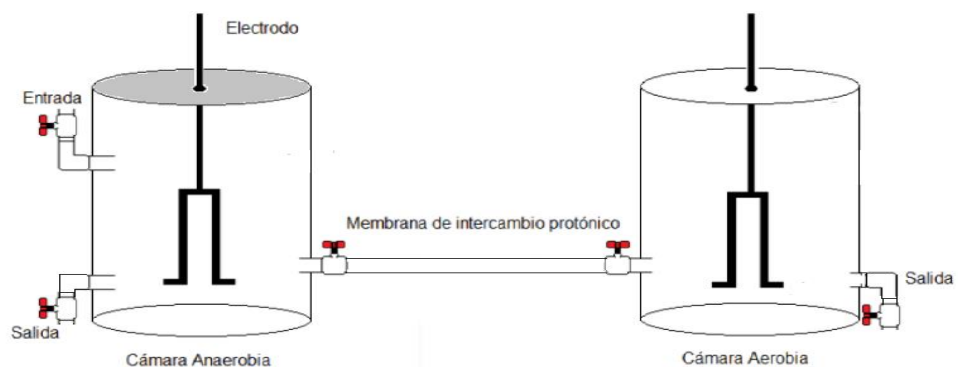


Figura 14. Esquema del diseño de la Celda de Combustión Microbiana CCM's

Fuente: Elaboración del ejecutor.

La celda de combustible microbiano fue elaborada a partir de recipientes de acrílico, los cuales hacían las veces de las cámaras anaerobia y aerobia, estas se encontraban conectadas por una tubería a una distancia de 25 cm. La cámara anaerobia fue cerrada herméticamente con una única entrada de agua residual en la parte lateral superior izquierda y con una salida en la parte inferior herméticamente cerrada para sacar la muestra a analizar, ambas controladas por medio de una válvula para evitar interferencia del oxígeno del ambiente, mientras que, la cámara aerobia se dejó abierto en la parte superior y con una salida en la parte inferior derecha para retirar el agua utilizada.

4.1.2. Caracterización del agua residual de la Universidad Alas Peruanas.

La presente es el resultado del análisis de las muestras a agua residual tomada en la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo. Las características de las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo con un resultado de DQO 630 mg/L, DBO₅ 1350 mg/L, pH 8,0, y estos resultados sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental DBO₅ 15mg/L, DQO 40mg/L en la categoría 3 Riego de vegetales y bebida de animales, considerando esta categoría porque las aguas residuales se vierten directamente al río Cunas sin ningún tratamiento previo.

4.1.3. Evaluación de la potencia eléctrica.

En el proceso de monitoreo de la CCM's se obtuvo los siguientes resultados, en donde se aprecia la variación de la potencia eléctrica resultado del voltaje y la intensidad de la corriente.

Tabla 7

Potencia eléctrica generada por día

DIAS	RESISTENCIA	
	500	1000
0	1.01522	1.82289
1	4.34944	5.21411
2	6.17356	9.11883
3	7.59889	10.26722
4	11.78706	11.84161
5	16.41256	14.72017

Fuente: Elaboración del ejecutor

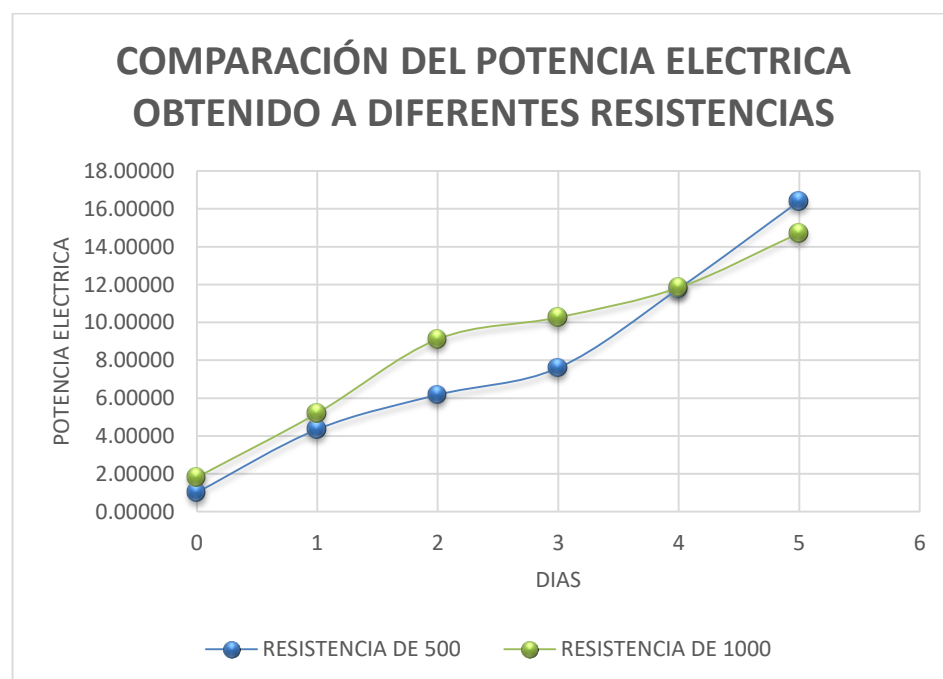


Figura 15: Potencia eléctrica generado en el tiempo de ejecución.

Fuente: Elaboración del ejecutor

En el grafico se ve el crecimiento de la potencia eléctrica por día, donde se aprecia que la resistencia de 500 Ω va en aumento, en comparación con la resistencia de 1000 Ω que decrece, esto se debe a que las bacterias degradan la materia orgánica al mismo ritmo que la corriente acepta los electrones generados, entonces a mayor resistencia (mayor pase de electrones), las bacterias tendrán la libertad de degradar la materia orgánica, aumentar la

población y así llegar más rápido a la fase de muerte por los pocos nutrientes.

4.1.4. Evaluación de la concentración del DBO₅ y DQO.

La concentración de DBO₅ y DQO se tomó la muestra antes y después del proceso para ser llevadas al laboratorio para su respectivo análisis.

Tabla 8

Degradación de materia orgánica DBO

DIAS	RESISTENCIA CCM'S		
	DBO INICIAL	DBO FINAL	
		500	1000
3	252	16.2	18.2
	735	383	246
	177	78	42.3
	126	23.5	32
5	630	39	51.5
	174	24	27.3

Fuente: Elaboración del ejecutor

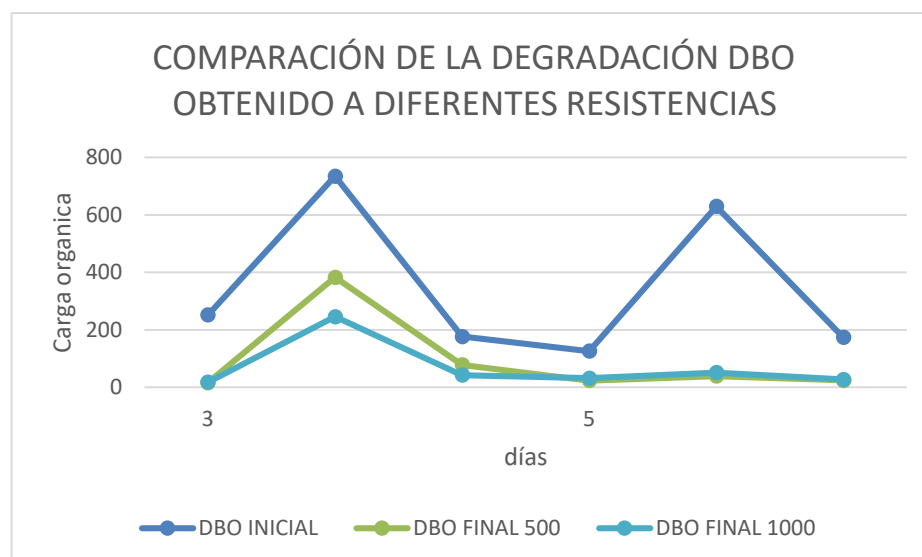


Figura 16: Degradación de Demanda Biológica de Oxígeno ejecutada.

Fuente: Elaboración del ejecutor

En el grafico se aprecia la degradación del DBO5 donde se aprecia mejores resultados en el quinto día de operación llegando a una degradación del 85%.

Tabla 9

Degradación de materia orgánica DQO

		RESISTENCIA CCM'S	
		DQO INICIAL	DQO FINAL
			500 1000
3		381	230 388
		776	660 483
		273	271 249
5		376	124.3 61
		1350	119 165
		492	102.3 80.3

Fuente: Elaboración del ejecutor

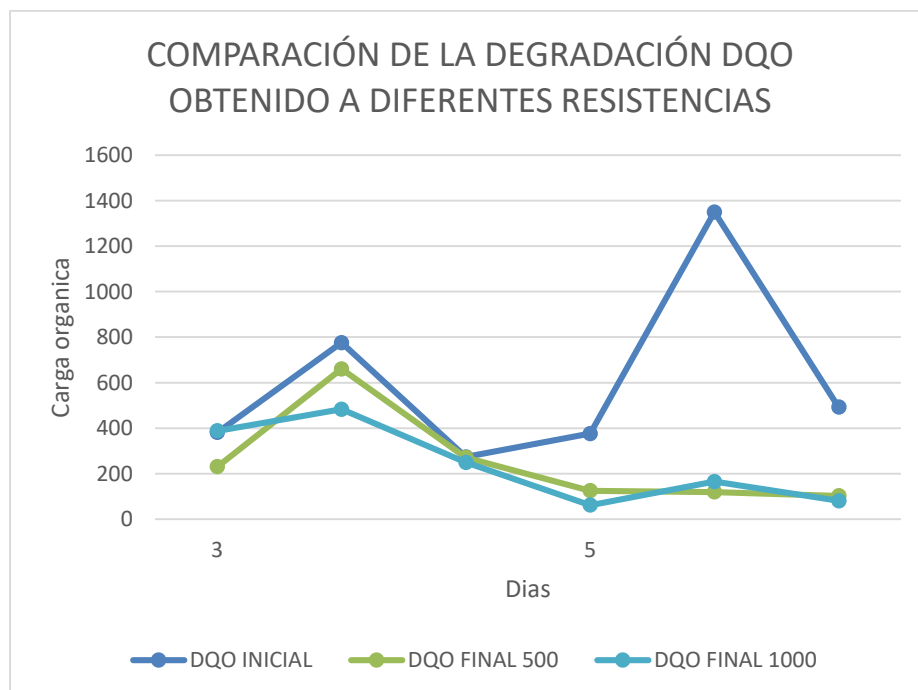


Figura 17: Degradación de Demanda Química de Oxígeno.

Fuente: Elaboración del ejecutor

En el grafico se aprecia la degradación del DQO donde se aprecia mejores resultados en el quinto día de operación llegando a una degradación del 82%.

4.1.5. Correlación entre DBO₅, DQO y Potencia eléctrica.

Para corroborar la correlación entre el DBO₅ y DQO se tuvo que extraer el resultado de las experimentaciones donde se verifico la máxima potencia eléctrica generada y los análisis realizados en la CCM's.

Tabla 10

Degradación de materia orgánica y potencia eléctrica generado

TIEMPO	% RED DBO		% RED DQO		POTENCIA	
	500	1000	500	1000	500	1000
3	93.57	92.78	39.63	0.77	8.14	10.63
3	47.89	66.53	14.95	37.76	7.83	9.43
3	55.93	76.10	0.73	8.79	6.83	10.74
5	81.35	74.60	66.94	83.78	18.94	16.72
5	93.81	91.83	91.19	87.78	15.79	13.65
5	86.21	84.31	79.21	83.68	14.51	13.79

Fuente: Elaboración del ejecutor

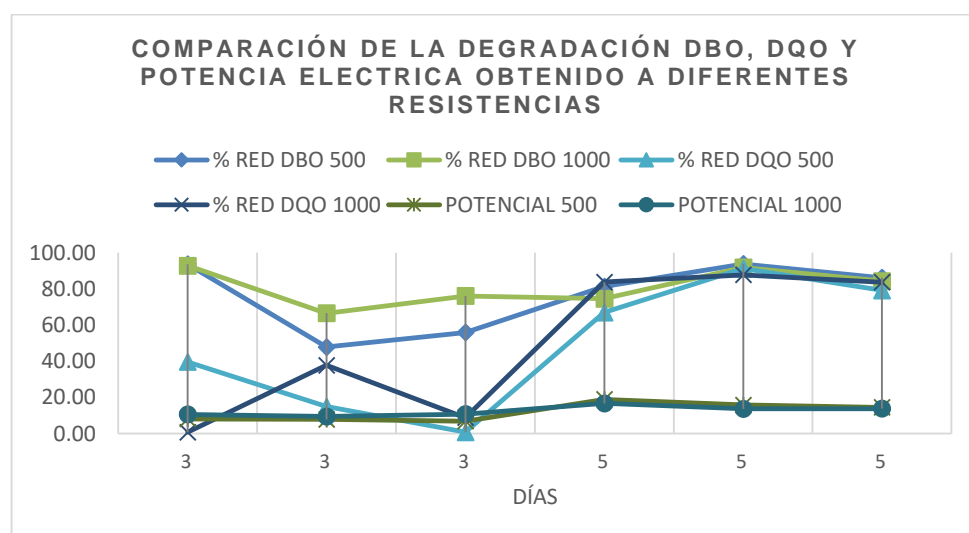


Figura 18: Comparación de la degradación del DQO, DQO y Potencia eléctrica obtenido con las resistencias trabajadas.

Fuente: Elaboración del ejecutor

En la figura 17, donde se ve la degradación del DBO en 93,8% y DQO en 91,1%, donde se ve que se alcanza los mejores resultados en el quinto día de operación con la combinación de 500 Ω . Donde la producción de potencia eléctrica alcanzo un máximo de 16.41 y 14.72 V/uA, con 500 Ω y 1000 Ω respectivamente.

4.2. Discusión de resultados

En objetivo de la investigación fue el de evaluar la degradación de sustancia orgánica y generación de potencia eléctrica en una CCM de acrílico alimentada con agua residual con volumen de 6 L, con cátodo estable y la resistencia externa fija 500 Ω y 1000 Ω , con un tiempo de operación de 3 y 5 días, obteniéndose los mejores resultados con la combinación de 5 días con resistencia de 500 Ω teniéndose un producción promedio de 6.37652778 V/uA, en comparación al desarrollado por Alvarez y P.J *Generación de una Electricidad a partir de una celda de combustible Microbiana tipo PEM* donde desarrollaron una Celda de Combustion Microbiana de vidrio con un volumen de 350 mL, la cabina del anodo fue buebujeando con N₂ para trasladar el O₂, teniendo un periodo de operación de 130 dias con una resistencia de 1000 Ω , el voltaje se sostubo en 0,88 \pm 0,17V en los primero 102 dias , mientras que depues de los 102 dias se mantuvo un intervalo de 80 \pm 20 μ A; los mejores resultados se obtuvieron en los pH 5,5 y 6,0; donde en ambos se observa que la produccion de potencia electrica es de uA, debido a la produccion de la CCM's ya que estos reactores son de poca generacion de bioelectricidad.

La degradación de materia orgánica fue de 87,8 % DBO₅ Y 80% DQO, con un voltaje de 16.41 V/uA en la CCM de acrílico alimentada con un volumen de 6 L, con un tiempo de operación de 5 días, en comparación al trabajo presentado por Buitrón y Pérez, titulado *Producción de electricidad en celda de combustible microbiana utilizando agua residual: efecto de la distancia entre electrodos*, en donde construyeron tres celdas de geometría semejante pero con diferente volumen, operadas en un ciclo de 0,97 días para la celda de 40 mL, 1,03 días para la celda de 80 mL y

5,93 días para la celda de 120 mL, obteniéndose como resultado la eliminación del 71% de la materia orgánica y un voltaje máximo de 660 mV. Donde el mejor resultado se obtiene a mayor tiempo de retención hidráulica como se presentó en el trabajo.

En el tratamiento utilizado trabajo con 6 L con un tiempo operativo de 5 días donde se obtuvo resultados de degradación del 80% de la materia orgánica, en comparación con la investigación de Baeza, Martínez, Guerrero, Ruiz & Guissola titulada *Bioelectrochemical hydrogen production from urban wastewater on a pilot scale* del 2017 donde trabajaron con 130L con tu tiempo de 22 días donde la eliminación de la materia orgánica fue aproximadamente 25%; obteniendo mejores resultados en el tratamiento utilizado en la investigación debido al tiempo de retención hidráulica que fue mayor a la de la investigación expuesta.

En comparación con la investigación presentado por Martinez, Herrer, Gutierrez Y Bello, 2015, titulado *Tratamiento de agua residual domestica mediante un reactor RAFA y una celda microbiana de combustible*, donde trabajando con un sistema acoplado RAFA-CMC logrando una remoción de 88% demanda química de oxígeno (DQO), 75% de carbono orgánico total (COT) y 79% de solidos suspendidos totales (SST), obteniendo mejores resultados en esta investigación porque la investigación trabajada se obtuvo el 80 % de remoción de carga orgánica, debido al sistema acoplado que tiene la investigación de antecedente.

4.3. Contrastación de Hipótesis

Procesamiento de la información recopilada por medio del Software IBM SPSS Statistics y Minitab ambos son un sistema diseñados para ejecutar funciones que ayuden al análisis estadístico básicas y avanzadas y la gestión de información capaz de trabajar con datos procedentes de generando distintos formatos.

a) Probabilidad

Para poder desarrollar la anova se procedió a realizar el grafico de probabilidad, para ver la normalidad del dato obtenidos

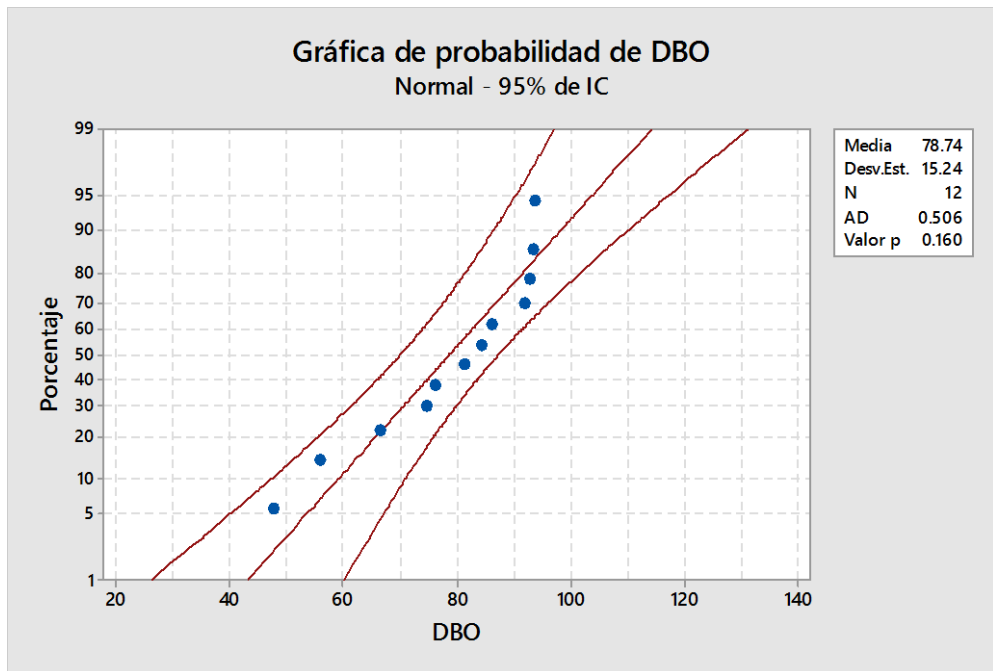


Figura 19: Probabilidad de DBO.

Fuente: Elaboración del ejecutor

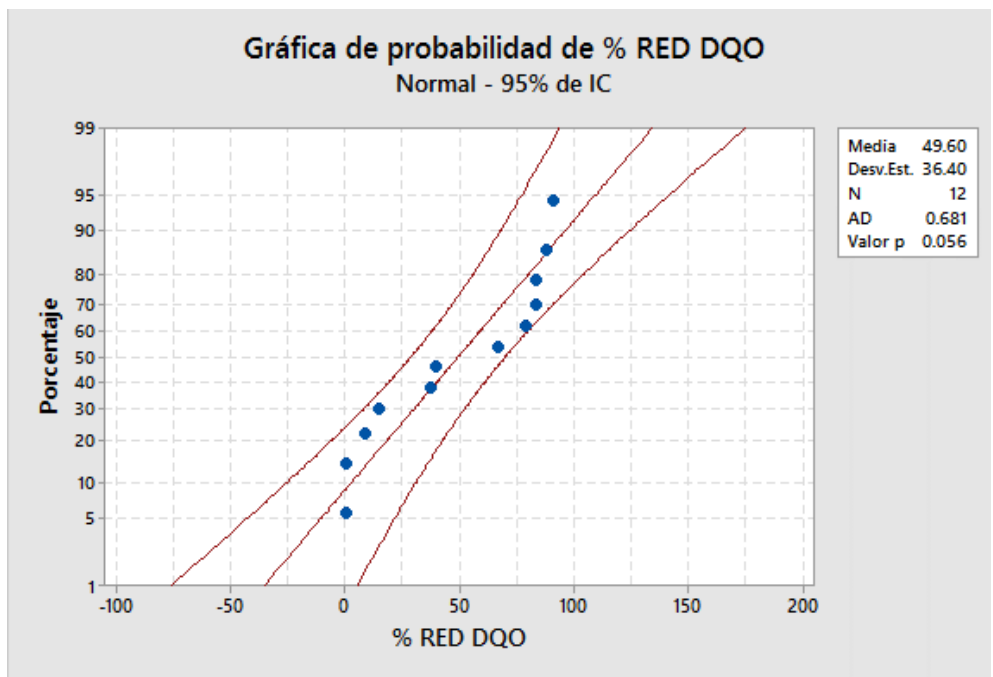


Figura 20: Probabilidad del DQO

Fuente: Elaboración del ejecutor

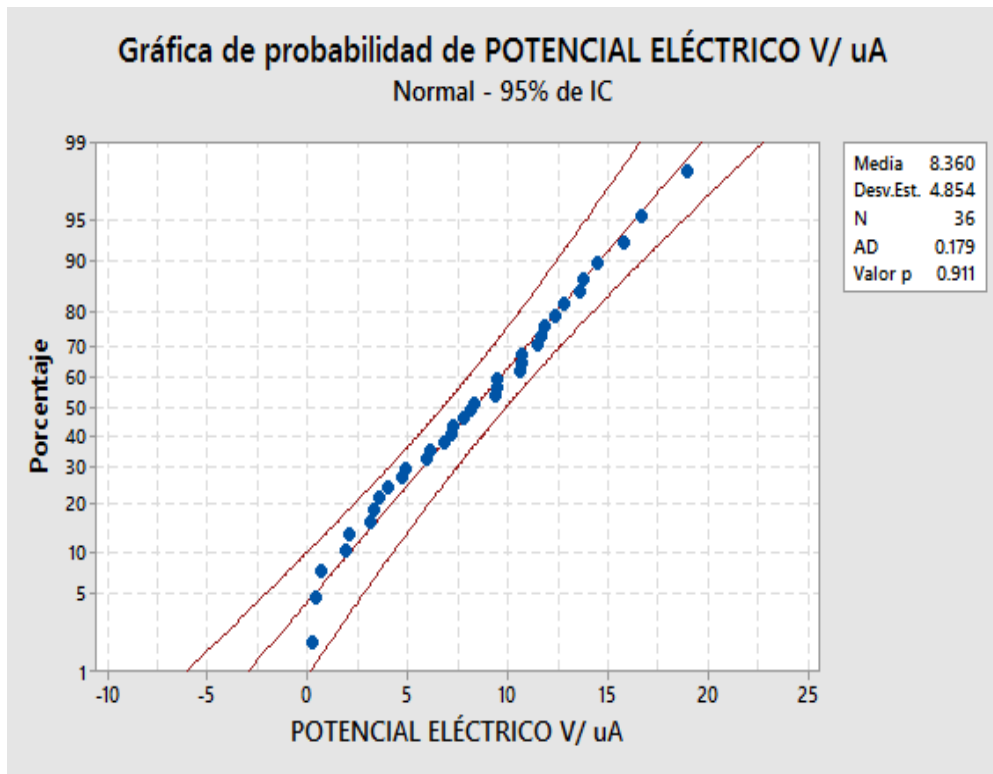


Figura 21: Probabilidad de potencia.

Fuente: Elaboración del ejecutor

En los gráficos se aprecia que DBO, DQO y Potencia aceptan la hipótesis nula donde se demuestra que es una distribución normal ya que superan la significancia del 0.05%, siendo 0.160, 0.056 y 0.911 respectivamente, teniendo una distribución normal siguiendo la línea ajustada.

b) Análisis de varianza

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tiempo	Fijo	2	3, 5
Resistencia	Fijo	2	500, 1000

Tabla 11

Análisis de Varianza DBO

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Resistencia	1	62.51	62.51	0.28	0.106
Tiempo	1	524.04	524.04	2.37	0.169
Resistencia*	1	197.17	197.17	0.89	0.373
Tiempo					
Error	8	1701.21	221.28		
Total	11	2553.93			

Fuente: Elaboración del ejecutor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tiempo	Fijo	2	3, 5
Resistencia	Fijo	2	500, 1000

Tabla 12

Análisis de Varianza DQO

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Resistencia	1	8.2	8.2	0.04	0.855
Tiempo	1	12670.9	12670.9	55.18	0.000
Resistencia*	1	55.9	55.9	0.24	0.635
Tiempo					
Error	8	1836.21	229.6		
Total	11	14571.9			

Fuente: Elaboración del ejecutor

Factor	Tipo	Niveles	Valores
Tiempo	Fijo	6	0, 1, 2, 3, 4, 5
Resistencia	Fijo	2	500, 1000

Tabla 13

Análisis de Varianza Potencia.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Resistencia	1	7.975	7.975	4.75	0.039
Tiempo	5	754.094	150.819	89.83	0.000
Resistencia*	5	22.117	4.423	3.63	0.049
Tiempo					
Error	24	40.294	1.679		
Total	35	824.480			

Fuente: Elaboración del ejecutor

En los análisis de varianza presentados solo se observa significancia en la potencia ya que este se observa que está dentro del valor de 5% aceptado en el anova de Fisher con el que se trabajó. En comparación de los otros resultados donde las variables son poco significativas, en el caso de DBO Y DQO, siendo solo en el DQO la variable tiempo la significativa, y no la interacción de las variables utilizadas en la investigación.

c) Comparaciones simultaneas

Tabla 14

Agrupar información utilizando el método de Sidak y una confianza de 95% del Potencia.

Resistencia*Tiempo	N	Media	Agrupación
500 5	3	16.4126	A
1000 5	3	14.7202	A B
1000 4	3	11.8416	B C
500 4	3	11.7871	B C
500 3	3	10.2672	C D

1000 3	3	9.1188	C D E
1000 2	3	7.5989	D E F
500 2	3	6.1736	E F
1000 1	3	5.2141	E F G
500 1	3	4.3494	F G H
1000 0	3	1.8229	G H
500 0	3	1.0152	H

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Fuente: Elaboración del ejecutor

En la tabla presentada se aprecia que las combinaciones 500 – 5 y 1000 – 5 comparte la letra A no siendo estadísticamente significativas, en comparación con la combinación 500-5 teniendo mayor significancia por tener mayor media de 500 – 0

Tabla 15

Diferencia de las interacciones de las variables empleadas.

Diferencia de TIEMPO *RESISTENCIA niveles	Diferencia de medias	EE de diferencia	IC simultáneo de 95%	Valor T	Valor p ajustado
(0 1000) - (0 500)	0.81	1.06	(-3.01, 4.62)	0.76	1.000
(1 500) - (0 500)	3.33	1.06	(-0.48, 7.15)	3.15	0.127
(1 1000) - (0 500)	4.20	1.06	(0.38, 8.01)	3.97	0.022
(2 500) - (0 500)	5.16	1.06	(1.34, 8.97)	4.88	0.003
(2 1000) - (0 500)	8.10	1.06	(4.29, 11.92)	7.66	0.000
(3 500) - (0 500)	6.58	1.06	(2.77, 10.40)	6.22	0.000
(3 1000) - (0 500)	9.25	1.06	(5.44, 13.07)	8.75	0.000
(4 500) - (0 500)	10.77	1.06	(6.96, 14.59)	10.18	0.000
(4 1000) - (0 500)	10.83	1.06	(7.01, 14.64)	10.23	0.000
(5 500) - (0 500)	15.40	1.06	(11.58, 19.21)	14.55	0.000
(5 1000) - (0 500)	13.70	1.06	(9.89, 17.52)	12.95	0.000
(1 500) - (0 1000)	2.53	1.06	(-1.29, 6.34)	2.39	0.449
(1 1000) - (0 1000)	3.39	1.06	(-0.42, 7.21)	3.21	0.114
(2 500) - (0 1000)	4.35	1.06	(0.54, 8.17)	4.11	0.016
(2 1000) - (0 1000)	7.30	1.06	(3.48, 11.11)	6.90	0.000
(3 500) - (0 1000)	5.78	1.06	(1.96, 9.59)	5.46	0.001
(3 1000) - (0 1000)	8.44	1.06	(4.63, 12.26)	7.98	0.000

(4 500) - (0 1000)	9.96	1.06	(6.15, 13.78)	9.42	0.000
(4 1000) - (0 1000)	10.02	1.06	(6.20, 13.83)	9.47	0.000
(5 500) - (0 1000)	14.59	1.06	(10.77, 18.40)	13.79	0.000
(5 1000) - (0 1000)	12.90	1.06	(9.08, 16.71)	12.19	0.000
(1 1000) - (1 500)	0.86	1.06	(-2.95, 4.68)	0.82	0.999
(2 500) - (1 500)	1.82	1.06	(-1.99, 5.64)	1.72	0.840
(2 1000) - (1 500)	4.77	1.06	(0.95, 8.58)	4.51	0.006
(3 500) - (1 500)	3.25	1.06	(-0.57, 7.06)	3.07	0.148
(3 1000) - (1 500)	5.92	1.06	(2.10, 9.73)	5.59	0.000
(4 500) - (1 500)	7.44	1.06	(3.62, 11.25)	7.03	0.000
(4 1000) - (1 500)	7.49	1.06	(3.68, 11.31)	7.08	0.000
(5 500) - (1 500)	12.06	1.06	(8.25, 15.88)	11.40	0.000
(5 1000) - (1 500)	10.37	1.06	(6.56, 14.19)	9.80	0.000
(2 500) - (1 1000)	0.96	1.06	(-2.86, 4.77)	0.91	0.998
(2 1000) - (1 1000)	3.90	1.06	(0.09, 7.72)	3.69	0.042
(3 500) - (1 1000)	2.38	1.06	(-1.43, 6.20)	2.25	0.531
(3 1000) - (1 1000)	5.05	1.06	(1.24, 8.87)	4.78	0.003
(4 500) - (1 1000)	6.57	1.06	(2.76, 10.39)	6.21	0.000
(4 1000) - (1 1000)	6.63	1.06	(2.81, 10.44)	6.26	0.000
(5 500) - (1 1000)	11.20	1.06	(7.38, 15.01)	10.59	0.000
(5 1000) - (1 1000)	9.51	1.06	(5.69, 13.32)	8.99	0.000
(2 1000) - (2 500)	2.95	1.06	(-0.87, 6.76)	2.78	0.247
(3 500) - (2 500)	1.43	1.06	(-2.39, 5.24)	1.35	0.963
(3 1000) - (2 500)	4.09	1.06	(0.28, 7.91)	3.87	0.028
(4 500) - (2 1000)	2.67	1.06	(-1.40, 6.74)	2.52	0.713
(4 1000) - (2 1000)	2.72	1.06	(-1.35, 6.79)	2.57	0.670
(5 500) - (2 1000)	7.29	1.06	(3.22, 11.36)	6.89	0.000
(5 1000) - (2 1000)	5.60	1.06	(1.53, 9.67)	5.29	0.001
(3 1000) - (3 500)	2.67	1.06	(-1.40, 6.74)	2.52	0.712
(4 500) - (3 500)	4.19	1.06	(0.12, 8.26)	3.96	0.038
(4 1000) - (3 500)	4.24	1.06	(0.17, 8.31)	4.01	0.033
(5 500) - (3 500)	8.88	1.06	(4.74, 12.88)	8.33	0.000
(5 1000) - (3 500)	7.12	1.06	(3.05, 11.19)	6.73	0.000
(4 500) - (3 1000)	1.52	1.06	(-2.55, 5.59)	1.44	1.000
(4 1000) - (3 1000)	1.57	1.06	(-2.49, 5.64)	1.49	1.000
(5 500) - (3 1000)	6.15	1.06	(2.08, 10.21)	5.81	0.000
(5 1000) - (3 1000)	4.45	1.06	(0.38, 8.52)	4.21	0.020
(4 1000) - (4 500)	0.05	1.06	(-4.01, 4.12)	0.05	1.000
(5 500) - (4 500)	4.63	1.06	(0.56, 8.69)	4.37	0.013
(5 1000) - (4 500)	2.93	1.06	(-1.14, 7.00)	2.77	0.505
(5 500) - (4 1000)	4.57	1.06	(0.50, 8.64)	4.32	0.015
(5 1000) - (4 1000)	2.88	1.06	(-1.19, 6.95)	2.72	0.547
(5 1000) - (5 500)	-1.69	1.06	(-5.76, 2.38)	-1.60	1.000

Fuente: Elaboración del ejecutor

En la tabla presentada se aprecia que las medias comparten la letra A contiene a la combinación que corresponde a 5 días de operación, y la letra B comprende a la combinación con el tiempo operativo de 3 días; en donde se aprecia que no comparten medias, esto indica que la combinación con mayor tiempo de operación tiene mejores resultados.

d) Interacción

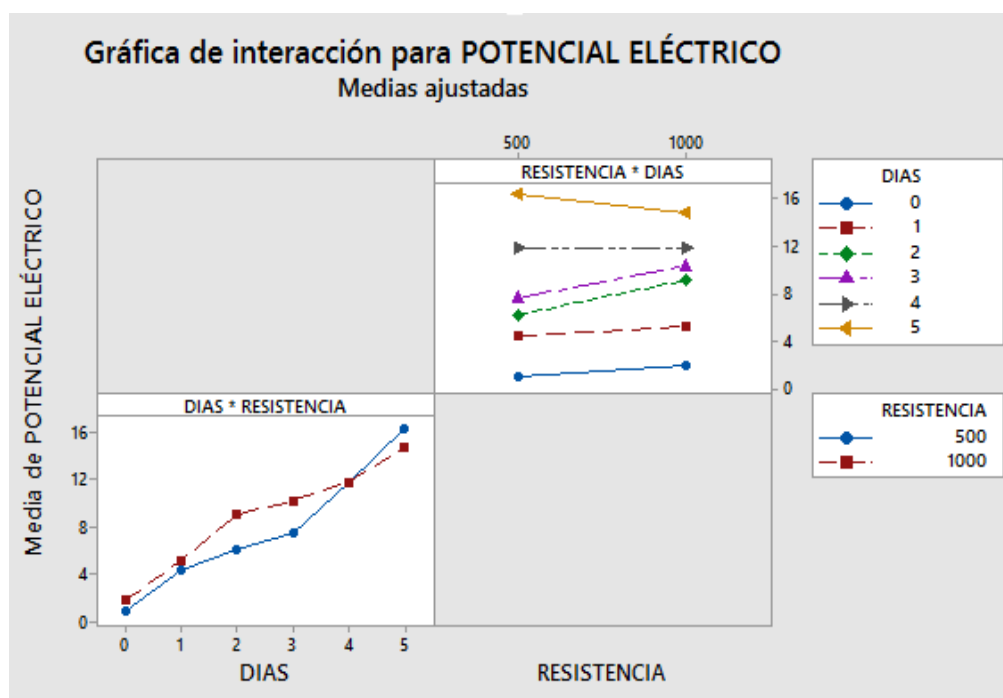


Figura 22: Interacción para Resistencia y tiempo de operación

Fuente: Elaboración del ejecutor

En el grafico superior derecha se aprecia que en el tiempo de 5 días y 3 días las líneas no son paralelas, donde se ve que hay interacción entre las variables, obteniendo los mejores resultados con los 5 días de operación. En el grafico inferior izquierdo se aprecia el crecimiento de la potencia eléctrica por día, donde en la resistencia de 500 Ω se ve aumento, en comparación con la resistencia de 1000 Ω que desciende, esto se debe a que las bacterias degradan la materia orgánica al mismo ritmo que la corriente acepta los electrones generados.

4.3.1. Balance de materia y energía.

Se presenta la contabilidad de entradas y salidas de materiales y energía del proceso y con esto obtener información sobre la eficiencia del proceso

Balance de materia

$$[\text{Entrada de materia}] = [\text{Salida de materia}] + [\text{Acumulacion de materia}]$$

Balance de energía

$$m_5 H_5 - m_e H_e = Q$$

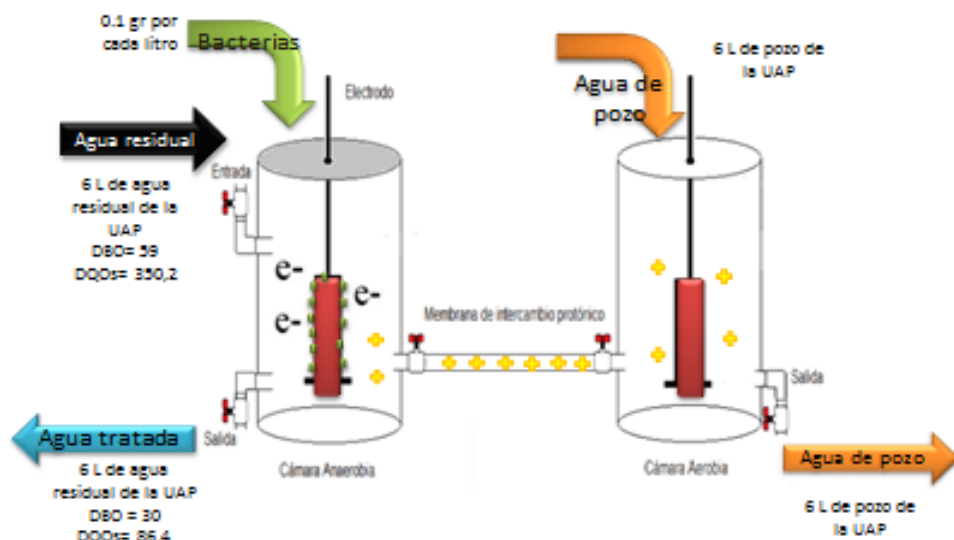


Figura 23: Balance de materia y energía de la celda de combustión microbiana

Fuente: Elaboración del ejecutor



Figura 24. Reacciones biológicas fundamentales.

Fuente: Elaboración del ejecutor

CONCLUSIONES

1. Se llegó a degradar las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo mediante la celda de combustión microbiana en un porcentaje promedio de 80% de degradación del DBO y DQO.
2. Se llegó a caracterizar las aguas residuales de la Universidad Alas Peruanas Filial Huancayo obteniendo los resultados de: DBO₅ 1350 mg/L, DQO 630 mg/L, pH 8,0; estos sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental en la categoría 3 Riego de vegetales y bebida de animales, (DBO₅ 15mg/L, DQO 40mg/L), se consideró esta categoría las aguas residuales se vierten directamente al río Cunas sin ningún tratamiento previo.
3. Se llegó a determinar que los mejores resultados se lograron con la combinación del tiempo de operación es de 5 días y resistencia eléctrica de 500 Ω durante del proceso del tratamiento.
4. Se determinó en la operación del tratamiento la reducción de la carga orgánica (DBO y DQO), la cual fue satisfactoria con un valor entre 85% y 80%, teniendo una máxima potencia eléctrica de 16.41 V/ μ A, por lo que las celdas de combustible microbiano no solo ayudan en la remoción de carga orgánica sino también en la generación de energía eléctrica.
5. Se determinó que la relación que existe entre las variables independientes (resistencia eléctrica y tiempo) y dependientes (Potencia eléctrica, DBO y DQO), para obtener los mejores resultados se relacionan directamente al tiempo de operación y es mínima la influencia de la resistencia.

RECOMENDACIONES

1. Para futuras investigaciones, se debe enfatizar en el diseño experimental del montaje, específicamente en las dimensiones del mismo, ya que, gracias a las pruebas realizadas durante la fase preliminar del proyecto, fue posible establecer este factor como uno de los más importantes e influyentes en los resultados esperados.
2. Para mejores resultados en la producción de bioelectricidad se propone llevar a cabo un estudio profundo de la parte microbiológica del sistema, puesto que este es el pilar de las celdas de combustible microbiano, la inoculación de diferentes microorganismos puede mejorar y optimizar el sistema, proporcionando así una mayor generación de energía.
3. Las futuras investigaciones, deben poder establecer condiciones estándar de operación de la celda o indicadores normalizados para la evaluación del desempeño de las configuraciones de CCM's y materiales que de crecimiento. De tal forma que los resultados no se vean afectados por las otras variables que comprenden la puesta en marcha de las CCM's.
4. Analizar la configuración de las celdas en series y en paralelo con la finalidad de incrementar la generación del voltaje para ser activo en equipos electrónicos de inferior consumo de energía.

BIBLIOGRAFÍA

- Nuñez, A. (2008). Bacterias productoras de electricidad. Madrid: Actualidad sem.
- Arroyo, J. M. (2012). Medidas de dispersión o concentración. En Estadística y probabilidades (pág. 118). Lima: Autor.
- Bernal, C. (2006). Metodología de la información. Mexico: Pearson Educación.
- Bernal, C. (2006). Metodología de la investigación. Mexico: Pearson Educación.
- Bin, L., Martin, B., Boris, M., Breukelen, V., Henk, W., Verseveld, V., . . . Röling. (10 de 2005). Geobacteraceae community composition is related to hydrochemistry and biodegradation in an iron reducing aquifer polluted by a neighboring landfill. Obtenido de Applied and environmental microbiology: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1266018/>
- Bruce, E., Logan, C., Murano, K., Scott, N., I D.Gray, I., & M, H. (5 de 2005). ScienDirect. Obtenido de Electricity generation from cysteine in a microbial fuel cell: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135404005305>
- Cervantes. (2011). Biodegradacion de aguas residuales y produccion de electricidad en una celda de combustible microbiana. D.F. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cheng S, L. H. (2006). Increased performance of single chamber microbial fuel cells using an improved cathode structure. Electrochem. commun, 8: 489 - 494.
- Crites, T. (2000). Tratamiento de aguas residuales en pequeñas poblaciones. Santafe de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, S.A.
- Du, Zhuwei, Li, Haoran, Gu, & Tingyue. (2007). A state of the art review on microbial fuel cells: A promising technology for wastewater treatment and bioenergy. ScienceDirect, 464-482.
- Esteve, A. (2008). Bacterias productoras de electricidad. Madrid: Actualidad sem.

- Falcón, A., Lozano, E., & Juárez, K. (2006). Bioelectricidad. *Biotecnología*, 62-78.
- Feng, Liu, L., Lang, & Fan. (2 de 2010). A dual-chamber microbial fuel cell with conductive film-modified anode and cathode and its application for the neutral electro-Fenton process. Recuperado el 25 de 9 de 2017, de ScienceDirect:
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468609013942>
- Hernández, Fernandez, & Bautista. (2000). *Metodología de la investigación*. Argentina: Planeta.
- Huang, Yuelong, He, Zhen, Mansfeld, & Florian. (2010). Performance of microbial fuel cells with and without nafion solution as cathode binding agent. *ScienceDirect*, 261-264.
- Lin, Braste, Breukelen, V., Verseveld, V., Westerhoff, & Röling. (2005). Geobacteraceae community composition is related to hydrochemistry and biodegradation in an iron-reducing aquifer polluted by a neighboring landfill. *Applied and environmental microbiology*, 5983-5991.
- Liu, H., & Logan, B. (2004). Electricity generation using an air-cathode single chamber microbial fuel cell in the presence and absence of a proton exchange membrane. *Environ. Sci. Technol*, 4040-4046.
- Mortimer, C. (1983). *Química*. 1 era. edición. México: Grupo Editorial Iberoamérica.
- Oficina de Medio Ambiente. (2013). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Lima: Ministerio de vivienda.
- Organismo de evaluación y fiscalización ambiental. (2014). *Fiscalización en aguas residuales*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Oseda, Chanet, Hurtado, Chavez, & Patiño. (2015). *Metodología de la investigación*. Huancayo: Soluciones Graficas SAC.
- Pajuelo. (2014). *Informe sectorial: Perú eléctrico*. Lima: PCR.
- Panwa, Kaushik, Surendra, & Kothari. (4 de 2011). Role of renewable energy sources in environmental protection: A review. Obtenido de

ScienceDirect:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032110004065>

Pineda, A. d. (2016). Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de ingenieras ambientales en la modalidad de monografía. Bogota dc: Universidad Distrital Francisco José de Calas.

Provenza. (1983). Enciclopedia concisa sopena. Barcelona: Ramon Sopena S.A.

Ramon, R. (2007). Metodologia de la Investigacion. Argentina: Satori.

Regan, J., & Logan, B. (2006). Microbial fuel cells: challenges and applications. *Environ.Sci. Technol*, 5172-5180.

Revelo, D., Hurtado, N., & Ruiz, J. (2013). Un reto para la remocion de materia organica y la generacion de energia electrica. *Infromacion tecnologica*, 17-28.

Rismani, Y., Carver, S., Christy, A., & Tuovinen, O. (2008). Cathodic limitations in microbial fuel cells: An overview. *Sources.: Journal of Power*.

Ruiz, B. A. (2016). Microbial electrolysis cell performance using non-buffered and low conductivity wastewaters. *ScienceDirect*, 341-348.

Saavedra, I. M. (2012). Diseño de una celda de combustible microbiológica con uso de bacterias oxidantes de azufre y hierro. Santiago de Chile: Universidad de Chile.

Salas, I. M. (2012). Diseño de una celda de combustible microbiologica con uso de bacterias oxidantes de zufre y hierro. Santiago de Chile: Departamento de ingenieria quimica y bioetctnologia.

Sell, D., Krámer, P., & Kreysa, G. (1989). Use of an oxygen gas diffusion cathode and a three- dimensional packed bed anode in a bioelectrochemical fuel cell. *Appl. Mlcrobiol.technol*, 31: 211-213.

Soto, J. (3 de 10 de 2012). Procesamiento de Productos. Recuperado el 2 de 11 de 2017, de Procesamiento de Productos: <http://procesamientodeproductos.blogspot.pe/2012/10/curvas-de-crecimiento-microbiano.html>

- Velez, J. (2012). Modelo de ánodo y validación experimental para una celda de combustible microbiana. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Vilchez, G. T. (2017). Programa de acción global. Obtenido de OEI. ISBN 978-84-7666-213-7:
<http://www.oei.es/historico/decada/accion.php?accion=001>
- Vilchez, Gil, Toscano, & Macias. (2014). Crecimiento demográfico y sostenibilidad. Crecimiento demográfico y Sostenibilidad (págs. 45 - 50). OEI.
- Winn, H., Allen, Janda, Koneman, Procop, Schreckenberger, & Woods. (2006). Diagnostico microbiologico 6a edicion. En E. Koneman. Madrid: Editorial medica panamericana.
- Zevallos, H. (2015). Tratamiento de aguas residuales mediante biodiscos. Huancayo: Universidad Alas Peruanas.

ANEXOS

Anexo nº1: Panel fotográfico de la prueba preliminar de la CCM's



Figura 25: Puesta en marcha de las CCM's

Fuente: Elaboración del ejecutor



Figura 26: Control del voltaje eléctrica

Fuente: Elaboración del ejecutor



Figura 27 Manipulación del biofilm generado en la CCM's

Fuente: Elaboración del ejecutor

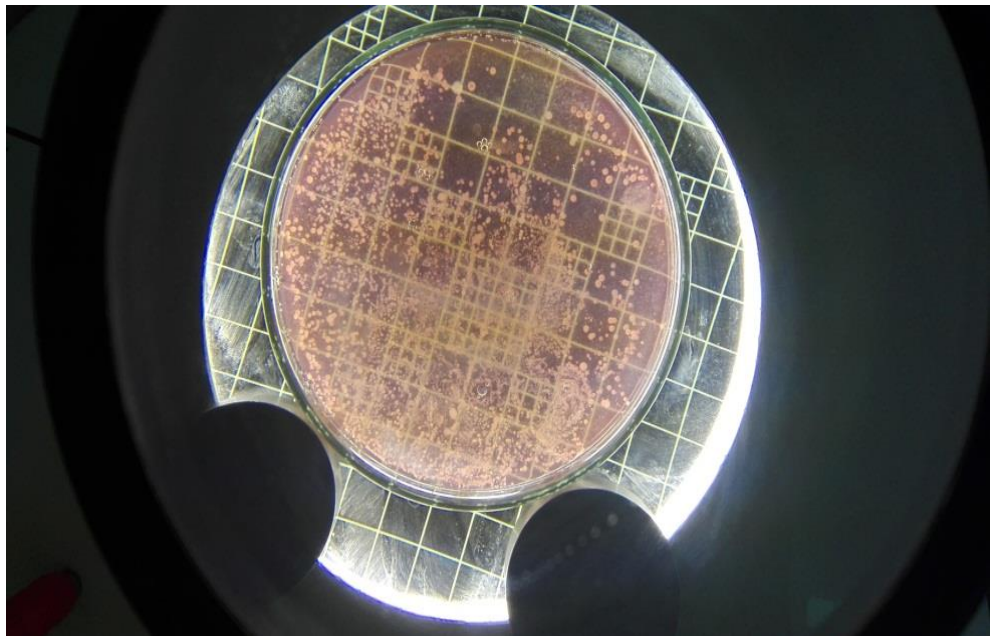


Figura 28: Conteo de colonias del cultivo bacteriológico del ánodo y cátodo

Fuente: Elaboración del ejecutor



Figura 29: Proceso de coloración Gram

Fuente: Elaboración del ejecutor

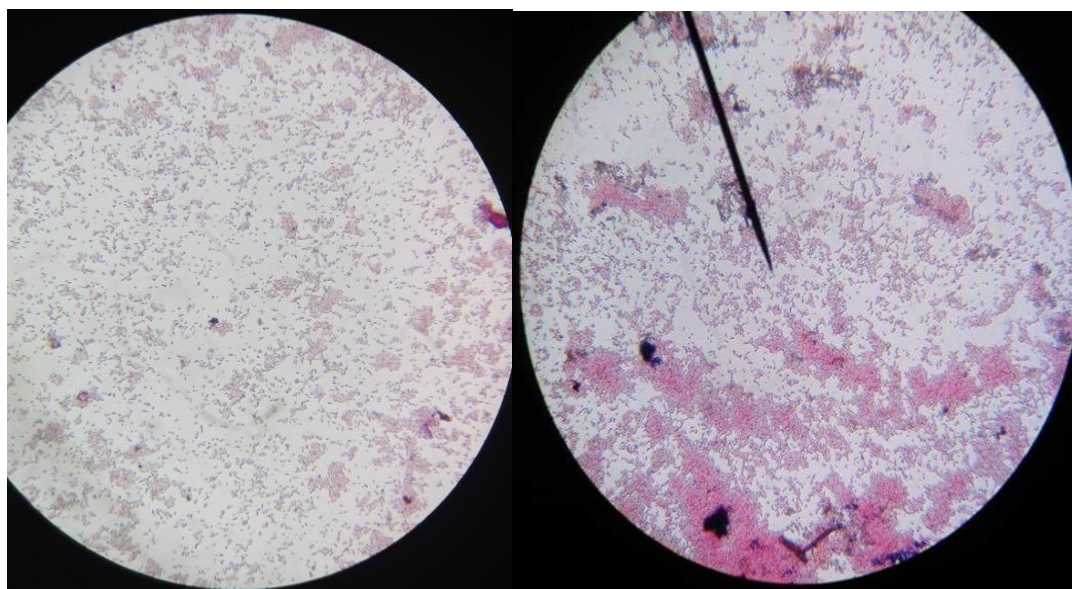


Figura 30: Cultivo bacteriológico del ánodo (Gram negativas), identificación de bacterias *Salmonellas Aleolis*

Fuente: Elaboración del ejecutor

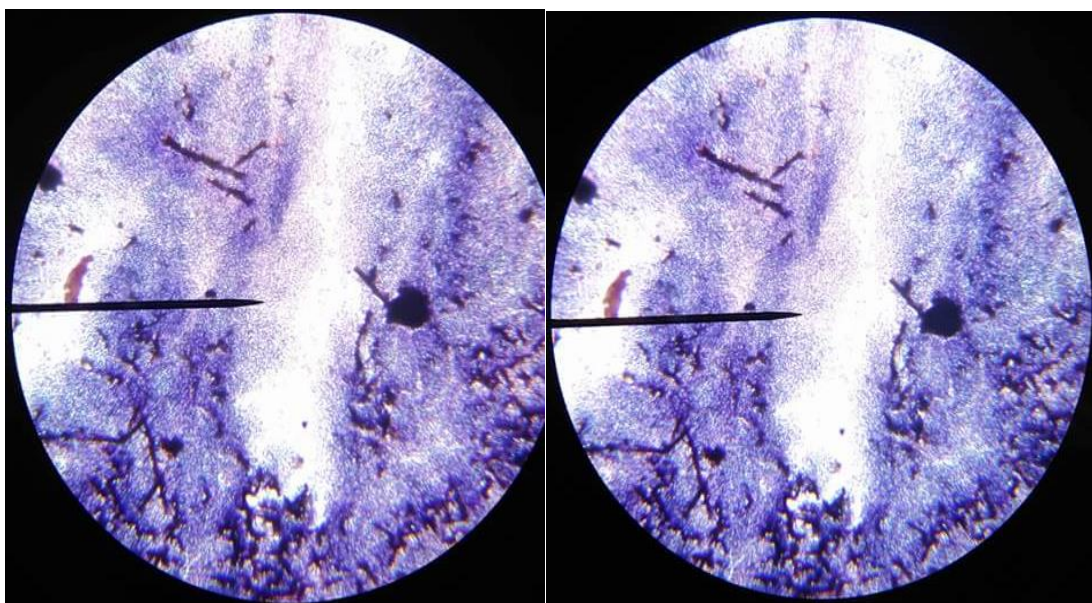


Figura 31: Cultivo bacteriológico del cátodo (Gram positivas), identificación de bacterias *Salmonellas Aleolis*

Fuente: Elaboración del ejecutor

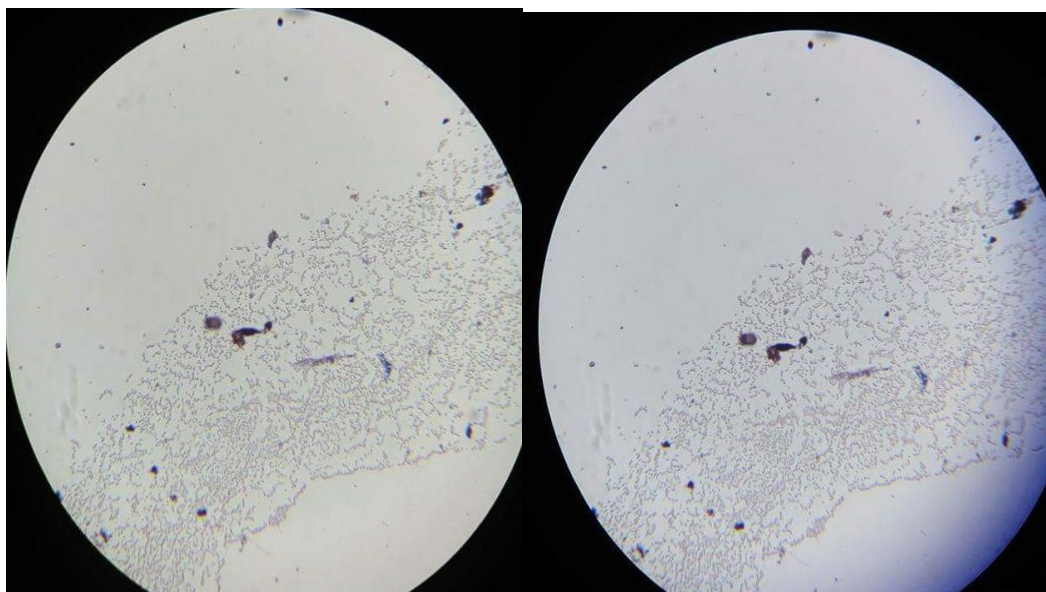


Figura 32. Cultivo bacteriológico de la placa de cobre (Gram positivas), identificación de bacterias *Gobacter Sulfurencis*

Fuente: Elaboración del ejecutor

Anexo n°2: Resultados de laboratorio.