

## Determinación de la materia orgánica en sedimentos de lagunas costeras para la factibilidad del uso de una celda de combustible microbiana para generación de energía sostenible

GARCÍA-NAVARRO, Josefina\*†, BAUTISTA-VARGAS, María Esther, PÉREZ-BRAVO, Sheila Genoveva y CARRILLO-LOERA, Miguel Ángel

*Universidad Politécnica de Altamira*

Recibido Mayo 02, 2016; Aceptado Junio 24, 2016

### Resumen

En México se está impulsando el desarrollo y uso de las energías renovables e invirtiendo en los procesos de producción de energías sostenibles. El sur de Tamaulipas y norte de Veracruz cuentan con grandes sistemas lagunarios, en donde la formación de sedimentos en estas zonas es inevitable; una opción para aprovecharlos es biodegradarlos para producir energía eléctrica y disminuir la contaminación, esto se logra usando una Celda de Combustible Microbiana (CCM). El objetivo de este trabajo es determinar la cantidad de Materia Orgánica (MO) contenida en los sedimentos de tres lagunas costeras. El muestreo se hizo en el 2015 y las muestras se recolectaron con nucleador y draga. La MO se determinó por la técnica de titulación y los resultados se reportan en porcentaje de MO. Se encontraron los mayores promedios de porcentajes de materia orgánica en las lagunas de Pueblo Viejo (21.80%) y las Marismas de Altamira (10.87%), y el menor promedio de porcentajes en San Andrés (7.29%). Los resultados obtenidos de MO se compararon con datos de literatura científica y se determinó la factibilidad del uso de una CCM para el aprovechamiento de la materia orgánica contenida en los sedimentos de estas lagunas, para generar energía sostenible.

**Materia orgánica, sedimentos, lagunas costeras**

### Abstract

In Mexico it is promoting the development and use of renewable energies and investing in the production processes of sustainable energy. Southern Tamaulipas and northern Veracruz have large lagoon systems, where sediment formation in these areas is unavoidable; one option is to take advantage biodegrade to produce electricity and reduce pollution, this is achieved using a Microbial Fuel Cell (MFC). The aim of this study is to determine the amount of organic matter (OM) in sediments of three coastal lagoons. The sampling was done in 2015 and samples were collected with corer and dredge. The OM was determined by titration technique and the results are reported in percentage of organic matter. The highest average percentage of organic matter in the lagoons of Pueblo Viejo (21.80%) and the Marshes of Altamira (10.87%) and the lowest average percentages in San Andrés (7.29%) were found. The results of OM were compared with data from scientific literature and the feasibility of using a CCM for the use of organic matter in sediments of these lakes to generate sustainable energy was determined.

**Organic matter, sediments, coastal lagoons**

**Citación:** GARCÍA-NAVARRO, Josefina, BAUTISTA-VARGAS, María Esther, PÉREZ-BRAVO, Sheila Genoveva y CARRILLO-LOERA, Miguel Ángel. Determinación de la materia orgánica en sedimentos de lagunas costeras para la factibilidad del uso de una celda de combustible microbiana para generación de energía sostenible. *Revista de Energía Química y Física* 2016, 3-7: 15-26.

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: josefina.garcia@upalt.edu.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor

## Introducción

En México se está impulsando el desarrollo y uso de las energías renovables e invirtiendo en los procesos de producción de energías sostenibles, ya que el consumo de energía eléctrica es una necesidad cada día más imperante. A pesar de las diferentes formas de producirla, sigue siendo un reto disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y los impactos ambientales que causan cada una de las distintas formas de producción.

El Golfo de México cuenta con diversos sistemas lagunarios de gran importancia en toda la extensión de su territorio, y el área de estudio de este trabajo son tres lagunas costeras del Golfo de México. Las Marismas de Altamira y San Andrés en el sur del estado de Tamaulipas y la de Pueblo Viejo, en Veracruz.

La formación de sedimentos en estos cuerpos de agua es inevitable y una opción para aprovechar los sedimentos es biodegradarlos para producir energía sostenible.

Con base en lo anterior, la hipótesis de trabajo se establece como: Existe materia orgánica contenida en los sedimentos de tres lagunas costeras del sur de Tamaulipas y Norte de Veracruz, y los valores obtenidos de MO, son factibles para el uso de una CCM y obtener energía sostenible.

Se justifica el uso de los sedimentos marinos para generar energía, ya que una de las características más importantes de éstos, es su capacidad de intercambiar cationes con el medio acuático circundante. La capacidad de intercambio catiónico, mide la capacidad de un sólido, como los sedimentos, para absorber cationes (Stanley, 2006).

Estas propiedades del sedimento favorecen el uso de una Celda de Combustible Microbiana, con el aprovechamiento de la MO, que se define como un conjunto de residuos orgánicos de origen animal y / o vegetal, que están en diferentes etapas de descomposición, y que se acumulan tanto en la superficie como dentro del perfil del suelo (Rosell, 1999). Además, incluye una fracción viva, o biota, que participa en la descomposición y transformación de los residuos orgánicos (Aguilera, 2000).

El carbono orgánico del suelo es el principal elemento que forma parte de la MO, por esto es común que ambos términos se confundan o se hable indistintamente de uno u otro (Martínez *et al* 2008). Por lo tanto la técnica de determinación de MO, se hizo por la técnica de titulación y los resultados se realizaron por la fórmula descrita por Gaudette *et al* 1974.

Son muy diversos los intereses por los cuales se analiza el material orgánico en los sedimentos; mientras los geoquímicos intentan dilucidar el papel que juega la fracción orgánica en el transporte, depositación y retención de elementos traza en sedimentos, los geólogos tratan de explicar algunos procesos sedimentarios considerando el material orgánico. Adicionalmente los biólogos investigan cómo influye la composición química de los sedimentos en los organismos bentónicos (Páez-Osuna, 1983). Por lo que en este trabajo se determinó la cantidad de materia orgánica contenida en los sedimentos superficiales de tres importantes lagunas costeras; dos del sur de Tamaulipas y una del norte de Veracruz, con el propósito de determinar si es factible el aprovechamiento de la MO contenida en este sustrato usando una Celda de Combustible Microbiana.

Ésta es un dispositivo que utiliza microorganismos para convertir la energía química presente en un sustrato en energía eléctrica (Revelo *et al* 2013), por lo que se genera energía sostenible, que podría alimentar eléctricamente a sensores de monitoreo que se ubicarían en los sedimentos de la lagunas y que recolectarían parámetros ambientales de estos ecosistemas.

Las CCM pueden generar energía eléctrica directamente a partir de sedimento marino, lodos activados, aguas residuales domésticas entre otras fuentes de materia orgánica.

Una de las ventajas de esta tecnología es que pueden generar electricidad, a la vez que realizan un tratamiento de aguas residuales.

La capacidad de este tipo de celdas dependerá del tipo de reactor y de la fuente de materia orgánica que se utilice (Logan y Regan, 2006).

El área de estudio comprende las lagunas costeras de las Marismas de Altamira y la de San Andrés en Tamaulipas y la de Pueblo Viejo, en el estado de Veracruz, estos tres embalses tienen una conexión con el mar, sujetas a diferentes niveles y tipos de contaminación, producto de diferentes actividades humanas.

Ubicadas en la llanura costera del Golfo de México, consideradas entre las lagunas más importantes de este gran ecosistema costero con desembocaduras de ríos caudalosos, clima costero semiárido, con gran diversidad de especies de organismos y alta producción pesquera (Contreras, 1993).

Las lagunas costeras se caracterizan por poseer un ambiente de cambio continuo derivado de los efectos hidrológicos ocasionados por el encuentro de dos masas de agua de diferente origen y representan el mejor índice de la calidad de la cuenca.

Dichas características, trae como resultado la presencia de diversos hábitats que permiten el establecimiento de organismos, poblaciones e inclusive comunidades con diferentes requerimientos.

El hecho de que existan áreas de influencia dulceacuícola permanente, propicia la colonización de organismos de origen acuático continental y, por otro lado, la entrada de agua de mar provee de especies de origen marino, estas condiciones favorecen la presencia de materia orgánica en los sedimentos de los embalses costeros.

Además hay presencia casi permanente de extensas áreas en donde las condiciones salobres de 10 a 25 ppm propician un entorno hidrológico ideal para el desarrollo de organismos típicamente estuarinos y/o muy bien adaptados a éste.

De manera general la cantidad de especies de peces por laguna varía en promedio entre 50 y 100, la de moluscos entre 50 y 90 y la de crustáceos entre 40 y 70.

Por otro lado las lagunas costeras están en su mayoría estrechamente ligadas con bosques de manglar, que constituyen hábitats muy ricos para las aves (se reconocen 1,038 especies de aves en México representando a 86 familias), reptiles y mamíferos (Contreras y Castañeda en Caso *et al* 2004 Vol. 1).

Los estuarios y lagunas costeras tienen la capacidad de mantener materia suspendida estableciendo un equilibrio sedimentario. Las propiedades de la consolidación, cohesión y floculación, así como los obstáculos que sufren las partículas para sedimentarse, son debidas principalmente al retraso por asentamiento y rozamiento, junto a un medio muy dinámico donde los vientos, las corrientes, las mareas y el tipo de partículas presentes, formarán zonas muy características.

La distribución de los sedimentos de una laguna está controlada principalmente por las condiciones hidrológicas.

En los canales de la laguna donde la velocidad es alta, los sedimentos arenosos predominan y las ramificaciones por corrientes están comúnmente desarrolladas.

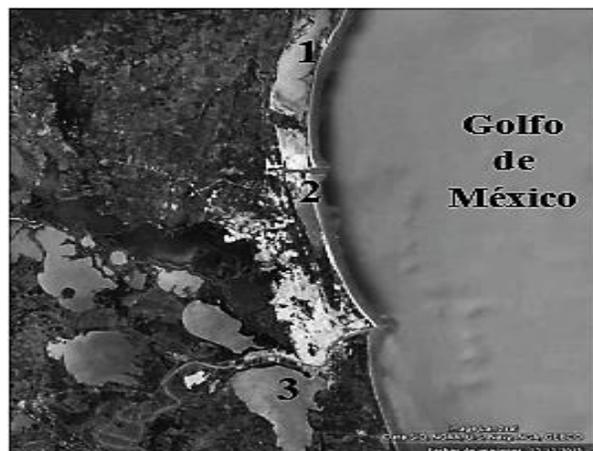
En canales con corrientes de baja velocidad predominan los sedimentos limosos y lodosos (Contreras, 1993).

Por la importancia que representan las lagunas costeras de estudio en este trabajo, los resultados obtenidos de materia orgánica, apoyan a identificar si estos cuerpos de agua son factibles de aprovechar los sedimentos usando CCM y dar continuidad en otro trabajo para obtener energía sostenible a partir del aprovechamiento de la MO.

## Metodología

### Área de estudio

El área de interés en la cual se determinó la cantidad de materia orgánica de los sedimentos superficiales, comprende las lagunas San Andrés y Marismas de Altamira en Tamaulipas, y la de Pueblo Viejo en Veracruz, las cuales se muestran en la Figura 1.



**Figura 1** Área de estudio: 1. Laguna de San Andrés y 2. Marismas de Altamira, en Tamaulipas y 3. Pueblo Viejo en Veracruz

## Muestreo

El periodo de muestreo se realizó por época del año en el transcurso del 2015, tomando en consideración los aspectos climáticos que marcan de manera importante la dinámica de los cuerpos lagunares. Se hicieron muestreos en tres temporadas, la época de seca (mediados de Marzo a Junio), la época de lluvia (Julio a Octubre) y en nortes (Octubre a principios de Marzo). Las fechas de muestreo, para las lagunas de estudio se muestran en la Tabla 1.

Laguna	Época seca	Época lluvia	Época norte
San Andrés	9 de mayo	26 de agosto	2 de diciembre
Marismas de Altamira	5 de mayo	15 de octubre	3 de diciembre
Pueblo Viejo	7 mayo	16 de octubre	4 diciembre

**Tabla 1** Fechas de muestreo de las dos lagunas de estudio en las tres épocas del año en el transcurso del 2015

### Determinación y ubicación de las estaciones de muestreo

En la determinación de las estaciones de muestreo en los embalses costeros, se consideraron características fisiográficas de las lagunas, como profundidad, conexiones con el mar, desembocaduras de ríos de agua dulce, descargas residuales y focos probables de contaminación, con el objetivo de encontrar materia orgánica en los sedimentos proveniente de varios orígenes. La ubicación de los sitios de muestreo se observan en las Tablas 2, 3 y 4.

Laguna	Estaciones de muestreo	Localización	Observaciones
San Andrés (SA), Tamaulipas	SA1	N 22°34'24.1" W 97°52'26.7"	En la desembocadura del Río Barberena
	SA2	N 22°39'06.5" W 97°51'4.6"	Sitio cercano al estanque acuícola ACUATAM y a las descargas registradas de CONAGUA
	SA3	N 22°42'46.7" W 97°51'03.3"	Cerca de la desembocadura del Río Tigre
	SA4	N 22°47'21.7" W 97°48'05.3"	En la descarga del estanque acuícola ACUACAM, el punto más al norte de la laguna a muestrear
	SA5	N 22°41'05.3" W 97°51'03.8"	En la barra de Chavarría, ubicado en la conexión con el mar de la laguna

**Tabla 2** Localización y observaciones de las estaciones de muestreo de la Laguna de San Andrés, Tamaulipas

Laguna	Estaciones de muestreo	Localización	Observaciones
Marismas de Altamira (MA), Tamaulipas	MA1	N 22°27'30" W 97°52'00"	Parte Norte, aguas con mayor influencia marina, por la conexión con el mar
	MA2	N 22°25'30" W 97°51'30"	Cerca de un canal que viene de la Laguna el Conejo y que desemboca en las Marismas
	MA3	N 22°23'00" W 97°51'00"	Punto con menos influencia marina
	MA4	N 22°22'00" W 97°50'30"	En la parte sur de la laguna, entrando por el corredor urbano
	MA5	N 22°19'46" W 97°50'23.2"	Influencia, de lagunas de Madero, colindando con colonias de Altamira.

**Tabla 3** Localización y observaciones de las estaciones de muestreo de la Laguna Marisma de Altamira

Laguna	Estaciones de muestreo	Localización	Observaciones
Pueblo Viejo (PV), Veracruz	PV1	N 22°11'00"	En el canal Malagana, donde desemboca el Río Pánuco.
		W 97°51'30"	
	PV2	N 22°11'04.2"	En la isla Matacuaya, donde se localizan los bancos de ostiones, para consumo de la población.
		W 97°55'10.9"	
	PV3	N 22°08'49.5"	Localizado en la cercanía de la descarga de la "Granja camaronícola Sabrivane".
		W 97°54'00.5"	

	PV4	N 22°06'32.9"	Cerca de la desembocadura del estero Tamacuil y el estero la Puerca.
		W 97°51'43.9"	
	PV5	N 22°09'15"	En la parte intermedia de la laguna al Este.
		W 97°51'30"	

**Tabla 4** Localización y observaciones de las estaciones de muestreo de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz

### Laguna de San Andrés, Tamaulipas

Estado: Tamaulipas<sup>[1]</sup> Localización: En los 22° 47' y 22° 32' de latitud norte y los meridianos 97°54' y 97° 41' de longitud oeste.<sup>[1]</sup> Extensión: 9700 ha. Se ubica en el litoral del Golfo de México, entre los municipios de Aldama y Altamira en Tamaulipas (Figura 2), el agua dulce de estos sistemas la proporcionan los ríos Tigre y Barberena. (Contreras, 1993). Es una laguna muy somera, con poca vegetación alrededor de la laguna, no presenta descargas urbanas en la mayoría de su litoral, pero si tiene dos descargas de granjas camaronícolas ubicadas por la Comisión Nacional de Agua (CONAGUA).



**Figura 2** Ubicación de las estaciones de muestreo de la laguna de San Andrés, Tamaulipas

La laguna de San Andrés es un cuerpo acuático polihalino en su mayor parte, con un rango de salinidad entre 20 y 45‰, excepto en las zonas aledañas a las desembocaduras de los ríos Tigre y Barberena, en donde la salinidad es baja en época de lluvias. Esta conectada al Golfo de México por la Barra de Chavarría (punto de muestreo SA5).

En cuanto al parámetro de salinidad, los rangos en los que se encuentra la laguna son muy variados, ya que hay puntos con salinidad muy bajas, y unos con concentraciones muy altas, por ejemplo, en las áreas más someras de la laguna, donde hay mucha evaporación del agua. (Contreras, 1993). Es una laguna de alta actividad pesquera, se produce camarón, ostiones (*Crassostrea virginica*), jaiba y algunas especies de pescado, tiene varias cooperativas de pesca a su alrededor, dada la importancia de esta actividad.

### Laguna las Marismas de Altamira, Tamaulipas

Estado: Tamaulipas<sup>[1]</sup> Localización: 22°13' y 22°05' latitud norte y 97° 57' y 97°50' latitud oeste. Extensión: 9500 ha.

Se localiza en el municipio de Altamira, Tamaulipas, cuenta con la entrada de agua dulce, por medio de pequeñas lagunas que desembocan en ella, es de profundidad somera, con gran productividad pesquera, se encuentra jaibas, algunas especies de pescados (Figura 3).

Se encuentra en la zona industrial del puerto de Altamira, por tal razón en algunos puntos de la laguna hay descargas industriales, y se encuentra afectada por la zona conurbada de Madero, Tampico y Altamira.



**Figura 3** Ubicación de las estaciones de muestreo de la laguna Marismas de Altamira, Tamaulipas

### Laguna de Pueblo Viejo, Veracruz

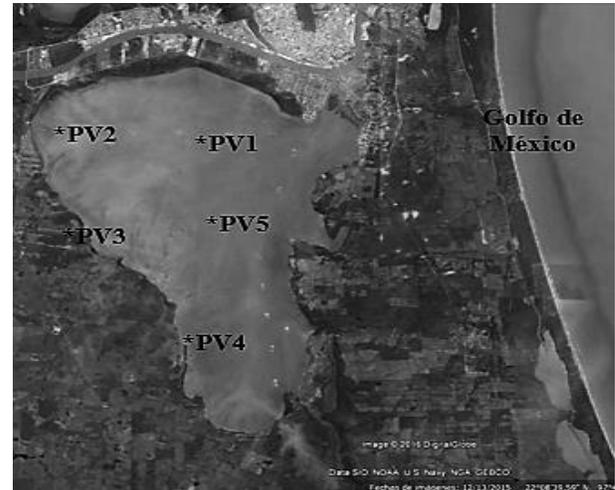
Estado: Veracruz<sup>[SEP]</sup> Localización: 22o 13'y 22o 05' latitud norte y 97o 57'. 97o 50' latitud oeste  
Extensión: 9300 ha.

Se localiza en el municipio de Villa Cuauhtémoc, el norte del estado de Veracruz. Limita con el río Pánuco al norte, con el cual se comunica mediante un canal situado en su parte noreste; al este limita con Ciudad Cuauhtémoc y Tampico Alto (Figura 4).

En su interior existen varias islas pequeñas, y sobresale la Isleta Grande. Desembocan los ríos La Tapada, Pedernales, La Cuásima, La Puerca y Tamacuil, éste último es el más importante por su mayor tamaño; los restantes conducen gastos significantes únicamente en la época de lluvias.

La corriente del río Pánuco, es la más importante ya que condiciona en gran parte las características hidrológicas y fisicoquímicas del ecosistema. Este sistema estuarino-lagunar es somero, su profundidad mayor es de 1.5 metros y esta se presenta en la zona central.

En los extremos generalmente al norte, la profundidad disminuye y llega a un promedio de un metro. En su eje norte- sur hacia el este y en sentido este-oeste existen dos canales de navegación con profundidad media de 1.5 metros (Contreras, 1993).



**Figura 4** Ubicación de las estaciones de muestreo de la laguna Marismas de Altamira, Tamaulipas

### Técnicas de muestreo

Una técnica de muestreo de fondos someros, es el nucleador, es un tubo de PVC de aproximadamente 20 cm de diámetro, que permite realizar muestreos en zonas de baja profundidad (Figura 5). Este equipo es de fácil manejo, se introduce en el suelo de la laguna y se obtiene la muestra de sedimento superficial.

Las muestras del fondo de mayor profundidad se obtienen con unos equipos denominados dragas, esta técnica permite conocer los tipos de sedimento que conforman el fondo marino o de cuerpos costeros (Holme y Mc Intyre, 1971).

Estas dos técnicas de muestreo son publicadas por el Programa de Biología Internacional, (Internacional Biological Programme, IBP), dicho programa maneja todos los Métodos de estudio del bentos marino. Son las técnicas más utilizadas y referenciadas a nivel internacional, como es el caso de Francia, donde se utilizan en conjunto con el comité francés y la IBP (Lamotte y Bourliere, 1971).

Las dragas permiten una obtención superficial del sedimento, pero sin una preservación de los primeros centímetros de su estratigrafía ya que aparecen removilizados. Además, desde el punto de vista tecnológico su utilización y manejo a bordo es fácil por lo que puede ser empleado incluso en condiciones de mala mar (Grupo de Geología Marina del Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona, 2005).



**Figura 5** Técnicas de muestreo de sedimentos superficiales: Nucleador y Draga

### Colecta y Preservación de la muestra.

El material y equipo de muestreo son frascos o bolsas de polietileno o polipropileno, draga, nucleador, hielera, hielo y cubetas.

Se tomaron de 300 a 500 g de sedimento con una draga de gravedad o nucleador, según la profundidad de la laguna, la muestra recolectada se vació en un tamiz y se puso en un frasco de plástico o bolsas Ziploc<sup>MR</sup>. Las muestras se colocaron en una hielera y posteriormente se refrigeraron a  $4 \pm 2^\circ \text{C}$ , con una duración de seis meses.

### Análisis para la determinación de materia orgánica por titulación

1. La muestra se seco en la estufa ( $90-100^\circ \text{C}$ ) y se tamizó (Tamiz no metálico 0.2 mm).
  2. Se depositó de 0.2 a 0.5 g de sedimento en un matraz erlenmeyer de 250 ml, se le agregó 10 ml de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  1 N (con bureta volumétrica) y se agitó suavemente.
  3. Se agregó 20 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado (con bureta volumétrica) y se agitó la mezcla por un minuto.
  4. En una campana de extracción, se calentó la muestra en parrilla de calentamiento a  $90^\circ \text{C}$  durante 10 minutos, colocando una cama de sal como base.
  5. Se diluyó la solución a 200 ml con agua destilada y se le agregó 10 ml de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  al 85%, 0.2 g de NaF (fluoruro de sodio) y 15 gotas de difenilamina.
  6. Se tituló la solución con sulfato ferroso de amonio 0.5 N hasta que presento una coloración verde brillante.
  7. Se corrió un blanco exactamente igual pero sin sedimento.
  8. Los resultados se obtuvieron por la siguiente fórmula, descritas por Gaudette *et al* 1974.
- $$\% \text{ Carbono Orgánico} = 10 (1 - (T/S)) (1.0 \text{ N}) (0.003) (100/W)$$

Donde:

T = ml de la solución de sulfato ferroso de amonio gastados en la titulación de la muestra.

S = ml de la solución de sulfato ferroso de amonio gastados en la titulación del blanco estándar.

$0.003 = 12/4,000 =$  peso meq del carbono

1.0 N = normalidad de  $K_2Cr_2O_7$

10 = volumen de  $K_2Cr_2O_7$  en ml

W = peso de la muestra en gramos

## Resultados

### Laguna de San Andrés, Tamaulipas

Los resultados de materia orgánica en sedimento de la laguna de San Andrés, Tamaulipas, de las tres épocas del año, se presentan en la Tabla 5. El mayor porcentaje de MO, se presentó en época de seca, se observa que los puntos de mayor contenido de materia orgánica se dan en SA3, que es el sitio de muestreo localizado en la desembocadura del río Tigre, quizá ésta sea la fuente de materia orgánica de este punto.

Estación	Seca (% de MO)	Lluvias (% de MO)	Norte (% de MO)
SA1	10.45	8.66	6.69
SA2	9.29	9.03	7.06
SA3	11.2	9.82	8.26
SA4	10.75	8.59	7.34
SA5	9.23	7.29	7.14
Promedio	10.18	8.67	7.29

**Tabla 5** Porcentaje de materia orgánica en sedimento de la laguna de San Andrés, Tamaulipas, de las tres épocas del año

### Laguna Marismas de Altamira, Tamaulipas

Los resultados de materia orgánica en sedimento de la laguna Marismas de Altamira, Tamaulipas, de las tres épocas del año, se presentan en la Tabla 6. Se observa que el mayor porcentaje de materia orgánica se encuentra en la época de seca, no presentándose mucha variación entre los porcentajes entre estaciones de muestreo, de esta temporada.

Estación	Seca (% de MO)	Lluvias (% de MO)	Norte (% de MO)
MA1	10.73	9.51	9.29
MA2	11.81	10.47	7.49
MA3	12.94	10.11	10.09
MA4	9.75	9.71	8.32
MA5	9.14	8.31	6.54
Promedio	10.87	9.62	8.34

**Tabla 6** Porcentaje de materia orgánica en sedimentos de la laguna Marismas de Altamira, Tamaulipas, de las tres épocas del año

### Laguna de Pueblo Viejo, Veracruz

Los resultados de materia orgánica en sedimento de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz de las tres épocas del año, se presentan en la Tabla 7. Los valores más altos se presentan en época de lluvia, destacando como el mayor los porcentajes de la estación PV3, pudiendo ser la fuente de MO la cercanía de la descarga de la Granja camaronícola Sabrivane.

Estación	Seca (% de MO)	Lluvias (% de MO)	Norte (% de MO)
PV1	11.75	22.37	8.69
PV2	11.81	23.19	9.94
PV3	10.68	27.5	10.14
PV4	9.42	19.85	7.26
PV5	9.82	16.11	10.06
Promedio	10.69	21.80	9.15

**Tabla 7** Porcentaje de materia orgánica en sedimentos de la laguna de Pueblo Viejo, Veracruz de las tres épocas del año

## Conclusiones

Si se encontró materia orgánica en las tres lagunas de estudio en un rango de 7.29% y 21.80%, con lo que se confirma la presencia de materia orgánica en los sedimentos de éstos cuerpos de agua.

Se encontraron mayores porcentajes de MO en dos lagunas en las época de seca, un promedio de 10.87% para las Marismas de Altamira y 10.18% para San Andrés, y el caso de la laguna de Pueblo Viejo, el valor máximo de materia orgánica fue en época de lluvia, con un promedio máximo de 21.80%. Los menores porcentajes son en la época de norte, y el promedio mínimo de 7.29% lo presento la laguna de San Andrés.

Tomando como referencia la información de determinaciones de porcentaje de materia orgánica contenidas en muestras de sedimentos superficiales, reportados por Li, 2013 (Tablas 8), se concluye que: considerando los promedios de los porcentajes obtenidos en las tres épocas del año; dos de las lagunas de estudio, si contienen niveles de materia orgánica superiores a los obtenidos por Li, 2013 (Marismas y Pueblo Viejo).

Si se combina la información de las tablas 8 y 9 y comparándolo con las mediciones de MO obtenidas en este trabajo, se concluye que con los porcentajes de materia orgánica de la laguna de Pueblo Viejo y la de las Marismas de Altamira (promedios de), si se podría generar energía a pequeña escala, con los valores obtenidos de MO de dos de las lagunas de estudio. Y en términos generales en una CCM la producción de energía es muy baja, en algunos trabajos se describen aplicaciones asociadas a sistemas electrónicos de bajo consumo (Du et al., 2007).

Tipo de muestra del sedimento	Mediciones de porcentaje de materia orgánica		
	Primera %	Segunda %	Tercera %
Sedimentos superficiales	8	8.5	8.2

**Tabla 8** Porcentaje de materia orgánica versus tipo de muestra. *Fuente. Li, 2013*

Tipo de muestra del sedimento	Mediciones de electricidad en mV		
	Primera (mV)	Segunda (mV)	Tercera (mV)
Sedimentos superficiales	108	110	99

**Tabla 9** Electricidad producida versus tipo de muestra. *Fuente. Li, 2013*

Con lo anterior se determina la factibilidad del uso de una CCM para el aprovechamiento de la MO contenida en los sedimentos de las lagunas: las Marismas de Altamira en Tamaulipas y la de Pueblo Viejo en Veracruz. Se propone el uso de una Celda de Combustible Microbiana, ya que estas pueden generar energía eléctrica directamente a partir de sedimento marino, lodos activados, aguas residuales domésticas entre otras fuentes de materia orgánica.

Una de las ventajas de usar este tipo de celdas, es que pueden generar electricidad, a la vez que realizan un tratamiento de aguas residuales (Logan y Regan, 2006).

Además que las celdas de combustible microbianas son una alternativa a métodos convencionales de generación de electricidad, para aplicaciones a pequeña escala (Sacco, 2008), y presentan un potencial para suministrar energía a sensores ambientales en lugares remotos (Li, 2013).

En virtud de lo anterior, este trabajo tuvo por objetivo determinar la materia orgánica contenida en los sedimentos superficiales de tres lagunas costeras y dará continuación al proyecto de “Generación de energía sostenible a partir de una CCM aprovechando la materia orgánica contenida en sedimentos de las lagunas Marismas de Altamira en Tamaulipas y la de Pueblo Viejo en Veracruz”.

## Referencias

- Aguilera, S.M., 2000. Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección de Suelo. Boletín N° 14. Valdivia, Chile, 77-85 pp.
- Contreras, E. F. 1993. Ecosistemas Costeros Mexicanos. Comisión Nacional para el conocimiento y uso de la Biodiversidad. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. México 67 pp.
- Contreras, E. F. y Castañeda, L.O. 2004. Lagunas Costeras y Estuarios del Golfo de México: Hacia el establecimiento de índices ecológicos. En Caso M, Pisanty I, y Ecurra E. (Compiladores) Diagnóstico Ambiental del Golfo de México Vol. 1. México. 373–416 pp.
- Du, Z., Li, H. and Gu, T. A State of the Art Review on Microbial Fuel Cells: A Promising Technology for Wastewater Treatment and Bioenergy". *Biotechnology Advances*, Vol. 25, No. 5, 2007, 464- 482 pp.
- Gaudette, H. E., Flight W. R., Toner L. y Folger D. W. 1974. An inexpensive titration method for the determination of organic carbon in recent sediments. *J. Sediments Petrol.*, Estados Unidos de América. 44 (1): 249–253 pp.
- Grupo de Geología Marina del Instituto de Ciencias del Mar de Barcelona – CSIC, 2005. Técnicas de Análisis Granulométrico, Técnicas de Muestreo. [http://www.icm.csic.es/geo/gma/tema2/2\\_4.htm](http://www.icm.csic.es/geo/gma/tema2/2_4.htm)
- Holme, N.A. y Mc Intyre. A.D. 1971. Methods for the Study of Marine Benthos. IBP Handbook. No. 16. International Biological Programme. Marylebone Road, London. 98-99 pp.
- Lamotte, M. y Bourliere, F. 1971. Problèmes d'Écologie: L'Echantillonnage des Peuplements Animaux des Milieux Aquatiques. Masson Et Cie, Éditeurs. Paris. 18-26 pp.
- Li J., 2013. An Experimental Study of Microbial Fuel Cells for Electricity Generating: Performance Characterization and Capacity Improvement. *Journal of Sustainable Bionergy Systems*. 3: 171-178.
- Logan B.E. y Regan J. M., 2006. Microbial fuel cells: Challenges and applications. *Environmental Science & Technology*. 40: 5172-5180.
- Martínez, E., Fuentes, E. J.P., Acevedo H. E., 2008. Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*. Vol.8. No.1 Temuco. On-line ISSN 0718-2791.
- Páez- Osuna, F, L. Fong-Lee, M, Fernández-Pérez, H, 1983. Comparación de tres técnicas para analizar Materia Orgánica en sedimentos, nota científica. Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM.
- Revelo, D.M., Hurtado, N.H. y Ruiz, J.O., 2013. Celdas de Combustible Microbianas (CCMs): Un reto para la Remoción de Materia Orgánica y la Generación de Energía Eléctrica. *Información Tecnológica*. Vol.24 (6). 17-28pp.

Rosell, R.A., 1999. Materia orgánica, fertilidad de suelos y productividad de cultivos. Proceed. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. (Texto completo en CD Rom.) Pucón, Chile.

Sacco, N, Bonett, M.C. y Corton, E., 2008. Generación de Electricidad en una Celda de Combustible Microbiana Mediada Utilizando Micro-ánodos Descartables. Revista Iberoamericana de Sensores. Vol. 6. No. 2. Buenos Aires, Argentina.

Stanley E. M., 2006. Introducción a la Química Ambiental. Reverte. ISBN 8429179070.