

Reporte de Estancia
Pruebas preliminares para experimentación con
Celdas de Combustible Microbianas

ELIZABET RAMÍREZ CANO

Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el Diploma de:

Especialista en:

Manejo Sustentable de Recursos Naturales de Zonas
Áridas y Semiáridas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

PROGRAMA DE GRADUADOS

Saltillo Coahuila, Julio 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO

Reporte de Estancia

Pruebas preliminares para experimentación con

Celdas de Combustible Microbianas

PRESENTADA

POR:

ELIZABET RAMÍREZ CANO

Elaborada bajo la supervisión del Comité de Asesoría y
aprobada como requisito parcial, para obtener el Diploma de Especialista en:

Manejo Sustentable de Recursos Naturales de Zonas

Áridas y Semiáridas

Asesor principal:



Dr. Luis Samaniego Moreno

Asesor:

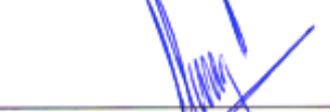


Dr. Javier de Jesús Cortés Bracho

Asesor:



Dr. Jorge Méndez González



Dr. Alberto Sandoval Rangel

Subdirector de Posgrado

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | Página |
|--|--------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. OBJETIVO | 3 |
| III. JUSTIFICACIÓN | 3 |
| IV. MARCO TEÓRICO | 4 |
| Acerca del Departamento de Biotecnología..... | 4 |
| Energías Limpias..... | 6 |
| Biocombustibles..... | 7 |
| Obtención de Energía Eléctrica a través de fuentes renovables..... | 9 |
| Celdas de Combustible Microbianas..... | 11 |
| Caracterización de Aguas Residuales..... | 12 |
| Coliformes Totales y Fecales | 14 |
| V. DESARROLLO DE ACTIVIDADES | 16 |
| Caracterización de Aguas Residuales..... | 16 |
| Preparación de Medios de Cultivo Líquidos | 19 |
| Elaboración de Celdas Microbianas | 19 |
| Monitoreo de Celdas y Toma de Datos..... | 19 |
| Colección de Muestras..... | 19 |
| VI. RESULTADOS OBTENIDOS | 21 |
| VII. CONCLUSIONES | 27 |
| VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 28 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|---|---------------|
| Tabla 1. Resultados obtenidos para para coliformes totales y fecales utilizando la técnica de diluciones y de la NMX-AA-42-1987..... | 24 |
| Tabla 2. Concentraciones registradas en la prueba de Demanda Química de Oxígeno..... | 25 |
| Tabla 3. Concentraciones registradas en la prueba de detección de nitratos..... | 25 |
| Tabla 4. Concentraciones registradas en la prueba de detección de fosfatos..... | 26 |
| Tabla 5. Resultados en <i>mV</i> para las pruebas preliminares para evaluar la efectividad de CCM | 27 |

I. INTRODUCCIÓN

El laboratorio Dr. Jesús Rodríguez Martínez fue fundado en año de 1987, como resultado de una visión y esfuerzos para realizar investigación y generar conocimientos que ayuden a resolver problemas actuales y de tipo regional. Actualmente el laboratorio cuenta con tres líneas de investigación, las cuales son: Microbiología microbiana y molecular, Biotecnología de enzimas y Biotecnología Ambiental cada una cuenta actualmente con proyectos de investigación.

Para los proyectos en Biotecnología Ambiental, se realizan pruebas de caracterización de aguas residuales, elaboración de medios nutritivos y soluciones salinas, así como proyectos enfocados a desarrollar técnicas para la producción de energía eléctrica mediante la operación de Celdas de Combustible Microbianas (CCM).

Estos sistemas bioelectroquímicos han atraído el interés de muchos investigadores por la tendencia mundial en la producción de energía renovable, y aun más atractivo debido a la operación simultánea para degradar materia orgánica y contribuir a la bioremediación.

Actualmente en el mundo se busca reducir emisiones al ambiente causadas por el constante uso de las energías fósiles, las cuales mueven las economías y sociedades. Aunado a esto, esta la problemática del abastecimiento del vital líquido, que es un recurso continuamente contaminado por la mayoría de las actividades antropogénicas, haciéndolo cada vez más escaso y de alto costo para potabilizarlo. Por lo que con esta tecnología de CCM se pretende producir energía eléctrica y al mismo tiempo brindar parte del tratamiento a aguas residuales.

Todas estas razones y necesidades vuelven cada vez más importantes los centros de investigación donde se experimente y desarrollen de forma eficiente métodos y tecnologías que permitan la sustentabilidad en energías y eficacia en el proceso de biorremediación. Así mismo se busca una formación más integral de los alumnos de la Especialidad de Manejo de Recursos Naturales en Zonas Áridas y Semiáridas, requiriendo la inserción de los mismos en estos en centros de investigación y/o desarrollo para adquirir y complementar conocimientos teóricos obtenidos en el aula, que les permitirá estar más preparados para impulsar una mejora en el ambiente y en la calidad de vida.

II. OBJETIVO

Aprender la metodología usada en el laboratorio Dr. Jesús Rodríguez Martínez para la caracterización de aguas residuales, con el fin de ser usadas en Celdas de Combustible Microbianas (CCM).

III. JUSTIFICACIÓN

Las pruebas de caracterización de aguas residuales permitirán ser un soporte preliminar para la investigación en Celdas de Combustible Microbianas (CCM) y de aprovechamiento para el alumno, pues se obtendrá el conocimiento y la destreza que llevarán a una correcta experimentación. Por lo que podrá aplicar con mayor certeza los conocimientos obtenidos en el manejo de los recursos naturales, así como en sus formas de cuidarlos.

IV. MARCO TEÓRICO

Acerca del Departamento de Biotecnología

Ubicado en la Ciudad de Saltillo Coahuila, fue fundado en el año de 1987, nombrado en el 2014 como su creador y fundador el Dr. Jesús Rodríguez Martínez como homenaje póstumo, el cual contribuye al reconocimiento de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila a nivel nacional e internacional por el desarrollo de investigación y formación de postgraduados en Biotecnología. Este Departamento cuenta con tres líneas de investigación.

Biotecnología de Enzimas (BE)

La cual desarrolla los proyectos:

- a) Obtención y aplicación de polisacaridasas.
- b) Síntesis y caracterización de penicilinacilasas, proteasas y lipasas de fuentes fúngicas.
- c) Aplicación de liposomas con enzimas micólicas en la agricultura.
- d) Caracterización del complejo enzimático celulolítico de cepas extremófilas y su aplicación industrial.

Biotecnología Microbiana y Molecular (BMM)

La cual desarrolla los proyectos:

- a) Síntesis enzimática de aminoácidos, mediante células de microorganismos con actividad catalítica correspondiente: aspartasa, tirosinfenoliasa, etc.
- b) Estudio de la biodiversidad procariota de la reserva ecológica de Cuatrociénegas, Coahuila y zonas aledañas con perspectivas Biotecnológicas.
- c) Estudios metagenómicos de sitios con biogeocenosis de naturaleza única y de biopelículas empleadas en biotransformaciones diversas.
- d) Investigación sobre la producción del complejo enzimático celulolítico, y adecuación de las condiciones de fermentación para la sobreproducción del complejo, por especies de *Bacillus sp* de ambientes extremos del Estado de Coahuila.
- e) Aplicación e identificación molecular de microorganismos anaerobios en sulfatoreducción y eliminación de metales pesados.
- f) Establecimiento de una base de datos genómica de organismos del micromundo proveniente de la reserva ecológica de Cuatrociénegas, Coah.
- g) Fundamento molecular de la inducción de enzimas en células microbianas y adecuación en la producción para la síntesis de poliésteres de biopolímeros.

Biotechnología Ambiental (BA)

La cual desarrolla los proyectos:

- a. Tratamiento biológico de aguas residuales y de residuos sólidos de industrias de las diferentes áreas de la economía nacional.
- b. Búsqueda de fuentes alternativas de energía (metano, hidrógeno, células combustibles microbianas), y optimización de su producción a escala.

- c. Obtención de biocarburantes (etanol, biodiesel) a partir de residuos agroalimentarios diversos.
- d. Desarrollo y aplicación de biopelículas.
- e. Investigación sobre la eliminación de Arsénico mediante biopelículas desarrolladas en *Opuntia imbricata*.
- f. Desarrollo de tecnología para la reutilización de agua tratada.

Energías Limpias

Las energías limpias, conocidas como renovables, son aquellas que se producen de forma continua y se renuevan continuamente, a diferencia de los combustibles fósiles, de los que existen cantidades finitas, agotables en un plazo más o menos determinado. Las principales formas de energías renovables que existen son: la biomasa, hidráulica, eólica, solar, geotérmica y las energías marinas. Las energías renovables provienen, de forma directa o indirecta, de la energía del Sol, son una excepción la energía geotérmica y la de las mareas (Sanchez, 2003).

En la actualidad, la contribución de las energías renovables, con respecto al consumo total de energía primaria a nivel mundial ronda el 8% este porcentaje corresponden casi exclusivamente a energía hidráulica y biomasa, sin embargo existe una creciente y amplia conciencia a nivel mundial referente a la problemática energética, pues se sabe de la gran dependencia energética del exterior que tienen los países industrializados, del agotamiento y encarecimiento de los recursos energéticos fósiles y los recientes descubrimientos sobre el origen antropogénico del cambio climático al utilizar estos combustibles (Schallenberg *et. al.*, 2008)

Biocombustibles

Son productos procedentes de la transformación física, química o biológica de las fuentes de biomasa y que se utilizan como combustibles, estos pueden ser sólidos, líquidos y gaseosos.

Los combustibles sólidos son los procedentes del sector agrícola y forestal, como, por ejemplo, la leña, la paja, los restos de la podas de frutales y cáscaras de frutos secos, huesos de aceitunas, etc. Estos biocombustibles se pueden utilizar directamente, por ejemplo, en chimeneas o en instalaciones modernas para su uso a gran escala, para lo cual se transforman en astillas, aserrín o carbón (Rico, 2007).

Entre los biocombustibles gaseosos destaca el biogás que está formado principalmente por metano y dióxido de carbono, y se suele producir de forma espontánea en fondos de lagunas, presas o depuradoras, en los que hay depósitos de materia orgánica, y también en los vertederos de basura, o a partir de residuos de ganado. Se suele utilizar para la producción de electricidad. Con su quema se logra un beneficio medioambiental adicional, ya que se consigue evitar que llegue a la atmósfera un gas de efecto invernadero como es el metano (CH_4) (Nachwassende, 2010).

También están los biocombustibles líquidos conocidos como biocarburantes, estos utilizan para sustituir el uso de combustibles derivados del petróleo en los motores. Engloban dos tipos de productos: Bioetanol y derivados, los cuales se utilizan para sustituir total o parcialmente la gasolina y son obtenidos a partir de la fermentación de productos ricos en almidón o azúcar. El Biodiésel es utilizado para sustituir total o parcialmente el gasóleo (diésel) de automoción. Se produce a partir de aceites vegetales,

naturales o usados. La producción a partir de aceites usados cobra gran importancia porque, a su vez, se elimina un problema medioambiental como es el tratamiento de aceites usados, que son altamente contaminantes si se vierten al ambiente sin tratar. En este sentido existen varias iniciativas en marcha que recolectan estos aceites (Schallenberg *et. al.*, 2008).

La biomasa utilizada en estos procesos tiene su origen en la energía del sol, la cual es utilizada por las plantas para sintetizar la materia orgánica mediante el proceso de fotosíntesis. Esta materia orgánica puede ser incorporada y transformada por los animales y por el hombre. Es definida como todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas y sufrido un proceso de mineralización (Rico, 2007). El término biomasa abarca un conjunto muy heterogéneo y variado de materia orgánica y se emplea para denominar a una fuente de energía basada en la transformación de la materia orgánica utilizando normalmente un proceso de combustión (Sanchez, 2003).

Con el fin de utilizar la biomasa, esta se cataloga como biomasa natural, la cual se encuentra de forma espontánea en el ambiente y puede ser utilizada directamente. Este recurso no debe ser utilizado de forma indiscriminada, pues acelera el proceso de desertificación. Por otro lado los cultivos energéticos, tienen un alto contenido en carbohidratos y aceites. Estos pueden ser de tipo tradicional, los utilizados para alimentación humana o animal y los cultivos no alimentarios, los cuales son sembrados donde no pueden ser sembrados los de tipo alimentario (Schallenberg *et. al.*, 2008).

Por último está la biomasa residual que se produce en explotaciones agrícolas, forestales o ganaderas; también se generan residuos orgánicos en la industria y en

núcleos urbanos, denominados en este último caso residuos sólidos urbanos. Con ellos se puede producir electricidad, que puede hacer que las instalaciones sean autosuficientes aprovechando sus propios recursos (como, por ejemplo, en granjas, serrerías, industrias papeleras o depuradoras urbanas), que generan un beneficio adicional, a veces más valorado que la propia generación de electricidad, que es el evitar la degradación del medioambiente eliminando estos residuos (Rico, 2007).

Obtención de Energía Eléctrica a través de fuentes renovables

La electricidad es la forma más sofisticada de energía que existe en la actualidad y permite su transporte entre lugares lejanos de forma económica y eficaz. Esta gran dependencia de la sociedad actual de la energía eléctrica conlleva un mayor consumo, cuyas consecuencias afectan al ambiente, desde los sistemas de producción de energía eléctrica, que en su mayoría utilizan recursos energéticos no renovables (carbón, gas, petróleo o Uranio) y al impacto causado por los sistemas de distribución de energía (Schallenberg *et al.*, 2008).

A partir de la energía solar los paneles solares fotovoltaicos transforman la radiación del sol directamente en electricidad. Las plantas o centrales solares fotovoltaicas están constituidas por una serie de paneles fotovoltaicos conectados en serie y/o en paralelo, que vierten la electricidad producida a la red eléctrica. También se aprovecha la radiación solar para calentar un fluido y producir vapor para mover un generador, como en una central térmica convencional, pero en la que el combustible es el sol (Sanchez, 2003).

A partir de la energía hidráulica se produce energía eléctrica al dejar caer el agua desde una cierta altura; esta agua mueve los álabes de una turbina que, a su vez acciona un generador, produciendo electricidad (Schallenberg *et al.*, 2008).

Para producir electricidad de las fuentes geotérmicas, se aprovecha la salida del vapor que accionan turbinas que ponen en marcha generadores eléctricos. Para ello es necesario que la temperatura del agua subterránea sea superior a 150 °C; si se usa la tecnología de ciclo binario, la temperatura puede ser de 100 °C (esta consiste básicamente en que el agua le cede el calor a otro fluido que vaporiza a menor temperatura). Estos yacimientos, que se utilizan para la producción de electricidad, son los denominados de alta temperatura. Una de las grandes ventajas de la producción de electricidad con energía geotérmica es que no es intermitente, como ocurre con la gran mayoría de las renovables, sino que la producción es constante y previsible; por esto se puede utilizar para satisfacer la demanda eléctrica base (Secretaría de Energía, 2007).

La energía cinética contenida en el movimiento de las olas del mar puede transformarse en electricidad de distintas formas. El Consejo Mundial de la Energía (WEC) ha estimado la potencia mundial de este recurso en unos 2000 GW. La mayor parte de esta energía se concentra en los océanos Atlántico y Pacífico. En contraste con otros tipos de energías renovables existe un número elevado de diseños para la conversión de la energía del oleaje. Así, por ejemplo, las oscilaciones en la altura del agua pueden hacer subir o bajar un pistón dentro de un cilindro, moviendo de esta forma un generador eléctrico. Las corrientes marinas, con turbinas de baja presión o mediante el gradiente térmico que se produce por la diferencia de temperatura entre la superficie (20 °C o más) y la del fondo (puede oscilar entre 0 y 7 °C), aunque estas diferencias son mayores en algunas zonas del planeta como el ecuador. Para que la generación de

electricidad sea rentable se necesita que la diferencia de temperatura sea de, al menos, 20 °C entre la superficie y la capa situada a 100 metros de profundidad, lo que sucede en los mares tropicales y subtropicales (IDAE y IGME, 2008).

Para la conversión de energía eólica en eléctrica se utilizan los aerogeneradores que son los sistemas de aprovechamiento más utilizados hoy en día. Su funcionamiento se basa en que al incidir el viento sobre sus palas se produce un trabajo mecánico de rotación que mueve un generador que produce electricidad. En su interior se encuentran los elementos que transforman la energía mecánica en energía eléctrica: los ejes del aerogenerador, el multiplicador, el generador y los sistemas de control, orientación y freno (Moragues y Rapallini, 2003)

La conversión de energía química en eléctrica es posible en ciertos dispositivos electroquímicos denominados células o pilas de combustible, donde la electricidad se obtiene a partir de una fuente externa de combustible química que suele ser hidrógeno o etanol. Esta tecnología limpia que tiene al inocuo vapor de agua como único residuo (Pistonesi, *et. al.*, 2010).

Celdas de Combustible Microbianas

Para la conversión de energía química en eléctrica, una variante reciente de la célula de combustible es la célula de combustible microbiana (Microbial Fuel Cell, MFC) la cual fue explorado desde los años 70 y 80 y utilizada para tratar agua residual doméstica en 1991 por Habermann y Pommer (Pistonesi, *et. al.*, 2010). En las CCM se utilizan microorganismos para oxidar el combustible, materia orgánica, y transferir los electrones a

un electrodo (ánodo), que está conectado a un cátodo a través de un material conductor que contiene una resistencia. Las cámaras que albergan estos electrodos, la anódica (anaerobia) y la catódica (aerobia), están comunicadas por una membrana de intercambio catiónico que permite el paso de protones. De esta forma, los protones generados en la oxidación de la materia orgánica se combinan con oxígeno y con los electrones que llegan al cátodo para formar agua (Revelo *et. al.* 2003).

Una CCM convierte un sustrato biodegradable directamente a electricidad. Esto se consigue cuando las bacterias, a través de su metabolismo, transfieren electrones desde un donador, tal como la glucosa, a un aceptor de electrones (Lovely, 2008). Las CCM tienen ventajas sobre otras tecnologías usadas para la generación de energía a partir de materia orgánica. Pues la conversión directa de sustrato a electricidad permite altas eficiencias de conversión. Operan eficientemente a temperatura ambiente, incluidas bajas temperaturas. No requieren del tratamiento del biogás generado en la celda. No requieren de energía extra para airear el cátodo, pues éste puede ser aireado pasivamente. Y por ultimo tienen aplicación potencial en lugares alejados con ausencia de infraestructura eléctrica, convirtiéndose en una opción más de energía renovable para los requerimientos de energía a nivel mundial. Sin embargo se necesita avanzar en investigación para reducir sus costos, mejorar la eficiencia y la producción eléctrica, e identificar los materiales de menor costo que se pueden utilizar (Pistonesi, *et. al.*, 2010).

Caracterización de Aguas Residuales

Es necesario conocer los distintos tipos de contaminantes que encontramos en las aguas residuales y los efectos que estos causan en el cuerpo vertido. Los cuales pueden

ser sólidos sedimentables que pueden dar lugar al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaeróbicas cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático, o en el caso de que sean sólidos suspendidos pueden causar turbiedad e incluso impedir el ingreso de los rayos solares a los cuerpos de agua. Otro contaminante sería la materia orgánica biodegradable la cual esta compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasa y aceites etc. Si los efluentes se descargan al entorno sin tratar, puede llevar al agotamiento del oxígeno y desarrollar condiciones sépticas (Muñoz, 2008).

Los nutrientes esenciales como el Nitrógeno y el Fósforo, frecuentemente añadidos al agua residual como excedente de ciertas actividades industriales. Cuando se vierten al entorno acuático, estos pueden favorecer al crecimiento desmedido de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas también puede provocar la contaminación del agua subterránea. Los metales pesados pueden presentar distintos niveles de toxicidad (Tomasini, 2003).

La materia orgánica refractaria tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y pesticidas agrícolas. Sustancias inorgánicas disueltas son constituyentes inorgánicos tales como el Calcio, Sodio, Magnesio, Potasio, sulfatos y otros pueden estar presentes en el agua como desecho de algunas actividades, estos compuestos pueden ser tóxicos o darle ciertas características al agua no siempre deseada por lo que en muchas ocasiones deben ser removidos. Por ultimo los patógenos que pueden transmitirse y provocar enfermedades contagiosas por medio de los organismos presentes en el agua residual como parte de los desechos domésticos y de algunas actividades comerciales (Tomasini, 2003).

Coliformes Totales y Fecales

Los coliformes totales son un grupo de bacterias de tipo entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal. Un subgrupo son los coniformes fecales los cuales son causantes de diarreas y malestares estomacales, su dosis es de aproximadamente 10^2 por 100 ml de agua. Al encontrar a estos microorganismos en la muestra y entre mayor sea su número, mayor será la posibilidad de encontrar otros microorganismos patógenos mas agresivos a la salud y mayor sensibilidad al ambiente (Muñoz, 2008).

Una prueba utilizada para coniformes es la de número más probable (NMP) o técnica de dilución en tubo, proporciona una estimación estadística de la densidad microbiana presente con base a que la probabilidad de obtener tubos con crecimiento positivo, disminuye conforme es menor el volumen de muestra inoculado todo esto permite estimar tamaños poblacionales al ser diluidas en volumen y secuencias conocidas (NOM-112-SSA1-1994).

Para determinar la contaminación del agua, se utilizan microorganismos bacteriológicos indicadores los cuales tiene como características particulares; ser fácil y rápidos de detectar a un costo moderado. Además deben presentar una resistencia a los tratamientos físico-químicos a los que se someten.(Tomasini, 2003) El objetivo es evaluar la calidad del agua en cuanto a microorganismos causantes de enfermedades gastrointestinales, que pueden ser originadas por bacterias, protozoarios o enterovirus los cuales pueden ocasionar trastornos de gravedad moderada o epidemias como las registradas en la historia (Cifuentes *et. al.*, 1991). Es necesario recordar que no es fácil

definir una dosis mínima, pues el que se produzca la infección depende del sistema de defensa de organismo infectado.

V. DESARROLLO DE ACTIVIDADES

Dentro de las actividades realizadas durante la estancia en el Laboratorio de Biotecnología, pude contribuir pruebas preliminares de caracterización de aguas residuales, las cuales servirán como base para el desarrollo de investigaciones en el campo de la producción de energía mediante CCM, realizada por un alumnos de Maestría en Biotecnología.

Caracterización de aguas residuales

Coliformes Totales y Fecales

Se determinó con la prueba de número más probable, la cual busca mediante diluciones obtener un estimado de organismos de modo estadístico. La prueba se realizó para revisar si las aguas cumplen con lo establecido por la NOM-112-SSA1-1994 y las Normas Mexicanas (www.conagua.gob.mx) según el fin de estas aguas, ya sean potables, tratadas o residuales.

Demanda Química de Oxígeno

Se realizó mediante oxidación química a CO₂ del material orgánico contenido de la muestra y analizado en el espectrofotometro. Es un parámetro analítico de contaminación que mide la materia orgánica que contiene la muestra de agua.

Determinación de Fosfatos

En esta prueba se utilizó la digestión oxidante por ser más simple y sensible, es aplicable a todo tipo de aguas, incluso la de mar ya que la salinidad es despreciable a la intensidad del color, esta principalmente dirigida a vigilar el cumplimiento de las Normas Mexicanas (www.conagua.gob.mx).

Determinación de Nitratos

Se realizó mediante la mezcla de sustancias preparadas para mediante las lecturas del espectrofotometro obtener la absorbancia. Esta prueba es realizada principalmente para la aprobación de las Normas Mexicanas (www.conagua.gob.mx).

Preparación de Medios de Cultivo Líquidos

Agar Verde Brillante: Medio altamente selectivo para aislar *Salmonella* (excepto *S. typhi*) de heces, orina, lácteos y otros alimentos de importancia sanitaria. En el medio de

cultivo, la peptona aporta los nutrientes necesarios para el adecuado desarrollo bacteriano, la bilis y el verde brillante son los agentes selectivos que inhiben el desarrollo de bacterias Gram positivas y Gram negativas a excepción de coliformes, y la lactosa es el hidrato de carbono fermentable, siendo una propiedad del grupo coliforme, la fermentación de la lactosa con producción de ácido y gas (www.britanialab.com).

Caldo *Escherichia Coli* CEC : Este caldo es recomendado por (A.P.H.A.,1975). Medio utilizado para el recuento de coliformes totales, coliformes fecales y *Escherichia coli* en agua, alimentos y otros materiales. El contenido de lactosa en este medio, favorece el crecimiento de bacterias lactosa positivas, mientras que las sales biliares inhiben el crecimiento de gran parte de la flora acompañante (www.britanialab.com).

Caldo Lauril Sulfato CLS: Medio recomendado por A.P.H.A. para detección y recuento de coliformes en aguas residuales y alimentos. Medio rico en nutrientes que permite un rápido desarrollo de los microorganismos fermentadores de la lactosa, aún de las bacterias lentas. La triptosa es la fuente de Nitrógeno, vitaminas, minerales y aminoácidos, la lactosa es el hidrato de carbono fermentable, las sales de fosfato proveen un sistema buffer, y el cloruro de Sodio mantiene el balance osmótico. Es un medio selectivo ya que el lauril sulfato de Sodio inhibe el desarrollo de la flora acompañante. Por la fermentación de la lactosa, se produce ácido y gas, éste último se evidencia al utilizar las campanas Durham (www.britanialab.com).

Elaboración de Celdas de Combustible Microbiana

Fueron construidas con materiales que cumplieran con características mencionadas en la literaturas como la de Pistonesi y colaboradores en el 2010. que permiten el flujo correcto de protones. El aporte en esta actividad fue solo en el aspecto de ensamblaje ya que los materiales y diseño son reservados, pues forman parte de una investigación de tesis de Maestría, cuyo diseño repercutirán en la eficiencia de las CCM.

Monitoreo de celdas y toma de datos

Durante esta actividad se tomó lectura dos veces al día durante 8 días con el fin de revisar que tuvieran el comportamiento habitual ya observado en otras investigaciones (Pistonesi, *et. al.*, 2010), en las que se dispara la producción de voltios, según los carbohidratos contenidos y la actividad microbiana.

Una vez establecidas las celdas, se recurrió a un monitoreo de cada una de sus partes y su correcto funcionamiento, el cual se evidenció mediante la salida de los fluidos y la emisión de lecturas eléctricas.

Colección de muestras

En cuatro recipientes de 5 litros se colectaron aguas crudas para su posterior análisis y resguardo en congelación (evitar el crecimiento de los microorganismos

presentes) para próximas pruebas. Este procedimiento se realizó en la UAAAN para su análisis y comparación con las anteriores.

VI. RESULTADOS OBTENIDOS

Los objetivos planteados se cumplieron al poner en práctica conocimientos adquiridos en la Especialidad en curso. Así como aprender técnicas para caracterización de aguas.

Los resultados observados durante la estancia se basan en una serie de pruebas preliminares, que siguen en proceso, pues no se ha podido determinar la cantidad de coliformes fecales en las aguas crudas municipales de Saltillo y el objetivo es que al realizar estas pruebas una vez puesta en marcha las CCM sean confiables al estar bien realizadas. Las pruebas para caracterización del agua residual fueron con el fin de conocer algunas variables que pueden tomarse en cuenta para la investigación o que actúen modificando en algún aspecto su comportamiento. Pues con estas aguas se llenarán las CCM pretendiendo producir energía eléctrica y a su vez hacer biorremediación en aguas residuales.

Coliformes Totales y Fecales

Con el fin de conocer la composición del agua residual que llega a la planta tratadora del Bosque Urbano, se analizó el agua cruda con una semana de diferencia. Esto con el fin de observar si existían variaciones.

Tabla 1. Resultados obtenidos para para coliformes totales y fecales utilizando la técnica de diluciones y de la NMX-AA-42-1987

| MUESTRA | CT/DILUSIONES | CF/DILUSIONES | CT/NMX | CF/NMX |
|---------------|-------------------------|---------------|---------------------------|--------|
| SEMANA 1 | 550 000 NMP/100 ml | CERO | ≥2400 NMP/100 ml | CERO |
| SEMANA 2 | 1 000 000 NMP/100 ml | CERO | 2400 - 5800 NMP/100 ml | CERO |
| MUESTRA UAAAN | 500 000 NMP/100 ml | CERO | ≥2400 NMP/100 ml | CERO |

CT, coliformes totales, CF, coliformes fecales, NMX, Normas Mexicanas.

En la Tabla 1, en cuanto a CT utilizando la técnica de diluciones, entre las semanas 1 y 2 se registraron diferencias. También podemos observar que el la muestra de la UAAAN es similar a la muestra de la semana 1. Se ven las mismas tendencias utilizando la técnica según la NMX-AA-42-1987 (www.conagua.gob.mx). Para CF las dos técnicas para tres muestras presentaron resultados negativos, no se registraron este tipo de bacterias en las muestras de agua residual.

Demanda Química de Oxígeno

Técnica realizada conforme a la NMX-AA-028-SCFI-2001 (www.conagua.gob.mx) para determinar el contenido de materia orgánica contenida en las muestras de aguas residuales de Saltillo

Tabla 2. Concentraciones registradas en la prueba de Demanda Química de Oxígeno

| MUESTRAS | Absorbancia a (600 nm) | Concentración (ppm) |
|-----------------|-------------------------------|----------------------------|
| SEMANA 1 | 0.043 | 89.24 |
| SEMANA 2 | 0.119 | 183.27 |

nm= nanometros; ppm= partes por millón

En esta tabla se observan variaciones entre las muestras analizadas. Lo cual indica que no todo el tiempo se reciben aguas con el mismo contenido de materia orgánica, pues las muestras fueron tomadas con una semana de diferencia, lo que puede deberse a factores lluvias o hábitos de la población y actividades productivas que descargan sus aguas directo al alcantarillado.

Determinación de Nitratos

Este contaminante, tiene una gran importancia en el ambiente, así como en la salud humana y animal. Es el resultado de la digestión de microorganismos que pueden descomponer proteínas, urea entre otros.

Tabla 3. Concentraciones registradas en la prueba de detección de nitratos

| MUESTRAS | Absorbancia (410 nm) | Concentración (ppm) |
|-----------------|-----------------------------|----------------------------|
| SEMANA 1 | 0.0926 | 56.68 |
| SEMANA 2 | 0.0607 | 36.97 |

nm= nanometros; ppm= partes por millón

Para la detección de nitratos se observan diferencias aunque numéricamente no sean tan distantes se encuentra la misma tendencia según la muestra, pero es evidente una mayor concentración de nitratos en la muestra de la semana 1.

Determinación de Fosfatos

Están presentes en las aguas residuales junto con tensoactivos utilizados en la producción de detergentes, los cuales son vertidos en las alcantarillas. Son de gran importancia para el crecimiento de plantas y animales. Aunque no tienen un gran impacto en la salud humana, la tienen en el comportamiento de los microorganismos en el agua y de las plantas que crecen a orillas de los caudales los cuales no siempre son beneficiosos.

Tabla 4. Absorbancias registradas en la prueba de detección de fosfatos

| MUESTRAS | Absorbancia (690 nm) | Concentración (ppm) |
|-----------------|-----------------------------|----------------------------|
| SEMANA 1 | 0.166 | 0 |
| SEMANA 2 | 0.174 | 35.376 |

nm= nanometros; ppm= partes por millón

En los resultados obtenidos se observa una diferencia numérica muy similar en cuanto a la concentración detectada para fosfatos en las muestras de las dos semanas,

siendo un poco mayor en la primera toma, a comparación de la concentración el caso de DQO y nitratos, donde se detectaron concentraciones mayores que las de la semana 2.

Celdas de Combustible Microbianas

Dentro de las pruebas preliminares para determinar la efectividad de las CCM se utilizó un control (sales), dos con microalgas y un blanco (medio mineral y muestra de lodo) obteniendo durante la observación los siguientes resultados.

Tabla 5. Resultados en *mV* para las pruebas preliminares para evaluar la efectividad de CCM.

| Celda | 20 Abr | 21 Abr | | 22 Abr | | 23 Abr | | 24 Abr | 25 Abr | | |
|--------------------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|--------|------|-------|
| | 18:00 | 8:30 | 13:00 | 8:30 | 13:00 | 8:00 | 15:00 | 9:00 | 13:00 | 8:00 | 18:00 |
| Control | 99.6 | 480.2 | 449.5 | 752 | 784 | 785 | 782 | 745 | 732 | 755 | 746 |
| Microalga 1 | 106.2 | 28.8 | 22.6 | 119.8 | 172.6 | 327.7 | 338 | 432 | 440.2 | 494 | 297 |
| Microalga 2 | 56.8 | 62.6 | 73.2 | 129.5 | 208.5 | 275.1 | 274.1 | 323 | 316.6 | 450 | 423 |
| Agua | 2.8 | 34.3 | 47.4 | 112.7 | 131 | 446 | 542 | 488 | 486.5 | 447 | 450 |

CCM= Celdas de Combustible Microbianas; *mV*= micro Volts

En la Tabla 5 se pueden apreciar las variaciones de voltios registrados durante el periodo, así como por el fluido que contienen, siendo el más estable el control, el cual es diseñado químicamente. Lo que se busca es encontrar un medio de origen mayormente biológico que alcance niveles iguales o mayores a los obtenidos en el control.

Es necesario recalcar que los resultados de las pruebas aquí expuestos son meramente didácticas buscando que el tesista se adentre en las pruebas que realizará para sustentar los resultados que obtendrá de su investigación, así como darse la oportunidad de aclarar dudas y llenar huecos en los conocimientos acerca de las técnicas y procedimiento a realizar, así como la naturaleza de sustancias, microorganismos y legislaciones que involucrará en su investigación.

VII. CONCLUSIONES

Como estudiante de la Especialidad en Manejo Sustentable de Recursos Naturales de Zonas Áridas y Semiáridas, la estancia fue 100% satisfactoria, al aprender técnicas para caracterizar el agua, con el fin de conocer sus características químicas y microbiológica, útiles para experimentación con CCM.

En los resultados de las pruebas preliminares en caracterización de aguas residuales a utilizar en las CCM se puede concluir que la prueba de coliformes totales indica que no están presentes en las aguas residuales analizadas, sin ser muy contundentes se observó que las concentraciones de contaminantes varían en el tiempo, sin embargo por su naturaleza y procedencia puede ser que otros factores como lluvias, hábitos de la sociedad, incluso cuestiones de la misma prueba pudieron haber alterando estos resultados.

Para las pruebas de fosfatos, nitratos y DQO, los resultados indican y se puede concluir que son aptas para realizar el estudio en las Celdas de Combustible Microbiana, pues son características químicas del agua que microorganismo al degradarlas producirán energía eléctrica, como se demostró en las pruebas preliminares de efectividad de las CCM.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.P.H.A. 1975. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Work Association and Water Pollution Control Federation, 14a Ed, Washintong D. C.

Campos, P. C. 2001. Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Indicadores de contaminación fecal en aguas, Capítulo 20. Buenos Aires, Argentina. 265 pág.

Cifuentes E, U.J. Blumenthal, G. Ruiz Palacios and S. Bennett. 1991. Health impact evaluation of wastewater use in México. Public Health Rev;19:243-250.

IDAE y IGME. 2008. Manual de geotermia. por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). Madrid, España. 187 pág.

Lauril Sulfato Caldo. (sf). Recuperado el 13 de Junio de 2015 de http://www.britanialab.com/productos/385_hoja_tecnica_es.pdf

Lovley D. R. 2008. Extracellular electron transfer: wires, capacitors, iron lungs, and more. Geobiology. Departament of Microbiology, University of Massachuetts. USA. páges 225-231.

Moragues J. y Rapallini A. 2003. Energía Eólica. Instituto Argentino de la Energía "General Mosconi". 22 pág.

Muñoz, C. A. 2008. Caracterización y tratamiento de aguas residuales. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. 296 pág.

Nachwachsende, R. F. 2010. Guía sobre el biogás desde la producción hasta el uso. Editorial FNR, Abt. Öffentlichkeitsarbeit. Alemania. 246 pág.

Normas Mexicanas. Del Sector Agua. 2010. Recuperado el 14 de junio de 2015 de <http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=2&n2=16&n3=2&n4=74>

NOM-112-SSA1-1994. 1994. Determinación de bacterias coliformes. Técnica de número más probable. NORMA Oficial Mexicana, Bienes y Servicios.

Pistonesi C., J Haure J. L., D'Elmar R. Energía a partir de las aguas residuales. 2010. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional. Argentina. 63 pág.

Revelo, D. M, Hurtado N. H. y Ruíz J. 2013. Celdas de combustible microbiana (CCMS) un reto para la remoción de materia orgánica y la generación de energía eléctrica. SciELO Información Tecnológica. Vol. 24. No. 6. La Serena, Chile.

Rico, J. 2007. Energía de la biomasa. Dirección técnica del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. España. 134 pág.

Sanchez, M. S. J. 2003. Energías renovables. Conceptos y Aplicaciones. WWF-Fundación Natura. Quito, Ecuador. 146 pág.

Schallenberg R. J. C., Piernavieja I. G., Hernández R. C., Unamunzaga F. P., García D. R. Díaz T. M., Cabrera P. D., Martel R. G., Pardilla F. J. y Subiela O. V. 2008. Energías renovables y eficiencia energética. 1ª Edición. Instituto Tecnológico de Canarias. 147 pág.

Tomasini O. A. C. 2003. Serie Autodidáctica de Medición de la Calidad del Agua, Muestreo y Preservación para Coniformes Fecales y Huevos de Helminto. Comisión Nacional de Agua e Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 28 pág.