



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**FLUJOS DE CARBONO EN EL ÁREA NATURAL
PROTEGIDA LAGUNA DE TÉRMINOS DURANTE LA
ÉPOCA DE SECAS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G O

P R E S E N T A

JUAN ANTONIO CORRALES PALOMARES



DIRECTORA DE TESIS

DRA. MARÍA DE LA LUZ ESPINOSA FUENTES

2014



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

DEDICATORIA

Son muchas las personas a las que me gustaría agradecer su amistad, apoyo, ánimo y compañía a lo largo de este pequeño paso en mi vida y que espero sigan a mi lado en todo el camino que aun tengo por recorrer, es por ello que quiero dedicarles esta tesis.

A mis padres, a quienes hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre en mi corazón y todo mi agradecimiento.

Guillermina y Juan

A ti que te volviste parte muy importante de mi vida, con quien he compartido muchos momentos de felicidad y de risas, gracias por todo el tiempo y apoyo que me has brindado para poder dar fin a este pequeño paso en mi vida. Te amo.

Victoria

A él amigo que se convirtió en mi hermano, a quien sin importar la situación estuvo para apoyarme y darme ánimos para seguir adelante

A mi gran amigo y hermano Antonio.

A mis amigos, a esas personas con quienes compartí desde que esta aventura comenzó, gracias por su apoyo y por tantas risas junto a ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ciencias por permitirme realizar mis estudios profesionales.

Al apoyo otorgado por PAPIIT al concederme una beca para la finalización de mis estudios de licenciatura con el proyecto que tiene por número de convenio IN106413, titulado “Vulnerabilidad de la zona natural protegida Laguna de Términos frente al cambio climático”.

A la Dra. María de la Luz Espinosa Fuentes por brindarme la oportunidad, así como su tiempo, dedicación, confianza y apoyo para la realización de esta tesis bajo su dirección.

A la Dra. María Amparo Martínez Arroyo, la Dra. Telma Castro Romero, al Dr. Oscar Peralta Rosales y al laboratorio de Aerosoles Atmosféricos por brindarme el apoyo y todas las facilidades en equipo y material para la realización de esta tesis.

A la Química María Isabel Saavedra Rosado, por todo su apoyo para la correcta determinación de carbono por coulombimetría de las muestras y por dedicar parte de su tiempo en enseñarme la técnica de trabajo para el correcto desarrollo de la metodología.

A él M. en C. José Manuel Hernández Solís, por su tiempo y ayuda para el montaje y enseñanza del método de cromatografía de gases, indispensable para el desarrollo de esta tesis.

Finalmente un agradecimiento a mi comité evaluador por tomarse el tiempo para la revisión de este trabajo y enriquecerlo con sus comentarios y sugerencias.

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN.....	9
Gases de efecto invernadero	9
Interacción océano-atmósfera	11
Productividad primaria en lagunas costeras.....	16
Lagunas costeras como fuentes o sumideros de carbono.....	17
Áreas naturales protegidas	19
ANTECEDENTES	21
OBJETIVO GENERAL.....	29
Objetivos particulares	29
HIPÓTESIS	30
MATERIAL Y MÉTODOS.....	30
Área de estudio	30
Hidrología.....	32
Vegetación.....	34
Fisicoquímica	36
Trabajo de campo	38
Análisis de laboratorio y manejo de datos.	41
RESULTADOS.....	44
Análisis bibliográfico sobre la Laguna de Términos	44
Comportamiento ambiental.....	49
Concentración de CO ₂ y CH ₄	51
Interfase agua-aire	51
Interfase sedimento-aire	51
Columna de agua	52
CO ₂ y CH ₄	52
Clorofila a.....	54
Carbono en agua	55
Carbono en aire	56
Flujos de CO ₂ y CH ₄	57
Manglar	59

CO ₂ ambiente en zona de manglar	59
Flujos de CO ₂	59
Flujos de CH ₄	60
Análisis estadístico	61
DISCUSIÓN.....	64
Propiedades fisicoquímicas.....	64
Análisis de carbono.....	71
Repercusión ecológica de las zonas costeras ante el cambio climático.....	80
CONCLUSIONES	82
LITERATURA CITADA.....	84

Lista de Tablas y Figuras

Tabla 1. Promedios de productividad por ecosistema en peso seco/m²/año.

Tabla 2. Recopilación de los estudios relacionados con el cálculo de flujos de CO₂.

Tabla 3. Recopilación de los estudios relacionados con el cálculo de flujos de CH₄.

Tabla 4. Localización de las estaciones muestreadas en Laguna de Términos.

Tabla 5. Características del estándar certificado de calibración.

Tabla 6. Recopilación de los diversos estudios realizados en la Laguna de Términos con respecto a las variables fisicoquímicas.

Tabla 7. Promedio de las variables físicas y químicas del agua de superficie y fondo de la Laguna de Términos registradas durante las Campañas I y II.

Tabla 8. Concentraciones de gas (CO₂-CH₄) en la interfase agua-aire, para las Campañas I y II.

Tabla 9. Concentraciones de gas (CO₂-CH₄) en la interfase suelo-aire de la zona de manglar.

Tabla 10. Estadísticos de grupo para cada parámetro y para cada campaña de muestreo.

Tabla 11. Resultados del estadístico de prueba; Prueba de t para la comparación de medias muestrales (2012 vs. 2013) aplicado a cada parámetro.

Tabla 12. Interpretación de los valores de la prueba de t para los muestreos (2012 vs. 2013)

Tabla 13. Intervalos de concentración de oxígeno disuelto y sus consecuencias ecosistémicas (Tomado de Goyenola, 2007).

Figura 1. Esquema simplificado de las principales transformaciones de carbono en los humedales. Ciclo del Carbono (Hernández, 2010).

Figura 2. Área de Protección de Flora y Fauna “Laguna de Términos” (Secretaría de Medio Ambiente y Aprovechamiento Sustentable, Gobierno del Estado de Campeche, 7/Junio/2013).

Figura 3. Concentración de CO₂ atmosférico en ppm, representando la concentración global promedio de CO₂ (NOAA, 2013).

Figura 4. Promedio global de la concentración de CH₄ en ppb (NOAA, 2013).

Figura 5. Hidrología del Sistema Lagunar Laguna de Términos (INE, 2012).

Figura 6. Área de estudio y ubicación de los sitios de muestreo.

Figura 7. Concentración de CO_2 en superficie y fondo en los diferentes sitios de muestreo, (A) Campaña I y (B) Campaña II.

Figura 8. Concentración de CH_4 en superficie y fondo en los diferentes sitios de muestreo, (A) Campaña I y (B) Campaña II.

Figura 9. Concentración de clorofila a en superficie y fondo en los diferentes sitios de muestreo. (A) Campaña I y (B) Campaña II.

Figura 10. Concentración de las distintas especies de carbono en los sitios de muestreo, (A) superficie y (B) fondo de la Campaña I; (C) superficie y (D) fondo de la Campaña II.

Figura 11. Concentración de carbono orgánico (CO) y carbono elemental (CE) en aire, (A) Campaña I y (B) Campaña II.

Figura 12. Flujos de CO_2 en los diferentes sitios de muestreo. (A) Campaña I y (B) Campaña II.

Figura 13. Flujos de CH_4 en los diferentes sitios de muestreo. (A) Campaña I y (B) Campaña II.

Figura 14. Concentración de CO_2 en aire en la zona de manglar durante un ciclo de 24 horas.

Figura 15. Flujos de CO_2 en la mañana (A) y tarde (B) de la zona de manglar en ambos periodos de muestreo.

Figura 16. Flujos de CH_4 en la mañana (A) y tarde (B) de la zona de manglar en ambos periodos de muestreo.

RESUMEN

Se evaluó el comportamiento de la Laguna de Términos establecida como Área de Protección de Flora y Fauna en relación a la captura y emisión de dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), así como la determinación de concentraciones de las distintas especies de carbono y clorofila *a* en agua de superficie y fondo y su relación con las condiciones ambientales durante la época de secas en cuatro sitios representativos del área de estudio cubriendo la zona de manglar, pastos marinos y descarga de ríos. Se realizaron dos campañas experimentales: campaña I en mayo de 2012 y campaña II en mayo de 2013. Se establecieron cinco sitios de muestreo en la zona oeste de la laguna: la estación 1 (E1) se encuentra cerca de la isla Matamoros, la estación 2 (E2) se ubica en el suroeste de la laguna y está influenciada por aportes de agua dulce provenientes de Río Palizada, la estación 3 (E3) se localiza al extremo oeste de la laguna en la zona de Atasta, la estación 4 (E4) se localiza en un canal de manglares atravesando la Isla del Carmen y la estación 5 (E5) se sitúa en una zona de mangle al borde de Estero Pargo.

Las mayores concentraciones de CO_2 y CH_4 tanto en la interfase agua-atmósfera como en columna de agua se registraron durante los dos periodos de muestreo en las estaciones de Palizada y Atasta y en las estaciones de Isla Matamoros y Estero Pargo, respectivamente. Las mayores concentraciones de CI (36.2 - 39.9 mg/l) se registraron en la estación ubicada en Palizada mientras que los de COT (4.8 - 9.8 mg/l) se observaron en Estero Pargo. En la campaña I las estaciones E1 y E4 registraron una captura de CO_2 del ambiente, la E2 presento una emisión y la E3 presento un equilibrio entre captura y emisión. En la campaña II las estaciones E1 y E4 se comportaron como sumideros de CO_2 y las estaciones E2 y E3 como fuentes. En ambos periodos la zona de estudio fue emisora de CH_4 y la estación ubicada en manglar (E5) fue emisora de CO_2 en ambos muestreos. En la campaña I el sitio de estudio se comporto como un emisor de gases de efecto invernadero (116 mg/m²/h para CO_2 y 2.3 mg/m²/h para CH_4), mientras que para la campaña II se comporto como capturador de CO_2 (-250 mg/m²/h) y emisor de CH_4 (3.3 mg/m²/h). Las variaciones de los parámetros estudiados están regidos en su mayoría por procesos naturales de la laguna ya que al ser una ANP y un sitio RAMSAR, se observó que el impacto de las actividades antrópicas han sido las mínimas y gracias a ello mantener un ecosistema saludable.

Palabras clave: flujos de carbono, gases de efecto invernadero, metano, dióxido de carbono, Laguna de Términos, cambio climático.

INTRODUCCIÓN

Gases de efecto invernadero

Los conceptos de efecto invernadero y de cambio climático están ampliamente relacionados, ya que gracias a la presencia de los gases de efecto invernadero la temperatura del planeta es como hoy se conoce, dicho calentamiento ha ocurrido en forma natural en la atmósfera, es así que la temperatura en el planeta se ha mantenido constante permitiendo la subsistencia de la vida, y si ese efecto invernadero de carácter natural estuviera ausente, la temperatura del planeta sería unos 30° C más fría de lo que hoy es (IPCC, 2007).

Es por ello que la presencia en la atmósfera de algunos de estos gases, como el dióxido de carbono (CO₂) y el metano (CH₄), implica un incremento en la temperatura del aire debido a que estos gases permiten el paso de la radiación solar, para después absorber una parte de la radiación infrarroja re-emitida desde la Tierra. Por ende, la temperatura del planeta depende (en parte) de las concentraciones atmosféricas de los gases de efecto invernadero; sin embargo, el aumento de emisiones ligado a la actividad humana ha supuesto un incremento sustancial de las emisiones totales, especialmente en los últimos años, y la consiguiente alarma sobre las consecuencias de un calentamiento global (IPCC, 2007) lo que llevaría a la generación de cambios radicales en los patrones climáticos y múltiples efectos en el equilibrio de los ecosistemas.

El CO₂ y CH₄ son los gases de efecto invernadero más importantes generados por la acción humana, debido a la producción industrial, el transporte, la deforestación y la agricultura, representando el 64% y 19% de las emisiones respectivamente [CDIAC (Carbon Dioxide Information Analysis Center), 2000]

Marland *et al.*, (2007) afirmaron que la concentración de CO₂ en la atmósfera de la Tierra se ha incrementado durante el último siglo a una tasa de 4 giga toneladas de carbono (Gt C) por año y seguirá incrementándose por la elevada producción industrial de CO₂, debido principalmente a la quema y combustión de carbón, petróleo, y gas natural y a la producción de cemento que está produciendo cerca del 65 % del CO₂ adicional presente en

la atmósfera, mientras que el restante 35 % proviene de la deforestación y de la conversión de los ecosistemas naturales a sistemas agrícolas posteriormente este CO₂ estaría siendo capturado por las plantas como CO₂ atmosférico y disolviéndose en aguas frías del océano, sin embargo, un aumento sin control de este gas puede tener repercusiones ambientales sobre las poblaciones vegetales, animales y sobre el equilibrio de la diversidad biológica ya que el recalentamiento del planeta podría tener consecuencias catastróficas tales como sequías, epidemias, inundaciones, el aumento del nivel del mar y la pérdida de ecosistemas y especies.

El metano es caracterizado por ser el segundo compuesto que más contribuye al efecto invernadero siendo su potencial de calentamiento de entre 21 y 23 veces mayor al del dióxido de carbono (Batoool y Chuadhry, 2008).

El metano se produce en ambientes anóxicos durante el proceso de descomposición de la materia orgánica (metanogénesis) por bacterias metanogénicas (Woese *et al.*, 1990). Estas bacterias se encuentran en ambientes muy diversos como el tracto gastrointestinal de animales e insectos (Zinder, 1993), zonas de humedales, plantaciones de arroz, sedimentos dulceacuícolas, marinos y marismas, entre otros (Corrales, 2008).

Hasta hace poco tiempo la cantidad de este compuesto en el aire estuvo regulada por un equilibrio entre los procesos naturales de liberación y de eliminación ya que los ecosistemas marinos juegan un papel relativamente modesto en el incremento global de metano estimándose su contribución en un rango de 1 al 10% de la emisión total mientras que las zonas estuarinas como lo es la Laguna de Términos aportan entre el 7 y 10% de la emisión total de los gases de efecto invernadero, a pesar de representar sólo el 0.4% del área total costera y nerítica oceánica (Bange *et al.*, 1996). El sedimento de zonas costeras revela que la actividad metanogénica puede ser más intensa por los aportes de materia orgánica de las raíces de plantas a profundidades anóxicas (Kelly *et al.*, 1995; Van der Nat y Middelburg, 2000 en Corrales, 2008).

La producción de metano en sedimentos estuarinos depende de varios factores tales como las propiedades fisicoquímicas (pH, concentración O₂, salinidad, concentración de sulfato, etc.), concentración de materia orgánica y la actividad de otros organismos que

habitan el sedimento. La actividad metanogénica aumenta con la temperatura, pero se reduce en sedimentos con altas concentraciones de sulfato y aunque el sulfato no ejerce un efecto inhibitor sobre las bacterias metanogénicas, las bacterias sulfatorreductoras compiten más eficientemente por el mismo sustrato, el hidrógeno y el acetato (Abram y Nedwell 1978a, b en Corrales, 2008).

De manera natural el metano puede ser eliminado, estando estable y a temperatura ambiente, mediante la interacción de un radical hidroxilo formado en el aire húmedo el cual destruye cerca del 80% del CH₄ liberado y un poco menos del 10% se transporta por corrientes ascendentes hasta la estratósfera, donde la radiación ultravioleta hace posibles las reacciones con otras moléculas y, por último una fracción (entre 3-10%) se filtra en el suelo, y es destruida por microorganismos (IPCC, 2007).

Interacción océano-atmósfera

El continuo incremento de la concentración del CO₂ en la atmósfera trae como resultado un mayor flujo de carbono hacia la superficie oceánica. La cuantificación del balance oceánico del CO₂ es vital para la comprensión del ciclo del carbono, principalmente para disminuir el impacto de emisiones de CO₂ sobre el clima; para ello, se llevan a cabo estudios en zonas costeras, para elucidar el mecanismo por el cual el CO₂ es absorbido por el océano. (Joos, 1999).

La transferencia de gases en la interfase océano-atmósfera se genera por una serie de procesos físicos y biológicos a través de las llamadas bomba biológica y bomba física o de solubilidad que actuaran incrementando o disminuyendo las concentraciones de CO₂ en el océano (Takahashi *et al.*, 2009).

La bomba física está conducida por el intercambio de CO₂ en la interfase océano-atmósfera y por el proceso físico que transporta CO₂ al océano profundo. El CO₂ atmosférico entra en el océano por intercambio gaseoso dependiendo de la velocidad del viento y de la diferencia de las presiones parciales entre océano y atmósfera sumando a la circulación oceánica, la salinidad y temperatura del océano, estos dos últimos están asociados a la solubilidad la cual aumenta a bajas temperaturas por lo que las aguas frías

absorben más CO_2 que las aguas cálidas. (Rios, s.f.). Existen numerosos mecanismos atmosféricos y oceánicos que actúan para generar un cambio en la concentración del CO_2 .

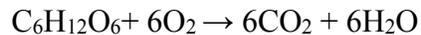
Históricamente el océano y su microscópica actividad biológica ha sido poco valorada a la hora de abordar el ciclo del carbono global y su repercusión en el clima, sin embargo, en los últimos años han aumentando los esfuerzos para explorar el papel de la biota marina en los ciclos biogeoquímicos globales, ya que el océano contiene aproximadamente 50 veces más carbono que la atmósfera, y su productividad biológica juega un papel central en el secuestro del dióxido de carbono atmosférico. Este secuestro de carbono se debe a la actividad de la llamada bomba biológica de carbono (Sigman, 2000 en Rosell, *et al.*, 2009), la cual crea un flujo cíclico de materia orgánica desde la superficie hasta el interior de los océanos.

La fotosíntesis es un factor importante en el sistema climático ya que juega un papel relevante en la partición del dióxido de carbono (CO_2) entre el océano y la atmosfera (Broecker, 1982) proceso fotosintético en condiciones oceánicas tiene algunas variantes ya que la disponibilidad de carbono inorgánico para la fotosíntesis difiere considerablemente en el aire y en el agua. En medios acuáticos existen dos formas de carbono inorgánico, el $\text{CO}_{2\text{ac}}$ y HCO_3^- , ambas formas están potencialmente disponibles para la fotosíntesis en el agua, pero la concentración de CO_2 es más baja en sistemas acuáticos, y es precisamente el $\text{CO}_{2\text{ac}}$ el sustrato de la RuBisCO (Ribulosa-difosfato carboxilasa oxigenasa), responsable de fijarlo. Sin embargo, en la mayoría de los sistemas acuáticos el HCO_3^- es la forma dominante de carbono, por lo que el fitoplancton ha tenido que incorporar HCO_3^- , y es a través de la enzima Anhidrasa carbónica (AC) que lo transforma en $\text{CO}_{2\text{ac}}$ dentro de la célula, mediante el cual los organismos van a producir moléculas más complejas (biomasa), como carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos. (Chen *et al.*, 2003).

Sin embargo, es de gran importancia recalcar que la concentración de las dos formas es cambiante en cada sitio, y con la posibilidad de ser modificada temporal y espacialmente dentro de un sitio como resultado de los procesos opuestos de fotosíntesis y respiración, por intercambios atmosféricos, sedimentarios e hidrológicos (Madsen *et al.*, 1996).

La participación de estos organismos vía proceso fotosintético provocan que la presión parcial de CO₂ disminuya en la superficie del agua, y junto con la bomba física de carbono se genere un flujo de la atmósfera al océano.

Si bien la fotosíntesis ayuda a la captura de CO₂, el proceso de la respiración genera una liberación de este mismo gas al ambiente mediante un conjunto de reacciones químicas dependientes del oxígeno, realizado por la mayoría de las células animales y vegetales cuyo principal materia prima son una serie de biomoléculas (glucosa, lípidos, proteínas) que van a ser degradadas y metabolizadas a dióxido de carbono y agua, produciéndose energía, que se libera y almacena en forma de ATP y así el organismo desarrolle sus funciones vitales. Proceso representado en la siguiente reacción:



Mediante el proceso de la degradación de la glucosa (glucólisis) se forma ácido pirúvico el cual se desdoblara a dióxido de carbono y agua, generándose 36 moléculas de ATP. La respiración celular es una parte del metabolismo, más precisamente del catabolismo, en la cual la energía presente en distintas biomoléculas es liberada de manera controlada. Durante la respiración, parte de ese ATP sintetizado es empleado en el mantenimiento y desarrollo del organismo. Como resultado, parte del carbono presente en los nutrientes se transforma en dióxido de carbono devolviendo el carbono a la atmósfera. (Karp, 1998).

Finalmente, para medir la eficacia de la bomba biológica, y por lo tanto la capacidad del océano de retirar CO₂ de la atmósfera, es importante conocer la magnitud del balance entre los procesos de fotosíntesis y respiración. Si la fotosíntesis es mayor que la respiración, el balance neto será positivo, en el sentido de que se transformará más CO₂ en materia orgánica del que se libere en la respiración por lo que la capa superficial del océano estará actuando como un sumidero de CO₂ desde la atmósfera. Por el contrario si la respiración es mayor que la producción, el balance neto será negativo, en este caso, el océano estará actuando como una fuente de CO₂ hacia la atmósfera (Mouriño, 2006).

Por otra parte la formación de metano (CH₄) es una desviación del ciclo del carbono en la cual un proceso metabólico mediado por microorganismos obtendrá como productos

finales metano, agua y ATP (Kastead y Ferry, 2007). Los microorganismos capaces de desarrollar este proceso pertenecen al grupo de bacterias que llevan a cabo la metanogenesis en ambientes estrictamente anaeróbicos como por ejemplo: suelos, sedimentos de agua dulce y marinos, ambientes geotermales e incluso en animales en el tracto gastrointestinal y el rumen. Los principales sustratos utilizados para la producción de metano son: acetatos, dióxido de carbono, hidrógeno, amonio y algunos casos, metanol. (Ferry y Barber, 2002).

Según Kastead y Ferry (2007), la gran mayoría del metano producido biológicamente proviene de tres rutas metabólicas. Dos terceras partes de este metano son el producto de la fermentación de acetato y aproximadamente una tercera parte se produce por la reducción de dióxido de carbono con electrones provenientes de hidrógeno.

En zonas costeras y/o humedales, las fuentes de CH₄ atmosférico son principalmente de origen biológico (Bodelier y Laanbroek, 2004). La descomposición del material vegetal en estos sitios está influenciada por diversos factores como: las características estructurales de cada especie, factores ambientales como el tipo de comunidad microbiana dominante, concentración de nutrientes en el agua-sedimento, temperatura, concentración de oxígeno disuelto, pH, profundidad y características del sedimento (Ribeiro *et al.*, 2004).

En los humedales existen gradientes de óxido reducción que influyen fuertemente el destino y las transformaciones de la materia orgánica. Como se observa en la Figura 1, en la columna de agua imperan condiciones aerobias al igual que en los primeros milímetros del sedimento (columna de agua aerobia-interfase aerobia). Sin embargo, después de aproximadamente 15 cm de profundidad, la densidad de las raíces disminuye y empiezan a imperar condiciones anaerobias en los sedimentos.

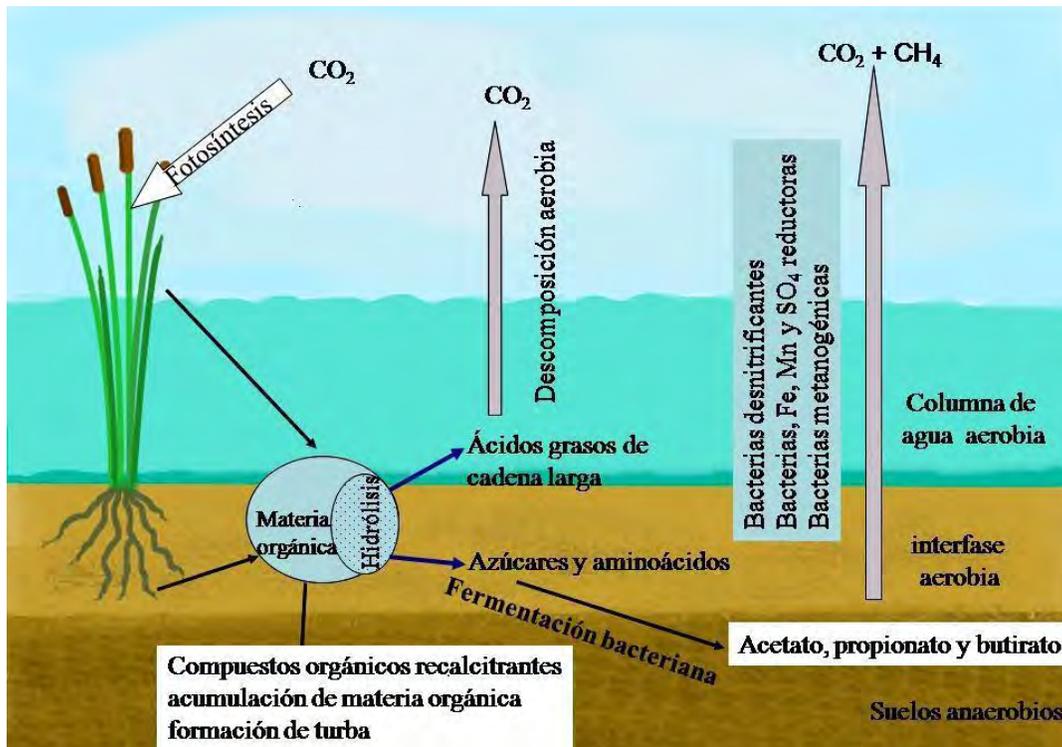


Figura 1. Esquema simplificado de las principales transformaciones de carbono en los humedales. Ciclo del Carbono (Tomado de Hernández, 2010).

En dicho sedimento, las bacterias metanogénicas son las responsables de la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H_2 , CO_2 , formato, metanol y algunas metilaminas.

Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio Archaea cuyas formas varían desde bacilos cortos y largos, cocos de varios órdenes celulares, células en forma de placas hasta metanógenos filamentosos, existiendo tanto Gram positivos como Gram negativos (Madigan *et al.*, 1998). Todas las bacterias metanogénicas que se han estudiado poseen varias coenzimas especiales siendo la coenzima M la que participa en el paso final de la formación de metano (Madigan *et al.*, 1998).

Productividad primaria en lagunas costeras

A pesar de que los humedales son considerados como fuentes de biodiversidad altamente productivos existen pocos estudios realizados hasta la fecha en este tipo de ambientes sobre flujos de carbono y metabolismo que describen en su mayoría la producción global del sistema sin detenerse en la fracción planctónica, posiblemente porque comparativamente con el resto de la biomasa esta fracción es considerada despreciable (Mitsch y Gosselink, 2000; Moore y Garratt, 2006 en Barón, 2011). La mayoría de las medidas de producción primaria en humedales se han centrado en los macrófitos sumergidos y emergentes (Robinson *et al.*, 1997b) y hasta el momento la dinámica del metabolismo del plancton de sistemas acuáticos tipo humedal ha sido estudiada escasamente.

En el caso de las lagunas costeras tropicales, la producción primaria acuática recae en varios componentes básicos: el fitoplancton, el microfitobentos, los pastos marinos, la vegetación de macrófitas, la quimiosíntesis, y las micro y macroalgas.

Una de las técnicas más comunes para cuantificar la biomasa fitoplanctónica y por ende la productividad es la determinación de la clorofila en el agua, estrechamente asociada al proceso fotosintético.

Contreras (1994), obtuvo la concentración de clorofila *a* en la columna de agua de 33 sistemas costeros diferentes de México en los que se reportaron rangos de concentración desde 0.01 mg/m³ hasta más de 142 mg/m³ asociado al nivel de aporte de nutrientes en la zona mediante escurrimientos continentales y a la estacionalidad que es considerado un factor importante, puesto que en todos los casos los valores más altos de clorofila *a* se registraron durante la época de lluvias.

Un intervalo de 0.9 a 3.0 mg C/mg de clorofila “a” fue considerado un valor típico puesto que los valores varían diariamente, con un máximo en la mañana y un descenso en las tardes y un valor mínimo en las noches (Goldman *et al.*, 1963; Mc Allister, 1963).

Nixon (1982) propuso que la productividad primaria en lagunas costeras tiene un intervalo de entre 200 y 400 g C/m²/año, similar a la producción de los estuarios y de las

costas oceánicas. Leith y Whittaker (1975) propusieron los promedios siguientes de productividad primaria referentes a diferentes tipos de ecosistemas acuáticos.

Tabla 1. Promedios de productividad por ecosistema en peso seco/m²/año.

Ecosistema	Productividad Primaria
Mar abierto	125 g C/m ² /año
Lagos	250 g C/m ² /año
Mares costeros	360 g C/m ² /año
Pastos marinos	
Arrecifes	
Estuarios	1800-2000 g C/m ² /año
Humedales	
Marismas	

Cabe destacar que los frecuentes y significativos suministros de materia orgánica proveniente de la vegetación circundante por la vía de los detritos y la regeneración de nutrientes, también pueden incrementar la productividad total del sistema. La presencia de clorofila en el agua es una respuesta casi inmediata a la variabilidad de los nutrientes, lo cual propicia que su cuantificación y seguimiento sean indicadores confiables de las variaciones de la biomasa fitoplanctónica, que es la responsable directa de la salud del ecosistema (Kerekes, 1982, 1983).

Lagunas costeras como fuentes o sumideros de carbono

La concentración atmosférica de los gases de efecto invernadero ha aumentado a partir de la revolución industrial y particularmente en los últimos 50 años debido a las diversas actividades humanas, sobre todo la utilización de combustibles fósiles y los cambios en el uso de los diferentes tipos de suelos. Lo anterior contribuyó a cambios en el clima del planeta (IPCC, 2001).

El cambio climático representa un peligro para los ecosistemas por lo que surgió la necesidad de conocer el papel de los ecosistemas como reguladores del ciclo del carbono en

la Tierra. Los efectos de la urbanización e industrialización han provocado cambios principalmente en la composición química de la atmósfera a nivel global así como incrementos en la temperatura y en el nivel del mar (IPCC, 2001).

Los sumideros de carbono están constituidos por la producción primaria, y la inmovilización del carbono mediante el proceso fotosintético, sin embargo, también está la posibilidad de que el CO₂ sea liberado a la atmósfera por los ecosistemas terrestres y acuáticos, vía proceso de respiración o por procesos de fermentación de la materia orgánica (metanogénesis) (IPCC, 2001). Una de las características más importantes de estos ambientes tropicales es su capacidad de constituir depósitos de carbono por medio del manglar, ya que incorporan CO₂ atmosférico a su metabolismo junto con carbono inorgánico y residuos orgánicos, los cuales son retenidos en los sedimentos (Young *et al.* 2005), actuando claramente como sumideros.

En los ecosistemas lagunares la disponibilidad del carbono en sus diferentes formas está influenciada por diversos factores de diferente escala espacial y temporal. Entre estos se pueden mencionar la estacionalidad, la mezcla de la columna de agua, la velocidad y dirección del viento y la marea junto con la corriente que ésta produce y en conjunto determinan la disponibilidad del material orgánico particulado (INE, 1997).

Las lagunas costeras son cuerpos de agua situados a lo largo del litoral, se caracterizan por presentar en la mayoría de los casos una comunicación permanente con el mar y por tener una entrada continua de agua dulce por medio de los ríos y su importancia reside primordialmente en que son áreas altamente productivas y dinámicas en el intercambio de materia-energía entre la zona continental y los ambientes costero-marinos. El aporte de nutrientes, la morfología y las características ambientales propias de estos sitios favorecen la formación de diversos ambientes que representan hábitat adecuado de reclutamiento y crecimiento para una gran variedad de especies (De la Lanza, *et al.*, 1991), proporcionando además servicios ecosistémicos como la captura o emisión de gases de efecto invernadero y consideradas áreas biogeoquímicamente activas que engloban entre 14 y 30% de la producción primaria del océano (Gattuso *et al.* 1998).

En el Golfo de México existen 23 sistemas lagunares, dentro de este grupo se encuentra la Laguna de Términos destacando por su importancia ecológica-comercial. Este cuerpo de agua es el segundo de mayor volumen y extensión del país, comprendiendo desde la plataforma continental marina adyacente, las bocas de conexión con el mar, la Isla del Carmen, los espejos de agua dulce, salobre y marina, las zonas de pastos sumergidos, los sistemas fluvio-deltaicos asociados, los pantanos, humedales costeros y bosques de manglar circundantes (Botello *et al.*, 1992), estas características la llevaron a formar parte de un grupo de áreas con niveles altos de protección.

Áreas naturales protegidas

Las áreas naturales protegidas (ANP) constituyen instrumentos de política ambiental para la conservación de la biodiversidad estando sujetas a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo, las áreas bajo protección así como sus áreas adyacentes deben ser manejadas como unidades de conservación donde se pretende preservar el equilibrio ambiental dictado por procesos naturales y no por la demografía humana. Tienen como fin el vigilar que el aprovechamiento de los recursos de la zona se realice de manera sustentable, permitir y propiciar la investigación de los ecosistemas, con el fin de generar conocimiento (CONANP, 2012).

La institución encargada de regular estas áreas en México es la CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas), la cual tiene registro, para el año 2013, de 176 Áreas Naturales Protegidas en el Diario Oficial de la Federación, 37 son Áreas de Protección de Flora y Fauna, lugares que contienen hábitats de cuya preservación dependen la existencia, transformación y desarrollo de especies de flora y fauna silvestres.

La Laguna de Términos fue decretada como Área Natural Protegida el 6 de junio de 1994 y como sitio RAMSAR el 2 de febrero de 2004, distintivo otorgado a humedales únicos en el mundo (CONANP, 2012).

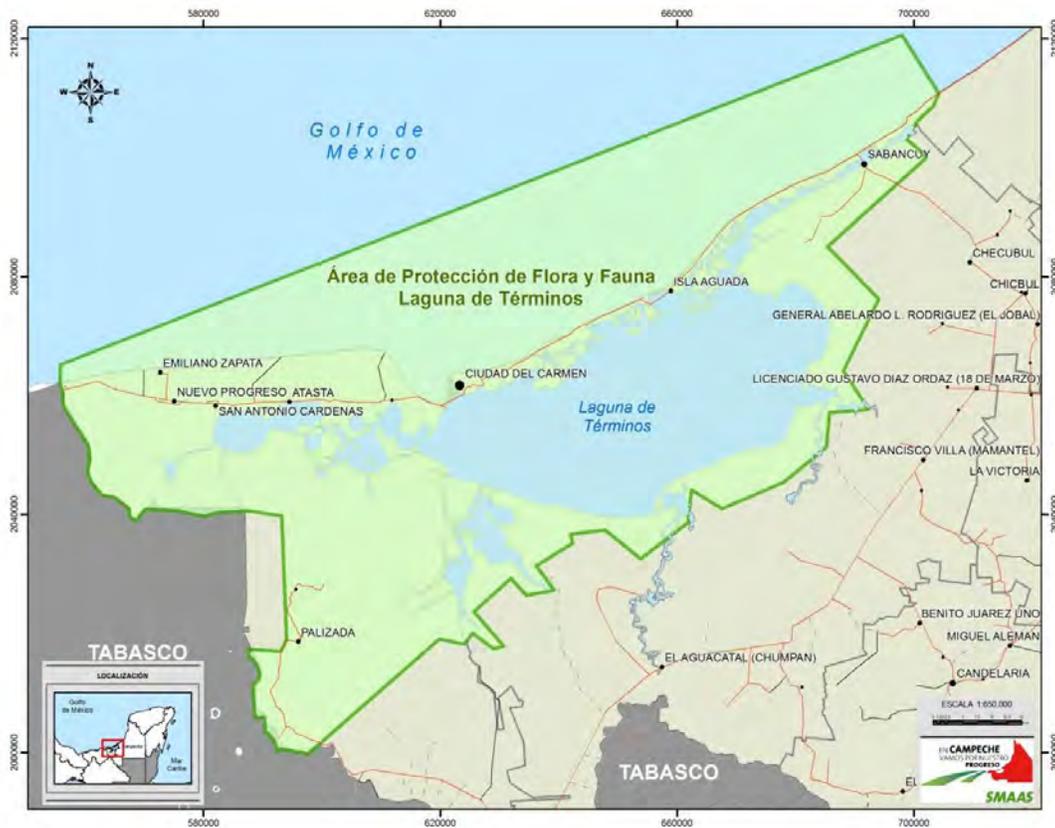


Figura 2. Área de Protección de Flora y Fauna “Laguna de Términos” (Secretaría de Medio Ambiente y Aprovechamiento Sustentable, Gobierno del Estado de Campeche, 7/Junio/2013)

Una característica esencial para que sitios como la Laguna de Términos sean decretadas como ANP es la importancia de los servicios ambientales que proporcionan y las características ecológicas que posee la laguna le harán jugar un papel importante en las estrategias para la mitigación del cambio climático.

ANTECEDENTES

En 1857 se instaló por primera vez en Hawaii una estación para la medición de la concentración de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera terrestre. Posteriormente, en 1863, el científico irlandés John Tyndall fue el primero en notar que las concentraciones de ciertos gases, principalmente el CO_2 , en la atmósfera se estaban incrementando, y que esto tenía una correlación con el aumento de la temperatura media del planeta, provocando cambios en el sistema climático de la Tierra.

En el siglo XVII la concentración de CO_2 era de 270 ppm y en el siglo XVIII se incrementó a 280 ppm, para los años comprendidos entre 1973 y 1985 esta concentración aumentó de 320 a 350 ppm, para el año de 1999 llegó a 367 ppm estimándose que el cambio de uso de suelo para el periodo de 1860 a 1980 se liberaron alrededor de 120 gigatoneladas ($\text{Gt} = 10^9$ toneladas) de CO_2 a la atmósfera. Para 2005 las concentraciones de CO_2 llegaron a 379 ppm de acuerdo con el IPCC (2007) y para el mes de mayo de 2013 la concentración de CO_2 alcanzó valores de 403 ppm (Figura 3) (NOAA, 2013).

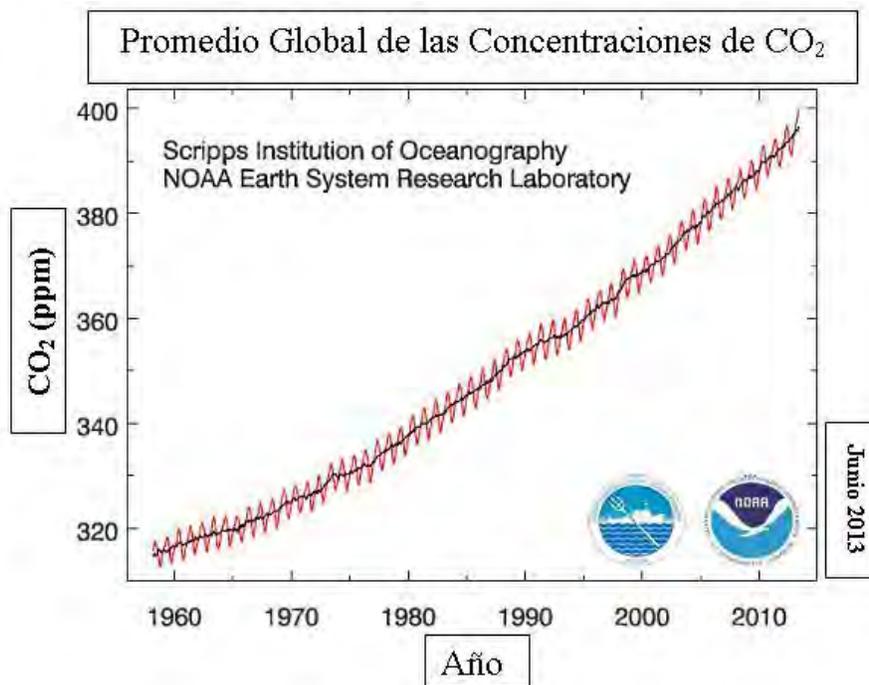


Figura 3. Concentración de CO_2 atmosférico en ppm, representando la concentración global promedio de CO_2 .

La producción antropogénica de CO₂ aumenta aproximadamente un 2% por año y, de continuar esta tasa de crecimiento, para el año 2050 se tendrá una concentración de 600 ppm (Rodó y Comín, 2003).

Registros de metano en el pasado demuestran que la cantidad de CH₄ fluctuó entre unos 1.2 y 2.5 Pg (Petagramos=Mil billones), es decir, muy por debajo de los actuales 5 Pt, y nunca creció tan rápido como en los últimos 200 años (NOAA, 2013). La concentración de metano (CH₄) en la época preindustrial en 1750 era de 700 ppb, en 1994 llegó a 1720 ppb y en 2005 aumentó a 1774 ppb (Figura 4), mostrando un incremento de 145 % (NOAA, 2013).

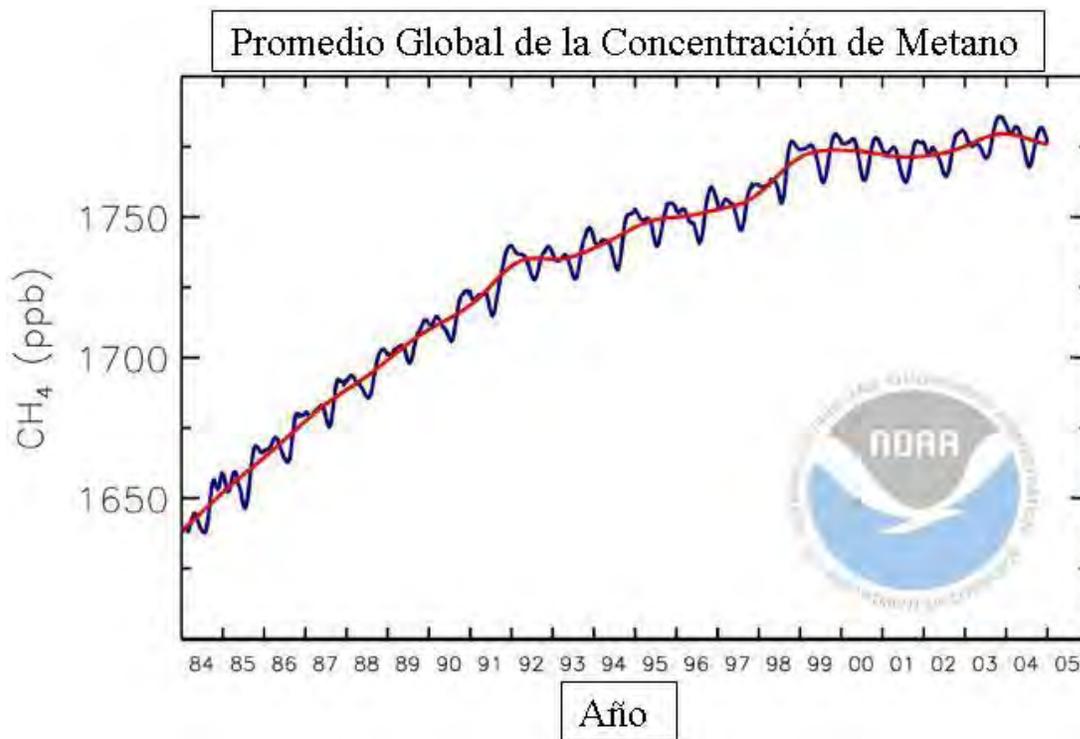


Figura 4. Promedio global de la concentración de CH₄ en ppb.

Keeling (1968) argumentó que el aumento de la concentración de CO₂, y por ende de la pCO₂ atmosférica debido al aporte antropogénico de los últimos 200 años, ha generado un flujo de CO₂ del aire al agua en todos los mares, con ayuda de procesos físicos y biológicos que llevan este CO₂ antropogénico hacia aguas superficiales y profundas.

Platt *et al.*, (1992) afirmaron que se han registrado intentos por realizar una evaluación de la dinámica del océano y el flujo vertical del carbono, lo que ha resultado ser muy complejo debido a las constantes fluctuaciones oceánicas en respuesta a variables ambientales, tanto de origen natural como antropogénico, así mismo a que los estudios sobre CO₂ en el océano han estado restringidos a transectos aislados que cubren un periodo muy corto de tiempo.

En 2006 en México, el CICESE desarrollo el proyecto “FLUCAR: Fuentes y Sumideros de Carbono en los Márgenes Continentales del Pacífico Mexicano”, en el cual se realizaron estudios de los flujos de carbono en las aguas costeras del Golfo de California reportando que de diciembre a mayo (invierno y principios de primavera) el océano se comportó como sumidero de CO₂, mientras que el resto del año fue una fuente de este gas hacia la atmósfera. Se observó además que durante la época en que las aguas costeras se comportaron como sumidero de CO₂, el área localizada al norte de Punta Eugenia mostró un mayor flujo de CO₂ hacia el océano, mientras que de junio a noviembre el sistema se convirtió en fuente hacia la atmósfera (Robles-Jarero *et al.*, 2006).

Gattuso, *et al.* (1998) reportó que el papel que han jugado las zonas costeras dentro del ciclo del carbono se ha podido apreciar por una entrada elevada de carbono inorgánico y carbono orgánico desde los sistemas terrestres. Estos aportes se producen, fundamentalmente, a través de los estuarios y presentan variaciones estacionales importantes.

En estudios realizados por Frankignoulle *et al.* (1996 y 1998) comprobaron que los ríos y los estuarios presentan una cierta sobresaturación de CO₂ respecto a la atmósfera, con presiones parciales en agua que variaron entre 500 y 9500 μatm , y que de acuerdo con Walsh (1991) y Smith (1993) este tipo de variaciones ha generado una gran controversia sobre si los estuarios actúan como fuentes o sumideros de CO₂. Por ejemplo para una misma localidad, Borges *et al.* (2005) evaluó que dicho estuario llegó a absorber entre 0.22 y 1.0 Pg de CO₂ al año mientras que Laurelle *et al.* (2010) estimó emisiones de 0.27 Pg de CO₂ al año.

Borges *et al.* (2005) hizo hincapié en que las zonas costeras habían sido desvaloradas por mucho tiempo en los cálculos de los balances globales de carbono, sin embargo, algunos trabajos han demostrado que los flujos de carbono y nutrientes en estos ambientes son desproporcionadamente altos en relación a su superficie.

Cai *et al.* en 2006, describieron biogeoquímicamente a las lagunas costeras y mencionaron que estos cuerpos de agua son parte fundamental al momento de realizar los cálculos globales de carbono ya que en ciertas situaciones los procesos heterotróficos superan los autotróficos, y promueven que estos ambientes actúen como fuentes y no como sumideros, estas descripciones se han llevado a cabo mediante las estimaciones de estos gases y para ello se han desarrollado diversos métodos que varían de acuerdo a los propósitos y recursos disponibles de cada grupo de investigación, un método que se ha usado a nivel internacional es la técnica de cámara cerrada, la cual se encuentra estandarizada y validada en CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) (Montenegro y Abarca; Rondón, 2000).

En el caso de lagunas costeras mexicanas, Mendoza Mojica *et al.* (2013) reportaron una estimación de flujos de CO₂ y CH₄ en agua-aire en las lagunas de Chautengo y Tres Palos, ambas en Guerrero durante la época de secas.

En Chautengo reportaron un promedio de captura y emisión de CH₄ de 8.7 mg/m²/día y 5.4 mg/m²/día respectivamente. Para el CO₂ reportaron valores promedio de captura y emisión de 1001.7 mg/m²/día y 241.5 mg/m²/día respectivamente.

En laguna de Tres Palos los promedios de captura y emisión reportados para el CH₄ fueron de 127.7 mg/m²/día y de 1483.3 mg/m²/día respectivamente. Y para el CO₂ se reportaron valores promedio de captura y emisión de 1475 mg/m²/día y 95 mg/m²/día.

Describieron que la Laguna de Chautengo presentó un equilibrio entre captura y emisión de los gases de efecto invernadero estudiados, y lo consideraron como un cuerpo de agua neutro en función de los flujos de gas superficial. La laguna de Tres Palos fue considerada como una fuente de CH₄ y sumidero de CO₂.

Los estudios anteriormente mencionados sobre flujos de carbono son los únicos que sea han realizado en México en específico para lagunas costeras del Pacífico Mexicano, lo reportado en este trabajo será el primer estudio para lagunas costeras del Golfo de México.

Hay una gran cantidad de humedales a lo largo del planeta pero son las zonas costeras las que han llamado la atención en cuanto al papel que juegan en el ciclo del carbono y el intercambio que existe con la atmósfera. Las siguientes tablas presentan una recopilación de diversos estudios a nivel global relacionados con el flujo de CO₂ (Tabla 2) y CH₄ (Tabla 3) en zonas de humedales incluyendo a las zonas costeras.

Tabla 2. Recopilación de los estudios relacionados con el cálculo de flujos de CO₂ (Tomado y modificado de Chen-Tung y Borges, 2009)

Sitio	Flujos (mg CO ₂ /m ² /día)	Referencias
Estuarios Interiores		
Aby lagoon (CI)	- 470.14	Koné <i>et al.</i> , 2009
Altamaha Sound (US)	+ 3905.75	Jiang <i>et al.</i> , 2008a
Aveiro lagoon (PT)	+ 1494.79	Borges y Frankignoulle (sin publicar).
Betsiboka (MG)	+ 397.81	Ralison <i>et al.</i> , 2008
Bothnian Bay (FI)	+ 373.70	Algesten <i>et al.</i> , 2004
Changjian (CN)	+ 3001.64	Gao <i>et al.</i> , 2005
Chilka (IN)	+ 3013.70	Gupta <i>et al.</i> , 2008
Doboy Sound (US)	+ 1675.62	Jiang <i>et al.</i> , 2008a
Douro (PT)	+ 9161.64	Frankignoulle <i>et al.</i> , 1998
Ebrie' lagoon (CI)	+ 3749.04	Koné <i>et al.</i> , 2009
Elbe (DE)	+ 6389.04	Frankignoulle <i>et al.</i> , 1998
Ems (DE)	+ 8112.88	Frankignoulle <i>et al.</i> , 1998
Gironde (FR)	+ 3712.88	Frankignoulle <i>et al.</i> , 1998
Godavari (IN)	+ 663.01	Bouillon <i>et al.</i> , 2003

Guadalquivir (ES)	+ 3749.04	De la Paz <i>et al.</i> , 2007
Hooghly (IN)	+ 614.79	Mukhopadhyay <i>et al.</i> , 2002
Loire (FR)	+ 7763.29	Abril <i>et al.</i> , 2003
Mandovi-Zuari (IN)	+ 1711.78	Sarma <i>et al.</i> , 2001
Mekong (VN)	+ 3712.88	Borges (sin publicar)
Potou lagoon (CI)	+ 4930.41	Koné <i>et al.</i> , 2009
Randers Fjord (DK)	+ 265.21	Gazeau <i>et al.</i> , 2005
Rhine (NL)	+ 4785.75	Frankignoulle <i>et al.</i> , 1998
Sado (PT)	+ 3773.15	Frankignoulle <i>et al.</i> , 1998
Sapelo Sound (US)	+ 1627.40	Jiang <i>et al.</i> , 2008a
Saja-Besaya (ES)	+ 6292.60	Ortega <i>et al.</i> , 2005
Satilla River (US)	+ 5123.29	Cai y Wang, 1998
Scheldt (BE/NL)	+ 7594.52	Frankignoulle <i>et al.</i> , 1998
Tagba lagoon (CI)	+2218.08	Koné <i>et al.</i> , 2009
Tamar (UK)	+9016.99	Frankignoulle <i>et al.</i> , 1998
Tendo lagoon (CI)	+ 614.79	Koné <i>et al.</i> , 2009
Thames (UK)	+ 8872.33	Frankignoulle <i>et al.</i> , 1998
York River (US)	+ 747.40	Raymond <i>et al.</i> , 2000
Estuario Scheldt, Francia	+ 48219	Frankignoulle y Bourge, 1996
Estuario del Tajo, Portugal	+ 44 y 2420	Oliveira <i>et al.</i> , 2006
Zeebrugge Harbour, Belgica (Sitio eutrofizado)	+ 433.97 /+ 795.62	Gypens y Borges, 2008
Costa Este de Gotland, Mar Báltico	- 4221.4 a -1689.6	Wesslander <i>et al.</i> , 2011
The Eastmain-1 reservoir, Quebec, Canada	+6580	Brothers <i>et al.</i> , 2012
Río Capibaribe, Pernambuco, Brasil (Zona Urbana)	+ 9900	Araujo <i>et al.</i> , 2013
Marismas no estuarinos.		
Duplin River (US)	+ 2579.73	Wang y Cai, 2004

Río San Pedro (ES)	+ 4749.59	Ferrón <i>et al.</i> , 2007
Ríos de Satilla y Altamaha, Georgia	+ 2410.9-6027.4	Cai y Wang, 1998
Manglares		
Gaderu creek (IN)	+ 2459.18	Borges <i>et al.</i> , 2003
Kidogoweni creek (KE)	+ 2856.99	Bouillon <i>et al.</i> , 2007a
Itacuraca creek (BR)	+ 4990.68	Ovalle <i>et al.</i> , 1990; Borges <i>et al.</i> , 2003
Kiên Vàng creeks (Época de Lluvias) (VN)	+ 1422.47	Koné y Borges, 2008
Kiên Vàng creeks (Época Seca) (VN)	+ 6810.96	Koné y Borges, 2008
Matolo/Ndogwe/Kalota/MtoTanacreeks (KE)	+ 3110.14	Bouillon <i>et al.</i> , 2007b
Mooringanga creek (VN)	+ 1024.66	Ghosh <i>et al.</i> , 1987; Borges <i>et al.</i> , 2003
Nagada creek (IN)	+ 1916.71	Borges <i>et al.</i> , 2003
Norman's Pond (BS)	+ 602.74	Borges <i>et al.</i> , 2003
Ras Dege creek (TZ)4	+ 1494.79	Bouillon <i>et al.</i> , 2007c
Saptamukhi creek (IN)	+ 2495.34	Ghosh <i>et al.</i> , 1987; Borges <i>et al.</i> , 2003
Shark River (US)	+ 2218.08	Millero <i>et al.</i> , 2001; Clark <i>et al.</i> , 2004; Koné y Borges, 2008
Tam Giang creeks (Época Seca) (IN)	+ 6220.27	Koné y Borges, 2008
Tam Giang creeks (Época de Lluvias) (IN)	+ 5653.70	Koné y Borges, 2008
Tana (KE)	+ 5774.25	Bouillon <i>et al.</i> , 2007b
Manglar en Humedales de Queensland, Australia	+ 20 - +350 μg $\text{CO}_2/\text{m}^2/\text{hr}$	Kreuzwieser <i>et al.</i> , 2003

Tabla 3. Recopilación de los estudios relacionados con el cálculo de flujos de CH₄ (Nota: Valores positivos en los flujos indican una emisión de CO₂ y CH₄ del agua hacia la atmósfera.)

Localidad	Flujos CH ₄ mg CH ₄ /m ² /día	Referencia
Sureste de EUA	Entre + 4.6 y + 68	Harriss y Sebacher, 1981; tomado de Matthews y Fung, 1987
Everglades, Florida	+ 13 a + 30	Bartlett <i>et al.</i> , 1985b; tomado de Matthews y Fung, 1987
Ranong, Tailandia (Manglar)	+ 157.32	Lekphet <i>et al.</i> , 2004
Manglar del Rio Estuarino Brisbane, en Chelmer, Sureste de Queensland, Australia	De + 3 µg a + 17.4 mg	Allen <i>et al.</i> , 2007
Cors Fochno, Costa de Welsh-Aberystwyth, Gales	+9.3 y +184.2	Baird <i>et al.</i> , 2010
The Eastmain-1 reservoir, Quebec, Canada	+ 7.8 ± 9.5	Brothers <i>et al.</i> , 2012
Ciénaga Grande de Santa Marta, Colombia	+ 757.44	Betancourt <i>et al.</i> , 2013

Actualmente queda claro que los flujos de estos gases tendrán variaciones estacionales, y dichos valores serán relativamente constantes en relación a la estacionalidad, con promedios más altos en estaciones lluviosas, seguida por verano y finalmente en estaciones frías se obtienen generalmente valores más bajos.

A pesar de los esfuerzos globales, la información sobre los flujos océano-atmósfera de CO₂ en las zonas costeras es insuficiente y dispersa por lo que únicamente es posible reconocer el hecho de que estas zonas presentan una mayor variación en los valores de la presión parcial de CO₂ en la superficie marina como consecuencia de surgencias, frentes de marea, descargas de ríos, intercambio con sedimentos y procesos biológicos (Kempe, 1982; Walsh 1988; Mackenzie *et al.*, 1991; Wollast, 1991).

Más allá de todo lo que ha sido posible investigar sobre los flujos de carbono, Guenet *et al.* (2010) explicaron que tratar de entender cómo los ecosistemas almacenan o liberan carbono deberá ser uno de los grandes retos que la ciencia tiene para el s. XXI, reto que con el tiempo podrá ayudar a generar soluciones para la mitigación del efecto invernadero y sus repercusiones climáticas.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el comportamiento de la Laguna de Términos establecida como Área de Protección de Flora y Fauna en relación a la captura y emisión de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄) durante la época de secas.

Objetivos particulares

- Recopilar, revisar y seleccionar la literatura científica y técnica publicada en los últimos años sobre la Laguna de Términos, a fin de seleccionar el material histórico de mayor importancia para la evaluación de los impactos específicos de las variables climáticas sobre el ecosistema.
- Determinar las concentraciones de CO₂ y CH₄ en la interfase agua-aire y en agua de superficie y fondo en cuatro sitios representativos del área de estudio cubriendo la zona de mangles, pastos marinos y descarga de ríos.

- Determinar las concentraciones de CO₂ y CH₄ en la interfase sedimento-aire en la zona de manglar
- Cuantificar el carbono total (CT), carbono inorgánico (CI) y carbono orgánico (CO) en agua de superficie y fondo y el CO y carbono elemental (CE) en aire.
- Estimar la emisión y captura de CO₂ y CH₄ en la interfase agua-aire y sedimento-aire.
- Determinar la concentración de clorofilas en los distintos sitios de muestreo.
- Registrar los parámetros ambientales y meteorológicos en el área de estudio.

HIPÓTESIS

La Laguna de Términos como Área Natural Protegida (ANP) está sujeta a regímenes especiales de protección, conservación, restauración y desarrollo, por lo que se espera que los impactos antropogénicos sean indirectos y menores, y su variabilidad estará influenciada por factores ambientales, lo cual se verá reflejado en la físico-química del agua y en el intercambio de gases en los sistemas: agua-atmósfera y sedimento-atmósfera.

MATERIAL Y MÉTODOS

Área de estudio

La Laguna de Términos se localiza en la zona sur del Golfo de México y sus coordenadas geográficas son: 18°03'27"-19°10'35" de Latitud N y 92°28'38"-91°03'16" de Longitud W (CONANP, 2012). Este sistema lagunar es de los más grandes del país con una forma elipsoide en sentido este-oeste: su longitud máxima es de 70 km y su parte más ancha alcanza los 30 km, ocupando un área de 1566.5 m². Su profundidad media es de 2m (Ley-Lou, 1979) con profundidades máximas de entre 12 y 15 m en algunos canales en las bocas

de Puerto Real y El Carmen (Yáñez, 1963). Se encuentra delimitada al norte por la Isla del Carmen (37.5 km de largo y 3 km de ancho), en ambos extremos de la isla se encuentran dos bocas que van a comunicar a la laguna de manera permanente con el mar (Ayala-Castañares, 1963). Hay muchas citas mas recientes para estos datos

De acuerdo con la clasificación climática de Köppen modificada por García (2004), la región de la Laguna de Términos presenta un clima tropical húmedo con lluvias en verano y dentro de la zona se presentan tres diferentes tipos de clima:

- a) Del límite de Tabasco hasta la desembocadura del Rio Palizada en la porción occidental de la Laguna de Términos, es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano (Am (f)).
- b) Desde la desembocadura de Palizada hasta la Boca de Puerto Real, incluyendo la Isla del Carmen, el clima es cálido subhúmedo con mayor humedad (Aw2(w)i).
- c) Clima cálido subhúmedo intermedio con lluvias en verano (Aw1(w)) en Isla Aguada hasta finalizar el Estero Sabancuy (Aw2(w)).

La temperatura anual promedio supera los 26 °C y la precipitación varía entre 1100 y 2000 mm, los vientos predominantes son en su mayoría hacia el occidente debido a los vientos alisios, pero existen variaciones dependiendo de la época del año, para los meses de marzo-abril y agosto-septiembre los vientos presentan una dominancia ESE, entre los meses de mayo y julio, los vientos son muy débiles pero manteniendo una tendencia hacia el E, y de N a NW de octubre a febrero debido a los nortes (Graham, 1981).

Considerando los patrones anuales de temperatura, precipitación y régimen de vientos, Yáñez-Arancibia y Day (1988) definieron tres épocas climáticas: de febrero a mayo la estación seca, de junio a septiembre la estación de lluvias y de octubre a enero la estación de nortes, estación asociada regularmente a lluvias.

Villalobos-Zapata *et al.* (1999) consideraron que la estación de nortes debe abarcar hasta el mes de febrero ya que para ese periodo aun se presentan tormentas tropicales acompañadas de vientos fuertes.

Hidrología

En la región de la Laguna de Términos se halla una gran cantidad de unidades geohidrológicas que influyen en la dinámica de la laguna (Figura 5).

Existen cuencas las cuales proporcionan los principales mecanismos de producción natural que determinan que la región de la Laguna de Términos presente una alta productividad biológica y una diversidad de ambientes. En la región de la Laguna de Términos desemboca una parte de la red hidrológica principal de la zona costera mexicana del Golfo de México, constituida por los ríos Mezcalapa, Grijalva y Usumacinta, los cuales han desarrollado un amplio complejo fluvio-lagunar estuarino que incluye a los ríos Palizada, Chumpán y Candelaria, así como las lagunas litorales Pom-Atasta-Puerto Rico, San Carlos, y Del Corte, y al Sistema Palizada del Este, San Francisco, El Vapor, Balchacah, Chacahito y la Laguna de Panlau, todos estos sistemas en conjunto descargarán a la Laguna de Términos en promedio de 6×10^9 m³/año, esta entrada de agua sumada a la presencia de vientos que son dominantes del este, la corriente litoral y la descarga de los ríos, provoca que el agua del mar (Golfo de México) entre a la Laguna mediante la Boca de Puerto Real y salga por la Boca del Carmen con un flujo neto de 1,350 m³/seg., de este a oeste (Phleger y Ayala-Castañares, 1971; Amezcua Linares y Yáñez-Arancibia, 1980; Mancilla-Vargas, 1980). Este elevado flujo de agua y residuos acarrearán una gran cantidad de sedimentos hacia la parte central de la laguna. La mayor parte de los sedimentos de la laguna contienen cerca del 50% de CaCO₃ **hay datos para toda la laguna, ver** (Yáñez-Correa, 1963). **citas Bentos**

Asimismo, se han distinguido dentro del complejo lagunar a cuatro sistemas fluvio-lagunares asociados, los cuales presentan sus propias características de acuerdo al aporte de sedimentos, temperatura, salinidad, pH, oxígeno disuelto y pigmentos fotosintéticos (INE, 1997).

- Sistema Pom-Atasta, que tiene su origen en el aporte de sedimentos terrígenos, y los movimientos laterales de los ríos Usumacinta y San Pedro y San Pablo, y en la formación de una barrera litoral constituida por varias series de cordones de playa.

- El Sistema Palizada del Este constituye la porción terminal del Río Palizada, afluente del Usumacinta, cuyo aporte de agua dulce a la Laguna de Términos representa el 70% del total que ingresa, aproximadamente $42 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{año}$ (Phleger y Ayala-Castañares 1971) así como de tres ríos secundarios (Las Piñas, Marentes y Las Cruces), e incluye tres lagunas denominadas de sur a norte: Del Vapor, Del Este y San Francisco.
- Sistema Chumpán-Balchacah, incluye la porción terminal del Río Chumpán, con un aporte de $3 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{año}$ (5%) (Phleger y Ayala-Castañares 1971), y la Laguna de Balchacah (Sitio Viejo).
- Sistema Candelaria-Panlau, corresponde a la porción terminal de los ríos Candelaria, éste con un aporte aproximado de $2 \times 10^9 \text{ m}^3/\text{año}$, 20% del total que llega a la Laguna de Términos (Phleger y Ayala-Castañares 1971), así como Mamantel y la Laguna de Panlau.

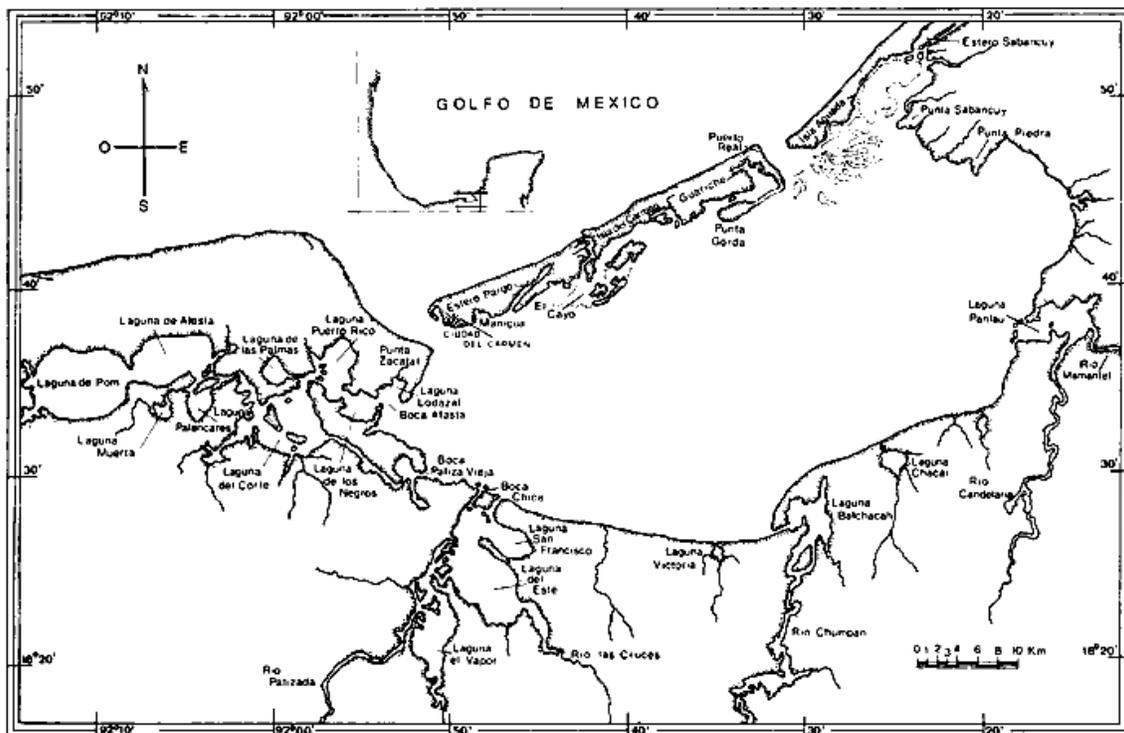


Figura 5. Hidrología del Sistema Lagunar Laguna de Términos (INE, 2007).

Vegetación

La vegetación del sistema lagunar es característica de regiones cálidas, pero de forma específica para el ANP de Laguna de Términos, éste tiene un amplio mosaico de asociaciones vegetales terrestres y acuáticas tales como vegetación de dunas costeras, manglares, vegetación de pantano como tular, carrizal y popal, selva baja inundable, palmar inundable, matorral espinoso inundable, matorral inerme inundable, vegetación riparia, selva alta-mediana y vegetación secundaria, además de la vegetación de las fanerógamas permanentemente inundadas como son los pastos marinos (Gómez-Pompa, 1965 y 1993). Pero dentro del sistema lagunar hay ecosistemas cuyas características estructurales y funcionales son indispensables para el desarrollo óptimo del ecosistema y las especies que habitan dentro de ellos, entre ellos están el manglar y los pastos marinos.

Manglar

El manglar es el hábitat crítico de mayor relevancia dentro de la laguna ya que representa a ecosistemas tropicales costeros muy productivos, con una alta diversidad de especies y donde además existen procesos biológicos fundamentales como la reproducción, cría y refugio de especies de peces e invertebrados (Gío, 1996; INE, 1997).

Actualmente se encuentran amenazados, especialmente por el impacto de las actividades humanas sobre este hábitat (Farnsworth y Ellison, 1997).

Las cuatro especies reportadas para México están presentes en Laguna de Términos: mangle rojo [*Rhizophora mangle* (Linneo, 1753)] en las márgenes de los ríos, lagunas y costas, por lo general los suelos inundados, mangle blanco [*Laguncularia racemosa* (Gärtner, 1807)] encontrado en suelos inundados con altos niveles de salinidad, mangle negro [*Avicennia germinans* (Linneo, 1764)] sobre suelos arenosos que se inundan sólo durante una parte del año o en años de precipitación máxima, y botoncillo [*Conocarpus erectus* (Linneo, 1753)] en su mayoría sobre suelos arenosos y arcillosos con baja salinidad ocasionalmente inundadas durante la estación lluviosa (Agraz et al., 2012).

Algunos alcanzan alturas de más de 20 m. Los márgenes de la laguna están recubiertos con una cama muy densa de manglar, cuya densidad aumenta más al suroeste,

este y parte sur-sureste de la Isla del Carmen (Vargas-Maldonado *et al.*, 1981). Por otra parte, las masas de agua eurihalinas y la disponibilidad de oxígeno del agua intersticial de óxica a hipóxica prevalecientes en la mayor parte de la Laguna de Términos, determinan la dominancia de: mangle negro (*A. germinans*) con 77.4% presentando mecanismos de excreción, exclusión, acumulación de sal y capacidad de desarrollarse en condiciones de baja concentración de oxígeno. Mangle blanco (*L. racemosa*) presento una dominancia de 22.2%, glándulas excretoras de sal; el mangle rojo (*R. mangle*), es una especie con baja capacidad de tolerancia a la salinidad y bajas concentraciones de oxígeno (Agraz et al., 2012).

Resulta relevante que la fisonomía dominante de los manglares de la Laguna de Términos sigue siendo responsable de la alta productividad y biodiversidad que se registra actualmente (Agraz et al., 2012). Diversos autores reconocen que los bosques de mangle con fisonomía ribereña y de borde, son los que contribuyen con la mayor producción de hojarasca, manteniendo una rica y compleja cadena alimenticia caracterizada por una elevada producción pesquera (Agraz et al., 2012). Se ha observado que durante la época de lluvias y la de nortes se aporta el mayor volumen de hojarasca a la laguna, lo cual fertiliza las aguas favoreciendo aumentos en la biomasa de consumidores (Barreiro y León, 1999; Agraz et al., 2012).

Pastos marinos

Son un componente muy importante considerado dentro del estudio que reafirma la declaratoria de protección, pues son sistemas muy sensibles y frágiles a las variaciones ambientales, inclusive diversos autores proponen que los pastos marinos sean considerados en términos de su interacción con otras fuentes de producción primaria como los sistemas de manglar, lo cual permite suponer que la interacción ceibadales (pastos marinos) y el manglar tiene un papel preponderante en la ecología y producción de los sistemas internos de la Laguna de Términos (INE, 2007).

Las áreas de pastos marinos se localizan en el litoral interno de la Isla del Carmen, zona oriental de la desembocadura del sistema Candelaria-Panlau, y la zona marina noroeste de la Boca de Puerto Real se van a observar en aguas claras siendo las especies

predominantes *Thalassia testudinum* (Banks ex. König, 1805), *Halodule wrightii* (Ascherson, 1868) y *Syringodium filiforme* (Kützing, 1860), siendo *Thalassia testudinum* la más abundante pero dichas especies no podrán encontrarse en la zona sureste de la laguna (Ayala-Castañares, 1963; Raz-Guzman y Barba, 2000).

Las praderas de pastos marinos, en especial *Thalassia testudinum*, son zonas de alta productividad con las tasas más altas presentándose durante la primavera en la zona de la Boca de Puerto Real (Moore y Wetzel, 1988) y áreas de crianza y protección de especies comerciales tales como camarones, cangrejos, bivalvos, peces, y aves. Este complejo ecosistema ha sido estudiado tanto por su amplia representación en los mares y estuarios tropicales del mundo por su importancia ecológica ya que alberga una fauna variada y abundante. (Yáñez-Arancibia, 1981; Romo, 2013).

Yáñez-Arancibia *et al.* (1983), afirmaron una pérdida de *T. testudinum* del 37.5% de la cobertura en la zona sureste de Laguna de Términos. En el año 1990, en el litoral interno de isla del Carmen existía el 58% de cobertura, mientras que en Boca de Puerto Real (Oeste-Este zona 2) era del 40% y en la zona de descarga de los ríos del 12%. Para el año 2000 se redujo al 38%, 35% y 5% respectivamente (Herrera-Silveira *et al.*, 2011)

Para el año 2010, el porcentaje de cobertura más alto fue en la región oeste (Boca de Puerto Real) con 20%, y en la parte sur en la descarga de los ríos prácticamente no existen pastos marinos. Ya que esta vegetación se asocia a altos valores de salinidad y transparencia y bajos niveles de carbonato de calcio (Yáñez-Arancibia *et al.*, 1983; Raz-Guzmán y Barba, 2000; Herrera-Silveira *et al.*, 2011).

Fisicoquímica

En la Laguna de Términos las características fisicoquímicas como la salinidad, temperatura, pH, oxígeno, y reacciones bioquímicas del ambiente están determinadas por diversos factores.

Salinidad

La salinidad de la laguna varía de acuerdo a la localidad y la estacionalidad. Para la época de nortes en promedio la salinidad fluctúa entre 17.2 y 34.7 ups, en la época de secas se

observan valores de entre 12.2 y 36.6 ups y para la época de lluvias la salinidad media es de 27.5 ups con un mínimo de 2.1 y un máximo de 34 ups (SEMARNAT, 2007; Romo 2013).

La zona de transición entre los sistemas fluvio-lagunares y el litoral interno de la Isla del Carmen registra valores de salinidad entre 10 y 36 ppm y ello depende de la época del año. En el sector norte de la Laguna de Términos la influencia marina determina registros de salinidad que fluctúan entre 14.9 y 34.7 ppm en noviembre y junio, respectivamente. Las bocas que conectan a la laguna con el mar también presentan variaciones de acuerdo a su localización y flujos de corrientes, la Boca de Puerto Real está directamente influenciada por la entrada de aguas marinas del Golfo de México, y el escaso aporte dulceacuícola presenta valores que fluctúan entre 40 y 22 ppm en junio y diciembre. Boca del Carmen estará influenciada según la época climática por la descarga de agua dulce de los sistemas fluvio-lagunares adyacentes, las aguas marinas del Golfo de México o las aguas salobres de la laguna presentando registros que fluctúan de 6.8 a 31.3 ppm en noviembre y junio, respectivamente (INE, 2007).

Temperatura ambiental

Durante el período de 1972 a 1991, la temperatura media anual fue de 27.2 °C, mientras que el promedio de la temperatura máxima y mínima fue de 35.8 °C y 18.6 °C, respectivamente. Los valores de temperatura ambiental presentan, en general, un patrón estacional, ocurriendo los valores máximos durante la época de secas y los valores mínimos durante la época de nortes (INE, 1997)

Temperatura del agua

La temperatura del agua es igualmente cambiante de acuerdo a la zona para las regiones afectada continuamente por los sistemas fluvio-lagunares se presentan temperaturas de entre 20 y 32°C. En la zona que se conoce como de transición entre los sistemas fluvio-lagunares y el litoral interno de la Isla del Carmen se registran valores de entre 21 y 31°C hacia el norte de la laguna se presentan valores que fluctúan entre 28.1 y los 30.8°C en enero y junio, respectivamente y finalmente para la Boca de Puerto Real y Boca del Carmen se alcanzan temperaturas de entre 33.5 y 23.8°C y 21.1 y 30.9°C, respectivamente. (INE, 1997). Romo (2013) determino las temperaturas para cada época climática durante la

temporada de nortes, la temperatura promedio fue de 24.8°C. en la temporada de secas la temperatura promedio fue de 29.1°C y para la temporada de lluvias la temperatura media fue de 30.3°C.

Oxígeno disuelto

La laguna presenta excelente oxigenación por la elevada acción de los vientos teniendo como rango de saturación de oxígeno entre 86 y 150% y un valor promedio de 99.6%. (Botello, 1978).

pH

Miranda en 2006, reportó un valor promedio de pH para el sistema en general de 8.86, así mismo el autor reportó en un trabajo anterior (1999) un valor promedio de pH para la laguna de 8.51, sin embargo en sus escritos hizo hincapié en que los valores de pH dentro de la laguna variaran de acuerdo a la zona y la estacionalidad.

Trabajo de campo

Se realizaron dos campañas experimentales: campaña I en mayo de 2012 y campaña II en mayo de 2013, abarcando la época de secas. Se establecieron cinco sitios de muestreo: la estación 1 (E1) se encuentra cerca de la isla Matamoros, situada en la parte norte-occidental de la laguna, la estación 2 (E2) se ubica en el suroeste de la laguna y está influenciada por aportes de agua dulce provenientes del río Palizada, la estación 3 (E3) se localiza al extremo oeste de la laguna en la zona de Atasta, la estación 4 (E4) se localiza en un canal de manglares atravesando la Isla del Carmen y la estación 5 (E5) se sitúa en una zona de manglar al borde de Estero Pargo (Figura. 6). En la tabla 4 se observan las coordenadas de cada una de las estaciones de muestreo en ambas campañas.

Tabla 4. Localización de las estaciones de muestreo en Laguna de Términos.

Estación	Número de Estación	Posición N	Posición W
Isla Mat.	1	18°38'13.38	91°41'52.47
Rio Palizada	2	18°30'00.79	91°49'19.54

Atasta	3	18°33'83.28	91°53'58.93
Estero Pargo	4	18°38'49.37	91°46'13.87
Manglar	5	18°39'04.95	91°45'33.55

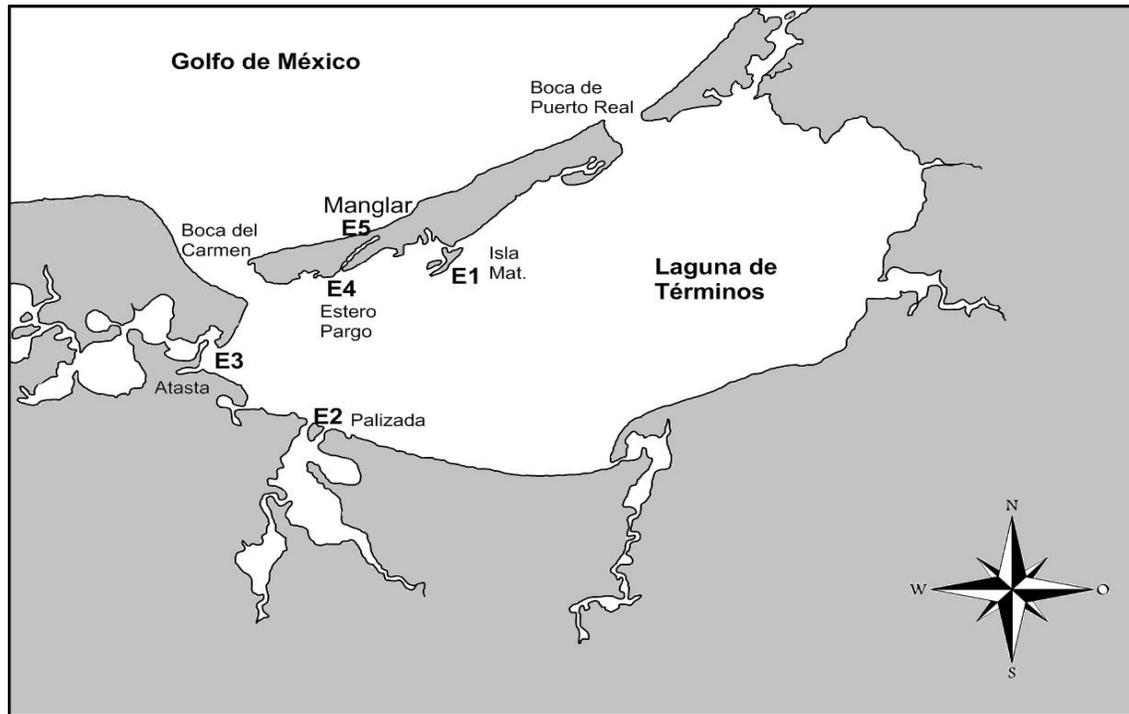


Figura 6. Área de estudio y ubicación de los sitios de muestreo, en Laguna de Términos, Campeche.

Las muestras se tomaron durante dos periodos del día: mañana (9 - 11 hrs) y tarde (13 - 15 hrs.) en los cinco sitios de muestreo. Las muestras de gases de la interfase agua-aire en la laguna y en la interfase sedimento-aire en la zona de manglar se obtuvieron con una cámara cerrada de PVC montada sobre una base flotante de madera con medidas de 9.75 cm de radio y 15 cm de altura. La cámara contaba con un puerto de inyección el cual utilizaba una septa de inyección para cromatografía de gases.

Con ayuda de una aguja tipo “vacutainer” se tomaron 20 ml de muestra en viales tipo “headspace”, evacuados previamente en el laboratorio a aproximadamente -500 mbar.

Las muestras se tomaron de manera intensiva en intervalos de 20 minutos durante hora y media (T0 = inicio, T1 = 20 min, T2 = 40 min, T3 = 60 min y T4 = 80 min).

Para estimar la concentración de CO₂, CH₄ y las distintas especies de carbono (CO, CI, CT) en agua de superficie y fondo, así como de clorofila *a* en la laguna, se tomaron muestras de agua con una botella Van-Dorn y se colocaron en viales de vidrio de 20 ml con “*headspace*” y en botellas de plástico de 250 ml.

Para muestrear partículas atmosféricas con tamaños menores a 2.5 μm (PM_{2.5}), se emplearon cuatro muestreadores portátiles de bajo volumen (MiniVol TAS; Airmetrics, Eugene, OR, USA). Los equipos fueron colocados en una torre de 10 m de altura en la estación del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM en la campaña I y en la azotea del tercer piso del edificio administrativo del jardín botánico de Ciudad del Carmen, Campeche en la campaña II durante 18 días. Los equipos que operan con su propia batería fueron programados para realizar muestreos de 48 horas a un flujo constante de 5 L/min. Las muestras fueron colectadas en filtros de microfibras de cuarzo (Whatman) de 47 mm. Antes del muestreo, estos filtros fueron precalentados en una mufla a una temperatura de 500 °C.

Después de cada periodo de 48 horas, los filtros fueron desmontados del porta-muestras en un lugar especialmente acondicionado y se colocaron en cajas Petri selladas para su análisis en el laboratorio.

En la campaña I se realizó un muestreo de 24 horas en la zona de manglar (E5) para obtener la concentración de CO₂ en el ambiente utilizando un analizador de CO₂ (PP System).

Se realizaron mediciones *in situ* de pH, oxígeno disuelto (OD), temperatura y salinidad en cada una de las estaciones, con ayuda de un equipo multiparámetros de la marca Thermo-Scientific, modelo Orion™ Star™ A329.

Los parámetros meteorológicos (temperatura del aire, velocidad y dirección del viento) se obtuvieron *in situ* con una estación meteorológica portátil marca Davis modelo Weather Wizard III.

Análisis de laboratorio y manejo de datos.

La determinación de las concentraciones de CH₄ en las diferentes muestras de agua y aire y CO₂ en aire se realizó mediante la técnica de cromatografía de gases. Para la campaña I se utilizó un cromatógrafo marca Agilent Series 6890 acoplado a un metanizador y un detector FID (*flame ionization detector*). El equipo contaba con una columna empacada Poropak Q de 1/8" de diámetro externo de 6 pies de largo y con malla de 80/100. El equipo trabajó a condiciones isotérmicas (40°C)..

Para la segunda campaña se utilizó un cromatógrafo marca Shimadzu GC-2014, equipado con un detector FID (con metanizador). El equipo posee una configuración de fábrica para el análisis de CH₄ y CO₂. El equipo contaba con una pre-columna HayeSep N para la captura y lavado del vapor de agua, y otra es propiamente la columna de trabajo principal HayeSep D de 5 m con una malla de 80/100 x 1/8 pulgadas. El equipo trabajó a condiciones isotérmicas (60°C).

La utilización de dos equipos de cromatografía de gases distintos fue por razones ajenas al desarrollo del proyecto. El cromatógrafo Agilent (campaña I) no estuvo disponible para el análisis de las muestras de la campaña II puesto que fue destinado para el análisis de otro proyecto.

Para la campaña I se elaboraron tres curvas de calibración y para la segunda campaña se realizaron dos, usando el método de estándar externo. Se ocupó un estándar de calibración certificado Praxair (Tabla 5), se utilizó se Helio UHP como gas diluyente.

Tabla 5. Características del estándar certificado de calibración.

Marca del Estándar	Grado	Concentración de los Gases	Incertidumbre
Praxair	Estándar Certificado	CO ₂ : 5120 ppm	+/- 1 % rel.
		N ₂ O: 80 ppm	
		CH ₄ : 970 ppm	

Para la determinación de CO₂ disuelto se realizó un análisis titulométrico de acuerdo con el método propuesto por APHA, AWWA, WPCF [*American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Pollution Control Federation (WPCF)*] (1992).

Para la determinación de CH₄ disuelto se siguió los métodos de Kampbell y Vandegrift (1998) y Hudson (2004), ambos métodos basados en la Ley de Henry.

Para el análisis de carbono en aire, a cada filtro de cuarzo se le realizó un análisis gravimétrico para conocer la concentración total de partículas muestreadas, así mismo, se determinaron las concentraciones de CO y CE en cada filtro con un analizador de carbono (coulómetro, CM5014, UIC Inc.). En el analizador UIC las muestras se queman bajo O₂ puro a una temperatura de 500 °C para determinar CO y de 900 °C para medir CE.

La determinación del CT y CO fue a través de un analizador de carbono Shimadzu TOC-V_{CSN} acoplado a un automuestreador (ASI-V).

El equipo analizador Shimadzu TOC-V_{CSN} determina el contenido de carbono en una muestra líquida, basado en la cantidad de CO₂ que se produce durante su combustión (oxidación). La muestra es sometida a una temperatura de 680 °C para ser analizada por el detector de infrarrojo no dispersivo (NDIR).

Para la determinación del COT (Carbono Orgánico Total) se adicionó 3% de ácido clorhídrico 1 M y se burbujeó con aire ultrapuro por 3 min con el fin de eliminar CI, Carbonatos y CO₂ en la muestra.

Para la determinación del CI se midió el Carbono Total (CT=CI+COT) presente en la muestra y se calculó por diferencia con el COT (CI=CT-COT) analizado previamente.

Todos los viales que se utilizaron para llevar a cabo las mediciones (COT y CI) fueron lavados previamente con jabón neutro/agua destilada, acetona/agua destilada y ácido nítrico/agua destilada. Asimismo, el agua utilizada por el equipo fue destilada previo al análisis.

Las muestras de clorofila *a* se evaluaron de acuerdo al método propuesto por Jeffrey y Humphrey (1975).

Chl. *a* ($\mu\text{g/L}$)=

La ecuación general para la cuantificación de Clorofila *a* es:

$$\frac{[11.85*(A_{664}-A_{750}) - 1.54 (A_{647}-A_{750}) - 0.08* (A_{630}-A_{750})]* v}{V}$$

V

Donde:

A_{630} , A_{647} , A_{664} , A_{750} = Densidad óptica medida en nm, en una celda de paso óptico de 1 cm

v= volumen en ml del extracto

V= volumen de agua filtrada en L

El flujo de CO_2 y CH_4 en las interfases se estimó de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\text{Flujo} = \frac{C_f - C_i}{T} \times \frac{\text{volumen}}{\text{área}}$$

Donde C_i es la concentración inicial en el tiempo 0 y al inicio de cada intervalo de 20 minutos, C_f es la concentración final obtenida al paso de 20 min y el volumen y el área corresponden a la cámara. Se consideró que hubo captura de gases cuando la diferencia de concentraciones fue negativa y una emisión cuando fue positiva.

A fin de establecer si existen diferencias significativas entre las campañas de muestreo con respecto a la variación de la concentración de CH_4 , CO_2 , clorofila *a* y las distintas especies de carbono, se aplicó una prueba de *t* de Student para muestras independientes a un nivel de confianza de 95%.

RESULTADOS

Análisis bibliográfico sobre la Laguna de Términos

La Laguna de Términos es considerada como una de las lagunas costeras más grandes del Golfo de México, por lo que existe una gran cantidad de estudios relacionados a ella. La actividad científica se inició desde los años 1960 e inclusive anteriormente a esta década (Lara-Domínguez *et al.* 1990) destacando los relacionados a aspectos geológicos (Phleger y Ayala-Castañares, 1971), productividad y condiciones ambientales (Carvajal, 1973), niveles de nutrientes y productividad fitoplanctónica (Williams, 1973), calidad del agua (Botello y Mandelli, 1975) sedimentos (Gierloff-Emden, 1977), circulación (Mancilla y Vargas, 1980) y su comportamiento ambiental en general (Yañez-Arancibia *et al.*, 1983).

Es por ello que en el presente trabajo se presenta una recopilación bibliográfica de los diversos estudios realizados en la Laguna de Términos con respecto a las variables fisicoquímicas así como la recopilación de información sobre estudios multidisciplinarios relacionados a ecología, contaminación, clorofila *a*, para determinar si la Laguna de Términos se ha visto modificada a lo largo del tiempo.

Tabla 6.- Recopilación de los diversos estudios realizados en la Laguna de Términos con respecto a las variables fisicoquímicas.

Referencia	Sitio	Época	T °C	Salinidad (ppm)	pH	O ₂ mg/l
Phleger y Ayala-Castañares, 1971	Puerto Real			25 a 36		
Carvajal, 1973		secas		33		
		lluvias		26		
Botello, 1978	Puerto Real	secas	28 a 31	38.2	8.1	4 a 6.8
		lluvias	26 a 27	30	8.9	

	Zona centro			26.8	
Amezcu-Linares y	Palizada	lluvias		5	
Yáñez-Arancibia,		secas		25	
1980	Pom-Atasta	nortes	20	8 a 26	
		secas		25	
		lluvias	32	2 a 19	
Ley-Lou, 1979	Estero		23 a 32	26 a 43	
	Pargo				
Amezcu y Yáñez,	Pastos	lluvias	26 a 32	26 a 40	
1980	Marinos				
Segura y Wong-	Estero	secas	30 a 31	35 a 36	7.6 a
Chang, 1980	Pargo				8.1
Sánchez-Iturbe y	Pastos	secas	28 a 32	16 a 36	
Flores-Coto <i>et al.</i> ,	Marinos				
1986					
Vargas-Maldonado y	Isla del	lluvias	30	34	
Yáñez-Arancibia,	Carmen	secas		28	
1987	Zona	norte	21	19	
	Centro			35	
Escobar-Briones y	Isla Pájaros		27	35 a 37	
Soto, 1988	Rio		22	0 a 3	
	Palizada				
Ponce-Vélez y	Zona Este	lluvias	29	34.3	3.9
Botello, 1991	Zona Oeste		20	24.3	4
Barreiro-Güemes y	Pom Atasta		25 a 32	0 a 28	
Aguirre-León, 1999					
De la Lanza, 1999	Isla Pájaros	secas	26	27 a 29	6.1
	Rio	nortes	31	13.3	5.2
	Palizada				

Vázquez <i>et al.</i> , 1999	Pom Atasta	30 a 31	0.10 a 9.4	8.1	4.4 a 7.5
Ayala-Pérez <i>et al.</i> , 2003	nortes	26.5	19.4	8.3	6.6
	secas		28.9	8.9	6.3
	lluvias	26.7	26.8	9.1	6.7
Sosa-López, 2005	Isla Pájaros			8.8	
	Palizada			8.7	
	Atasta			8.8	
	Estero			8.7	
Ramos-Miranda <i>et al.</i> , 2005b	nortes		0 a 35	8.8	5.7 a 6.9
	secas		2 a 40	8.9	
	lluvias		0 a 39		
Ayala-Pérez <i>et al.</i> , 2012	secas		33.2		7.8
	nortes		26.7		6

Desde el punto de vista ictiológico se encuentran trabajos como los de Yáñez-Arancibia y Amezcua-Linares (1979), Amezcua-Linares y Yáñez-Arancibia (1980), Ayala-Pérez *et al.* (2003), Ayala-Pérez *et al.* (2008), Flores-Coto y Álvarez Cadena (1980), Guevara *et al.* (2007), Ramos-Miranda *et al.*, (2005b) y Sánchez-Iturbe y Flores-Coto *et al.* (1986), en los cuales se manejan temas como la abundancia y diversidad de especies, frecuencia de aparición y dominancia de especies, así como su importancia como indicadores ecológicos en la Laguna de Términos.

Estudios sobre crustáceos abarcan un gran número de trabajos como relacionados con la estructura poblacional, abundancia, ecología, alimentación abundancia y su asociación con las comunidades de pastos marinos como los de Castillo *et al.* (2000), Barba *et al.* (2000), Makarov (2002), Mier y Reyes *et al.* (1997), Ramos- Miranda *et al.* (2000) Salinas *et al.*, 2000 y Raz-Guzmán y Sánchez (2001), Raz-Guzman *et al.*, 2004 y Barba, 2012) donde realizaron estudios sobre comunidades de crustáceos en la laguna registrando la presencia de 67 especies de crustáceos decápodos (camarones y cangrejos). Raz-Guzman *et al.* (2004) y Barba (2012) afirmaron que los peracáridos y los crustáceos decápodos son los organismos que dominan en términos de densidad y diversidad.

Acerca de los moluscos se han elaborado trabajos descriptivos y ecológicos como los de Chávez y García (1978), Espinoza (1980), García-Cubas (1981), Escobar (1984), Cruz-Ábrego y Solís-Weiss (1987), y Hernández-Alcántara *et al.* (1988). De tipo reproductivo está presente el trabajo de Amador y Cabrera (1995). Por otra parte uno de los trabajos más recientes sobre moluscos fue el realizado por (García-Cubas y Reguero, 2004) en el que registraron 660 especies, de las cuales 439 (66.5%) pertenecen a la clase Gastropoda, 217 (32.9%) a la clase Bivalvia, dos (0.3%) a la clase Cephalopoda, una (0.15%) a la clase Polyplacophora.

En cuanto a poliquetos son pocos los estudios en que se han analizado las poblaciones de estos organismos en la Laguna de Términos, Campeche como los de Marrón (1975), Reveles (1984), Ibáñez-Aguirre y Solís-Weiss (1986), Solís-Weiss y Carreño (1986) en praderas de *T. testudinum*, y Hernández y Solís-Weiss (1991) en zonas de manglar y Cruz-Abrego *et al.* (1994) hizo un estudio abarcando ambos tipos de vegetación.

En cuanto a protistas, Segura y Wong Chang (1980) reportaron la distribución de foraminíferos en Estero Pargo, identificando aproximadamente 38 especies, encontrando algunas especies que anteriormente no se citan para la Laguna de Términos, Campeche.

Román-Contreras y Martínez-Mayen (2011) reportaron el registro de tres nuevas especies de parásitos epicarideos para México, *Anathelges hyptius* (Thompson, 1902), *Parabopyrella mortensi* (Nierstrasz y Brender á Brandis, 1929) y *Metaphrixus carolli* (Nierstrasz y Brender á Brandis, 1931) con la adición de estos registros se estimó que el número de epicarideos para el Atlántico Mexicano alcanzó las 23 especies y un total el país un total de 42 especies registradas para todo México.

Así mismo se han realizado estudios macro faunísticos que están asociados a las praderas de *Thalassia testudinum* que reflejaron la distribución y la gran diversidad y abundancia presente en esta vegetación encontrando una gran variedad de peces (larvas), moluscos, diatomeas, poliquetos, crustáceos, siendo este último grupo el de mayor abundancia. Los trabajos más destacados son los realizados por Cruz-Ábrego *et al.* (1994), García-Cubas (1981), Loyo-Rebolledo (1965), Solís-Weiss y Carreño (1986), Barba y Gallegos (1998) y Roldan *et al.* (2001)

Estudios sobre la vegetación de la laguna se han basado principalmente en la estructura del manglar y la productividad primaria por parte de la vegetación de humedales y su importancia ecológica para muchas especies (red trófica) que habitan dentro del cuerpo lagunar, siendo algunos de esos trabajos de Barreiro-Güemes y Aguirre-León (1995;1999), Day *et al.* (1982), Gómez-Aguirre (1974), Agraz (2012) y Barba (2012)

Otro de los temas de gran relevancia es el estudio de la laguna en cuanto a aspectos de contaminación ya que al ser una zona urbana y con alta actividad industrial, es propensa a grandes daños por estas causas. Trabajos como los de Rodríguez y Romero (1981), en el que se limitaron a estudiar la resistencia de colonias bacterianas a antibióticos, Rodríguez y Botello (1988) se enfocaron en determinar las concentraciones de *Escherichia. Coli* (Migula, 1895) en el cuerpo de agua y Lizárraga-Partida *et al.* (1987), se enfocaron en la contaminación por descarga de drenajes que elevaron las poblaciones de bacterias a niveles superiores a 24,000 organismos por 100 ml de muestra, abriendo la posibilidad de que los afluentes estén fuertemente contaminados con salmonella a causa del drenaje urbano. Ponce-Vélez y Botello (1991) y Gold-Bouchot *et al.*, (1995) realizaron estudios sobre presencia de metales pesados e hidrocarburos procedentes de la industria demostrando una bioacumulación de dichos compuestos al encontrarlos en tejido vivo de ostras [*Crassostrea virginica* (Gmelin, 1791)]

Dos trabajos más, el primero de Carvalho *et al.* (2009), en el cual realizaron estudios sobre la presencia de compuestos químicos procedentes de la industria y agricultura (organoclorados y organofosfatos), los cuales también pueden llegar a ser bioacumulados, provocando alta toxicidad al organismo y posteriormente al ecosistema, y el segundo de Rodríguez-Romero (2010) en el cual observo el fenómeno del imposex por la presencia de Tributilestaño (TBT) que afecta directamente a comunidades de moluscos.

Este último apartado sobre contaminación es de gran relevancia ya que al tratarse de un área natural protegida, deberían existir leyes más rígidas que ayuden a su protección y conservación, y aunque por el momento estos niveles de contaminación son bajos, con el tiempo pueden ocasionar severos daños a todo el ecosistema.

La productividad de la Laguna de Términos ha sido evaluada por diversos autores quienes reportan mediciones de pigmentos fotosintéticos (clorofila *a*) con valores entre 0.16 y 1.35 mg/m³ en primavera, de 1.17 y 1.80 mg/m³ en verano (Gómez-Aguirre, 1974) y de 8.7 a 26.4 mg/m³ en el Sistema Pom-Atasta (Barreiro-Güemes y Aguirre-León, 1995) y de 7.1 en el mes de abril y 8.8 mg/m³ en el mes de junio (De la Lanza, 1999) reflejando la alta productividad de la zona.

Comportamiento ambiental

Los valores promedio de los parámetros fisicoquímicos en cada sitio de muestreo se observan en la tabla 7. En general los valores de temperatura en superficie y fondo presentaron poca variabilidad, los valores oscilaron entre 29.3 y 32.4 °C. El valor mínimo se observó en la zona de Atasta (E3) y el máximo en la desembocadura del río Palizada (E2). La salinidad presentó una variación muy marcada con respecto a cada sitio de estudio. Los valores más elevados registrados en las estaciones E1 y E4 y los más bajos en la E2 (Figura. 6). En cuanto al pH, los valores registrados en la campaña I fueron de 8.0 a 8.2 en tanto que en la campaña II los valores oscilaron entre 6.0 y 8.3.

El OD se monitoreo sólo en la campaña II, los mayores valores se observaron en la zona de Isla Matamoros y los menores en Estero Pargo durante el muestreo nocturno (Tabla 7).

Tabla 7. Promedio de las variables físicas y químicas del agua de superficie y fondo de la Laguna de Términos registradas durante las campañas I y II.

Estación	Nivel	Campaña I			Campaña II			
		T °C	Salinidad UPS	pH	T °C	Salinidad UPS	pH	OD(mg/l)
Isla	superficie	30.1	37.4	8.2	29.8	39.1	8.3	9.56
Matamoros	fondo	30.1	37.4	8.2	30.0	39.2	8.3	11.6
Rio	superficie	30.2	10.1	8.1	32.4	3.2	7.4	6.42
Palizada	fondo	30.5	10.0	8.1	30.0	3.4	7.8	5.71
Atasta	superficie	29.4	27.7	8.0	29.8	16.9	7.3	7.4

	fondo	29.3	29.0	8.1	30.4	17.6	7.7	7.05
Estero	superficie	30.8	37.2	8.1	29.6	42.2	6.1	5.33
Pargo	fondo	30.7	37.3	8.2	29.4	42.2	6.0	6.32
Estero	superficie	-	-	-	31	40	4	3.82
Pargo (Noche)	fondo	-	-	-	30	39.88	4.72	3.89

La información recopilada de la estación meteorológica no indica que en la campaña I, la dirección del viento presentó un predominio SSE en la mayor parte del día, sin embargo, entre las 8 am y 11 am los vientos provinieron del NNW; para la campaña II, la dirección del viento en la mañana fue SSE y para las horas de la tarde y madrugada, los vientos cambiaron a WNW.

La velocidad de los vientos registrada para ambas campañas fue similar, con valores promedio de 1.1 y 1.7 m/s. Para la campaña I el valor mínimo fue de 0.4 y el máximo de 4, la campaña II presentó una la velocidad mínima de 0 m/s y máxima de 3.1 m/s. La precipitación fue nula durante la campaña I, en la campaña II se presentaron lluvias principalmente por la noche.

Concentración de CO₂ y CH₄

Interfase agua-aire

En la tabla 8 se proporcionan los valores promedio de las concentraciones de CH₄ y CO₂ en aire, obtenidas para cada estación en las dos campañas de muestreo, lo observado durante la segunda campaña mostro una disminución en las concentraciones tanto de CO₂ como de CH₄ en las localidades de Isla Matamoros y Palizada y un aumento para la zona de Atasta y Estero Pargo. Durante la segunda campaña se realizó un muestreo nocturno para comparar el comportamiento de los gases sin la presencia de actividad fotosintética reflejando un incremento en las concentraciones de ambos gases en la zona de Estero Pargo, yendo de 521 a 599.9 ppm de CO₂ y de 3.3 a 3.9 ppm de CH₄.

Tabla 8. Concentraciones promedio de gas (CO₂-CH₄) en la interfase agua-aire, para las campañas I y II.

Localidad	Campaña I (2012)		Campaña II (2103)	
	Concentración CO ₂ (ppm)	Concentración CH ₄ (ppm)	Concentración CO ₂ (ppm)	Concentración CH ₄ (ppm)
Isla Matamoros	510.11	4.20	264.23	2.44
Palizada	703.04	3.06	531.10	2.49
Atasta	547.72	2.99	589.60	2.42
Estero Pargo	457.02	3.05	521.09	3.27
Estero Pargo (Nocturno)			599.87	3.90

Interfase sedimento-aire

Las concentraciones registradas para la zona de manglar (E5)(tabla 9) para ambas campañas demuestran que los valores de CO₂ y CH₄ mantienen una estabilidad de un año a otro para las horas de la mañana, sin embargo, para la campaña II (2013) los muestreos realizados hacia horas más avanzadas del día reflejaron aumentos en las concentraciones de

CO₂ llegando a superar las 2000 ppm, en cambio las concentraciones de CH₄ fueron disminuyendo gradualmente al transcurrir las horas del día.

Tabla 9. Concentraciones de gas (CO₂-CH₄) en la interfase sedimento-aire de la zona de manglar.

Hora	Campaña I		Campaña II	
	Concentración CO ₂ (ppm)	Concentración CH ₄ (ppm)	Concentración CO ₂ (ppm)	Concentración CH ₄ (ppm)
09:30	443.1	5.1		
10:00	555.5	1.3	818.03	9.39
10:30	883.2	3.6	904.71	11.78
11:00	1486.0	3.4	1420.44	0.56
11:30	962.5	3.7	1301.45	4.30
12:00	1295.2	5.3	1477.99	2.42
12:30	1842.8	8.4	756.16	4.06
13:00	1577.5	8.6	1258.08	5.89
13:30	2751.1	8.2	1825.03	5.89
14:00			1963.03	1.57
14:30			2039.50	0.67
15:00			651.81	5.89
15:30			1369.66	3.32
16:00			1593.00	3.92
16:30			1828.79	4.76
17:00			2455.37	3.50

Columna de agua

CO₂ y CH₄

La concentración de CO₂ disuelto presentó variaciones en la columna de agua en los diferentes sitios de muestreo de las dos campañas analizadas. La primera campaña presentó

las mayores concentraciones (>3.5 mg/l). En ambos muestreos, las estaciones de Palizada y Atasta registraron los valores más altos tanto en superficie como en fondo (Figura 7).

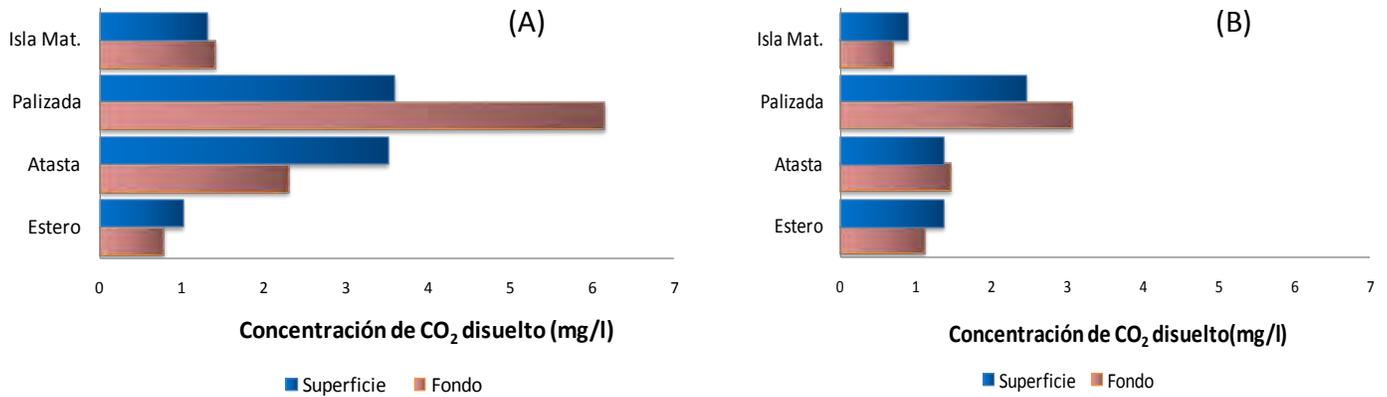


Figura 7.-Concentración de CO₂ en superficie y fondo en los diferentes sitios de muestreo, (A) Campaña I y (B) Campaña II.

De manera general, las concentraciones de CH₄ disuelto fueron bajas en ambas campañas siendo la estación E4 ubicada en Estero Pargo la que presentó los valores más altos tanto en superficie como en fondo sobresaliendo del resto de las estaciones (2.3-14.2 µg/l) (Figura 8).

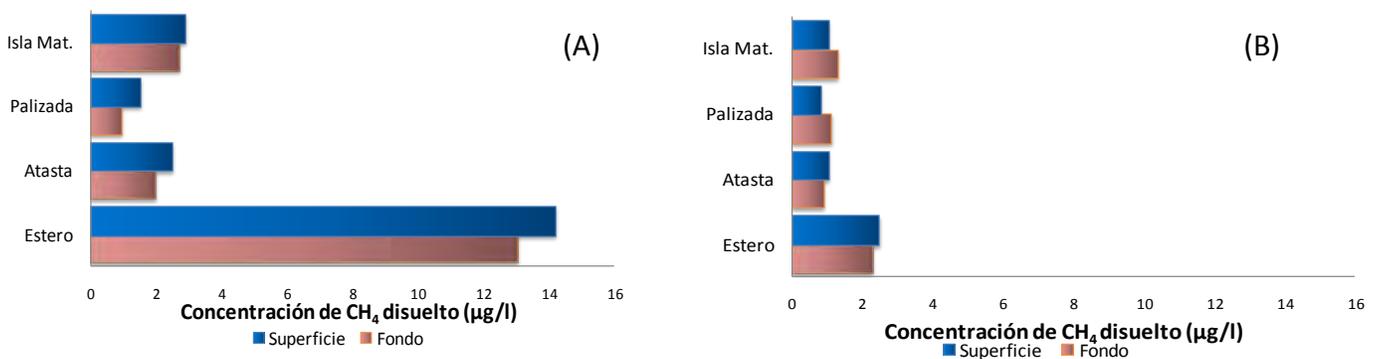


Figura 8.-Concentración de CH₄ en superficie y fondo en los diferentes sitios de muestreo, (A) Campaña I y (B) Campaña II.

Clorofila *a*

En el área de estudio, las concentraciones de clorofila *a* presentaron una evidente variación espacio-temporal. En la campaña I, los valores más altos (2.8 $\mu\text{g/l}$) se observaron en la E1, sitio que se caracteriza por la presencia de pastos marinos, en las estaciones E2 y E3 se presentaron valores intermedios y la E4 los más bajos (Figura 9-A).

En la campaña II, las concentraciones de clorofila *a* fueron mayores, oscilando entre 1.1 y 6.7 $\mu\text{g/l}$. Los valores más altos se observaron en superficie destacando los registros de las estaciones E3 y E4 (Figura 9-B).

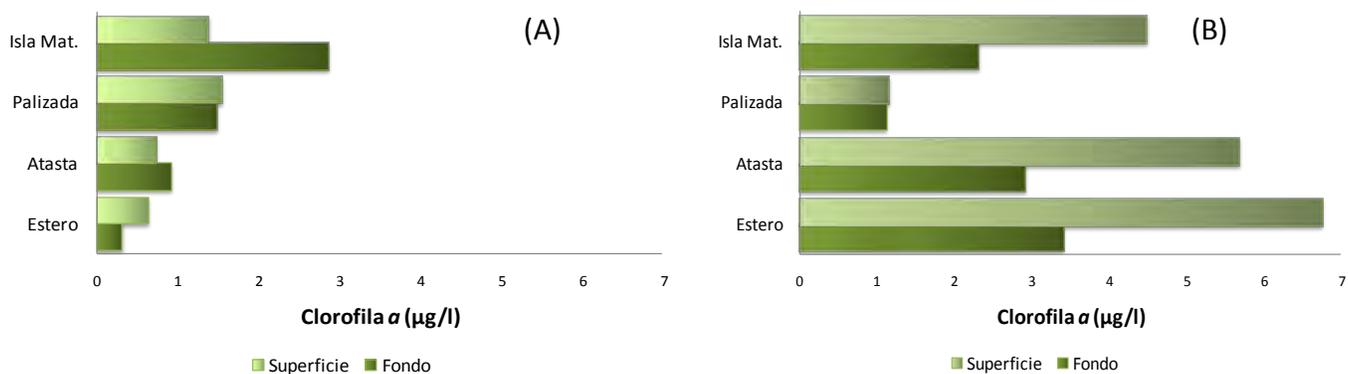


Figura 9 - Concentración de clorofila *a* en superficie y fondo en los diferentes sitios de muestreo. (A) campaña I y (B) campaña II.

Carbono en agua

Los resultados del análisis de las diferentes especies de carbono en las dos campañas de estudio muestran que la distribución de estos componentes es muy homogénea en la columna de agua presentando valores similares tanto en superficie como en fondo. Las mayores concentraciones de CI (36.2-39.9mg/l) se registraron en la estación E2 en tanto que los valores más altos de COT (4.8-9.8 mg/l) se observaron en la E4 (Figura 10).

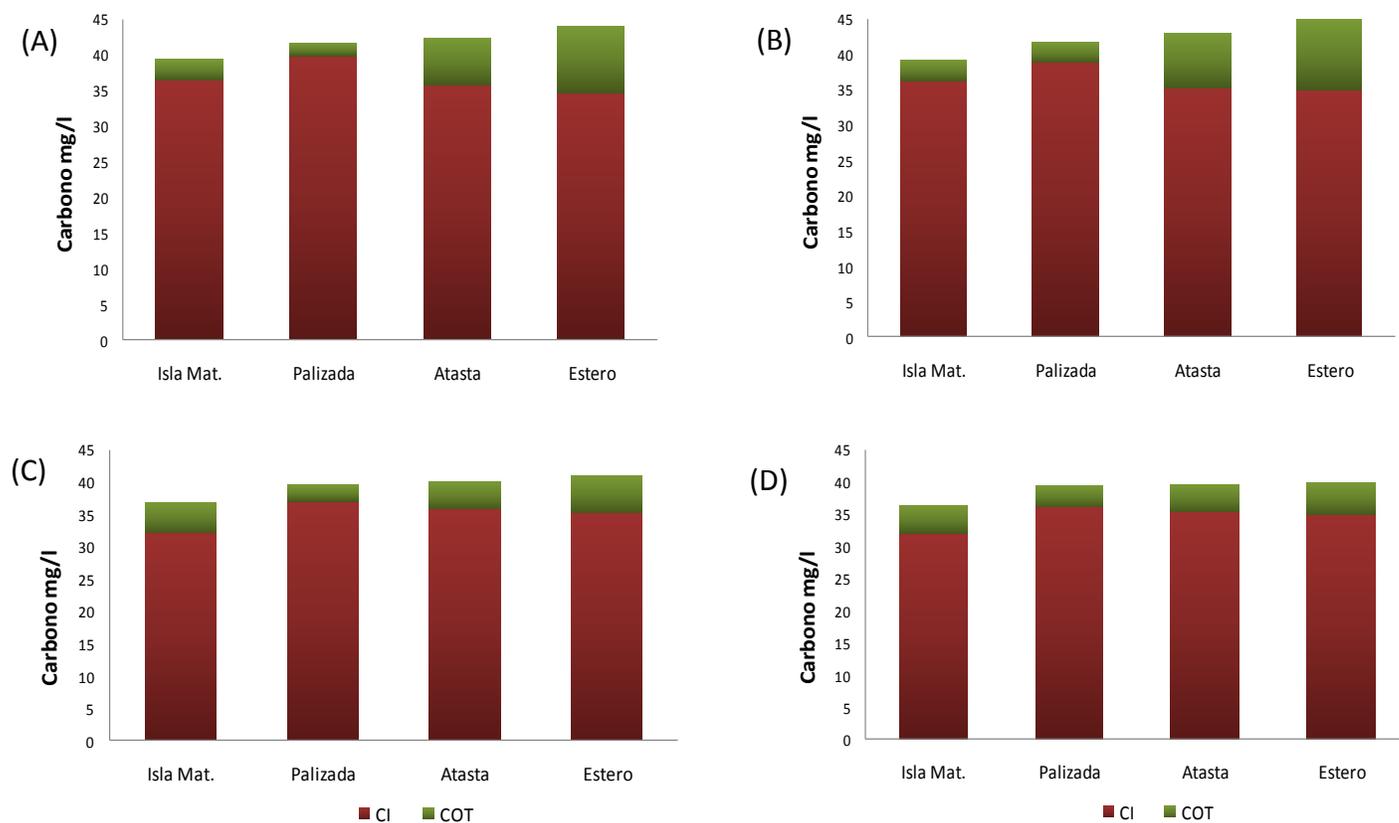


Figura 10.- Concentración de las distintas especies de carbono en los sitios de muestreo.

(A) superficie y (B) fondo de la campaña I; (C) superficie y (D) fondo de la campaña II.

Carbono en aire

En la campaña I, la mayor concentración de carbono en la atmósfera se observó en los tres primeros días de muestreo, alcanzando valores entre 6.6 y 14.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO y de 2.3 a 7.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de CE. Durante estos días predominaron los vientos del SSE con velocidades entre 0.4 y 3.6 m/s, posteriormente, las concentraciones oscilaron de 3.8 a 5.8 y 0.8 a 1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de CO y CE respectivamente (Figura 11-A).

En la segunda campaña, los valores de carbono fueron menores mientras que para la primera la concentración de CO osciló entre 2.6 y 4.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ excepto el día 6 que alcanzó 7.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El CE presentó poca variación, el valor mínimo fue de 0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y el máximo de 2.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 11-B). En este muestreo la velocidad del viento fue menor oscilando entre 0.4 y 3.1 m/segundo. Cabe mencionar que en estos días hubo precipitaciones pluviales.

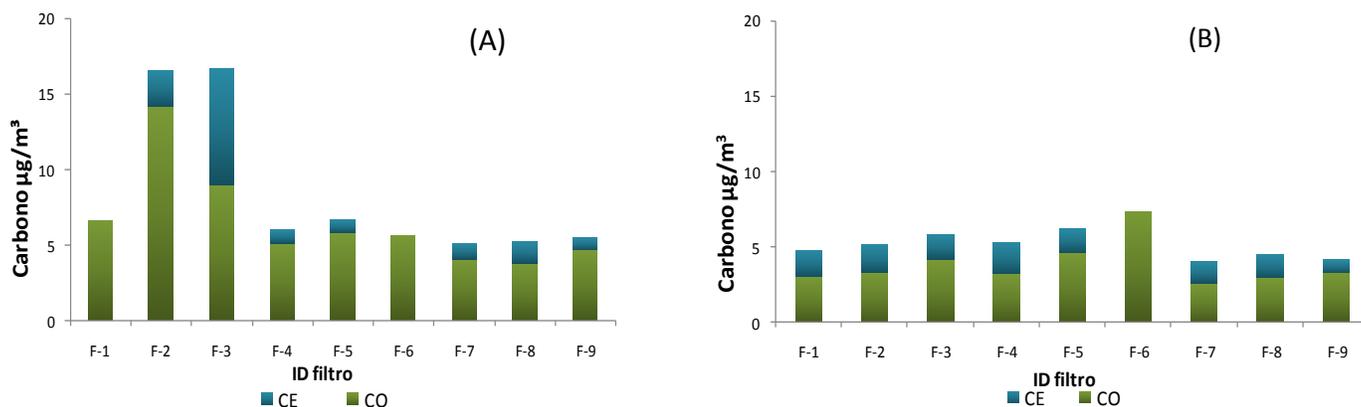


Figura 11.- Concentración de carbono orgánico (CO) y carbono elemental (CE) en aire.

(A) campaña I y (B) campaña II.

Flujos de CO₂ y CH₄

La figura 12 muestra los flujos de CO₂ de la interfase agua-atmósfera en los dos periodos de muestreo. Se observó una variación entre los flujos de la mañana y tarde en todos los sitios de estudio. En la campaña I, los flujos más altos se observaron en las estaciones E2 y E4 y los menores en la E1. Las estaciones E1 y E4 presentaron valores negativos lo cual de acuerdo al criterio empleado indica que hay una captura de CO₂ del ambiente, la E2 presento valores positivos por lo que se considera un sitio de emisión, la E3 presento un equilibrio entre captura y emisión (Fig.12-A). El flujo total de los cuatro sitios de muestreo fue de 116 mg/m²/h.

En la campaña II los flujos más altos se observaron en las estaciones E1 y E3 y los más bajos en E2 (Fig. 12-B). Este muestreo presentó un patrón de comportamiento similar al anterior caracterizando a las estaciones E1 y E4 como sumideros de CO₂ y a las estaciones E2 y E3 como fuentes. El flujo total de los cuatro sitios de muestreo fue de -250 mg/m²/h.

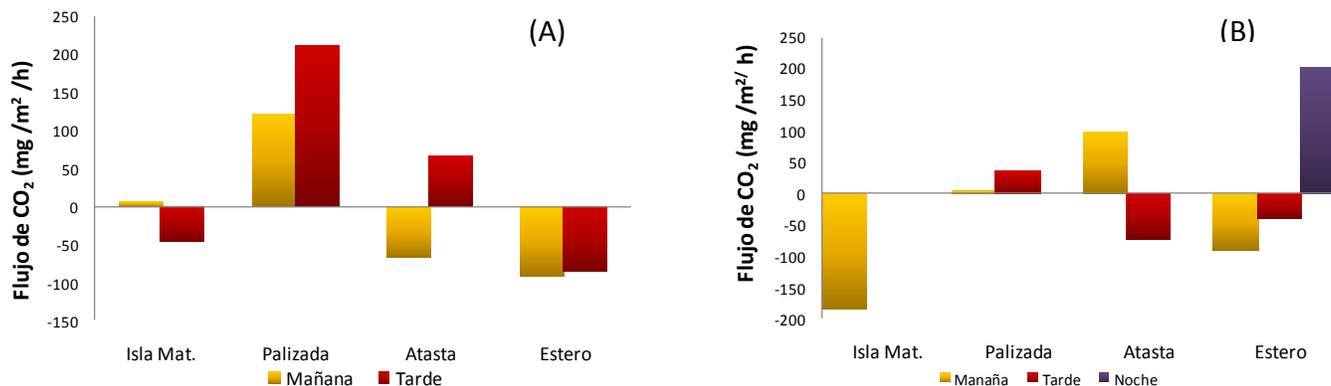


Figura 12.- Flujos de CO₂ en los diferentes sitios de muestreo. (A) Campaña I y (B) Campaña II.

De manera general, los flujos de CH₄ observados en el área de estudio son muy bajos (Fig. 13), sin embargo, en ambas campañas de muestreo se observó que el sistema es un emisor de CH₄. Los valores más altos se obtuvieron en la E4 lo cual puede estar relacionado con la alta concentración de materia orgánica proveniente del manglar.

El flujo de CH₄ total del sitio de muestreo fue de 2.3 mg/m²/h para la campaña 1 (Fig. 13-A) y de 3.3 mg/m²/h para la campaña 2 (Fig. 13-B).

Los resultados obtenidos durante el muestreo nocturno en la E4 indican que el área presenta una variación significativa en las concentraciones tanto de CO₂ como de CH₄ en un horario diurno al haberse comportado como sumidero de CO₂ y durante la noche como emisor alcanzando valores de 200 mg/m²/h. El flujo de CH₄ también se vio incrementado hasta alcanzar 1.2 mg/m²/h. Estos valores pueden estar relacionados con el proceso de respiración del ecosistema.

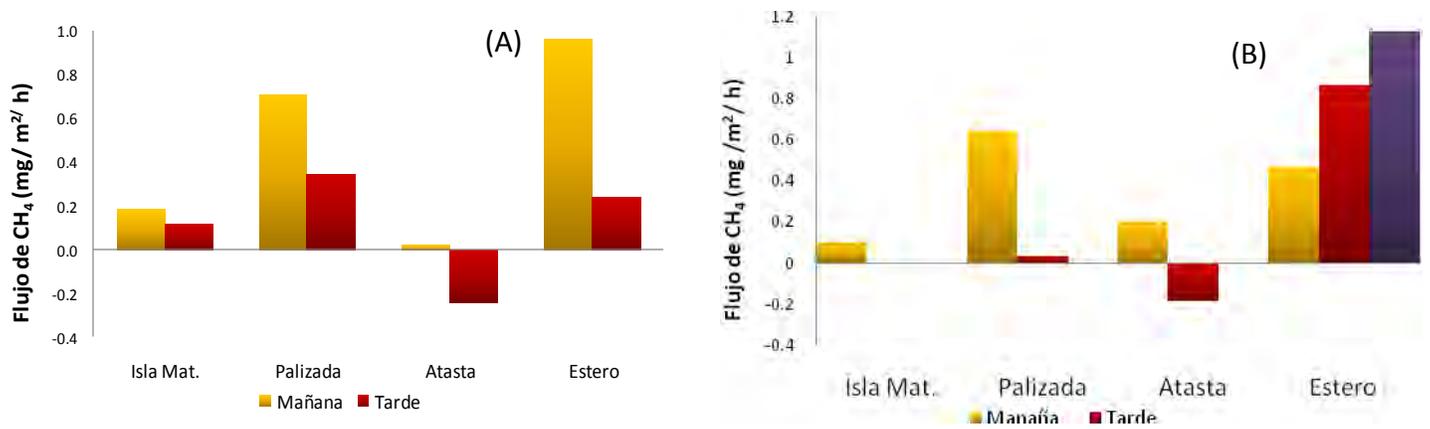


Figura 13.- Flujos de CH₄ en los diferentes sitios de muestreo. (A) Campaña I y (B) Campaña II.

Manglar

CO₂ ambiente en zona de manglar

En esta zona se realizó un muestreo de 24 horas a fin de conocer la variabilidad del CO₂ ambiente a lo largo del día observándose que las concentraciones más altas (>300 ppm) se presentaron por la mañana, mismas que disminuyeron hasta las 6:00 pm cuando se registró el valor más bajo (234.6 ppm). A partir de esta hora y hasta las 5:00 am los valores nuevamente se incrementaron de forma paulatina (Figura 14).

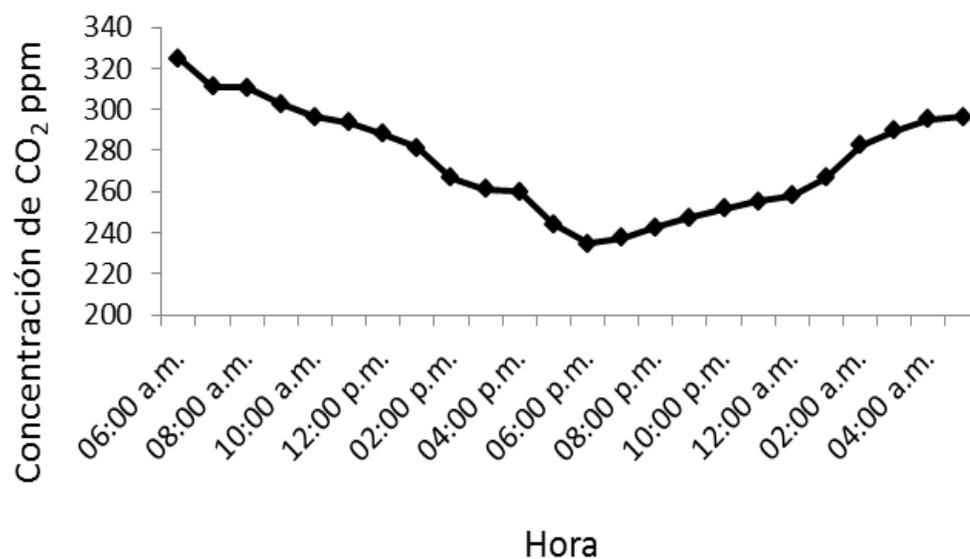


Figura 14.- Concentración de CO₂ aire en la zona de manglar durante un ciclo de 24 horas.

Flujos de CO₂

La figura 15-A y 15-B muestra los flujos de CO₂ de la interfase sedimento-atmósfera en los dos periodos de muestreo para la zona de manglar. Se observó una variación entre los flujos de la mañana y tarde en ambos periodos de muestreo, siendo mayor el flujo de CO₂ para la tarde en ambos periodos, llegando a 400 mg CO₂/m²/h en el 2012 y poco más de 1200 mg CO₂/m²/h para el 2013.

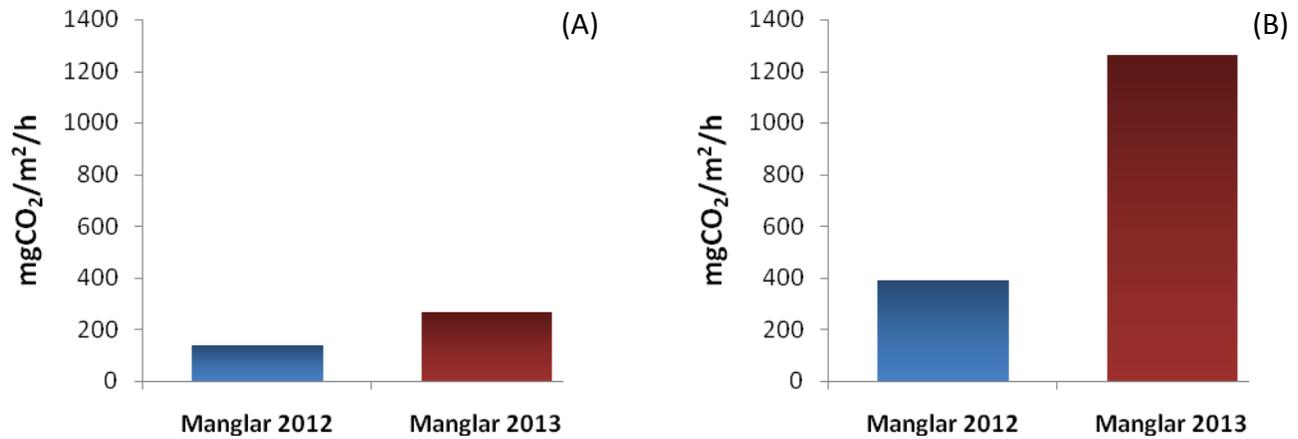


Figura 15. Flujos de CO₂ mañana (A) y tarde (B) de la zona de manglaren ambos periodos de muestreo.

Flujos de CH₄

De manera general, los flujos de CH₄ fueron bajos en ambos muestreos, sin embargo, es importante mencionar que durante la campaña II los valores fueron mayores que en la I, en la figura 16-A y 16-B se muestra que en ambos periodos de muestreo claramente existe una disminución en las concentraciones de CH₄ que se emitieron llegando a ser de -1 mg de CH₄/m²/h para la campaña II, siendo esto en mayor medida por la mañana, posiblemente asociado a procesos de oxidación del gas que se estaría realizando en capas inferiores del sedimento.

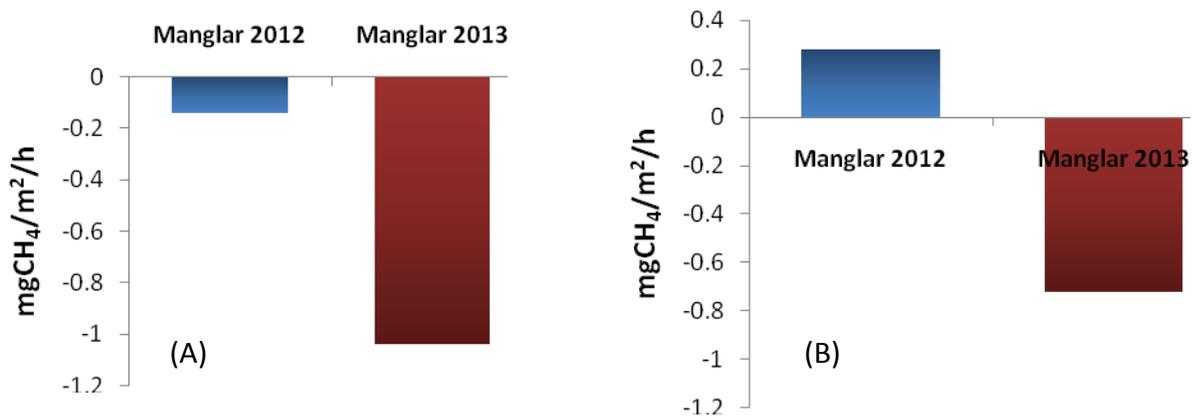


Figura 16. Flujos de CH₄ mañana (A) y tarde (B) de la zona de manglar en ambos periodos de muestreo.

Análisis estadístico

Se aplicaron los estadísticos básicos a los datos obtenidos de los diferentes análisis en los dos periodos de muestreo (tabla 9). Los resultados de la prueba *t* aplicada a los distintos componentes de CO₂, CH₄ y especies de carbono señalan la existencia de diferencias significativas entre los muestreos con respecto a algunas variables analizadas (tablas 10 y 11). Estos resultados indican que el área de estudio presentó una dinámica diferente en cada muestreo lo que se manifestó en la variabilidad de los distintos factores analizados.

Tabla 10. Estadísticos de grupo para cada parámetro y para cada campaña de muestreo.

	Campaña	Tamaño de Muestra	Media	Desviación típica	Error típico de la media
CO₂ Aire	I	39	606.2	368.7	59.03
	II	35	505.2	164.8	27.8
CH₄ Aire	I	39	3.3	1.6	0.2
	II	35	2.7	1.02	0.18
CO₂ Agua	I	31	2.7	1.8	0.3
	II	16	1.6	0.8	0.2
Clorofila <i>a</i>	I	33	0.1	0.09	0.02
	II	32	3.3	2.4	0.4
CH₄ Agua	I	39	2.2	2.7	0.4
	II	16	1.5	0.7	.18
Carbono Total	I	31	39.3	2.2	0.4
	II	16	42.3	3.07	0.7
Carbono Inorgánico	I	31	34.9	2.04	0.3
	II	16	36.3	1.8	0.4
Carbono Orgánico	I	31	4.3	1.6	0.3
	II	16	6.0	3.9	0.99

Tabla 11. Resultados del estadístico de prueba y prueba de t para la comparación de medias muestrales (2012 vs. 2013) aplicado a cada parámetro.

	Prueba de Levene para la igualdad de varianzas		Prueba t para la igualdad de medias						
	Prueba de F	Significancia	Prueba de t	Grados de Libertad	Significancia. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típico. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
								Inferior	Superior
CO ₂ Aire	1.6	0.201	1.5	54	0.12	101.05	65.2	-29.8	231.9
CH ₄ Aire	9.7	0.003	2.1	66	0.038	0.6	0.304	0.03	1.2
CO ₂ Agua	8.0	0.007	2.9	45	0.005	1.1	0.37	0.3	1.8
CH ₄ Agua	30.1	0.0000012	1.4	48	0.143	0.6	0.4	-0.2	1.6
Clorofila <i>a</i>	37.6	0.0000001	7.2	31	0.000	-3.1	.43	-4.03	-2.2
Carbono Total	2.1	0.15	3.5	23	0.002	-3.04	0.9	-4.8	-1.2
Carbono Inorg.	0.4	0.49	2.3	34	0.025	-1.3	0.59	-2.5	-1.7
Carbono Org.	16.7	0.00018	1.6	17	0.123	-1.69	1.04	-3.8	0.502

Tabla 12. Interpretación de los valores para la prueba de t (2012 vs. 2013)

Prueba t para la igualdad de medias	
CO ₂ Aire	Las pruebas estadísticas demuestran que no existen diferencias significativas entre ambos muestreos; Valor-P >0.05
CH ₄ Aire	Las pruebas estadísticas arrojan que existen diferencias significativas entre ambos muestreos ; Valor-P <0.05
CO ₂ Agua	Las pruebas estadísticas arrojan que existen diferencias significativas entre ambos muestreos; Valor-P <0.05
CH ₄ Agua	Las pruebas estadísticas demuestran que no existen diferencias significativas entre ambos muestreos; Valor-P >0.05
Clorofila <i>a</i>	Las pruebas estadísticas arrojan que existen diferencias significativas entre ambos muestreos; Valor-P <0.05
Carbono Total	Las pruebas estadísticas arrojan que existen diferencias significativas entre ambos muestreos; Valor-P <0.05
Carbono Inorgánico	Las pruebas estadísticas arrojan que existen diferencias significativas entre ambos muestreos; Valor-P <0.05
Carbono Orgánico	Las pruebas estadísticas demuestran que no existen diferencias significativas entre ambos muestreos; Valor-P >0.05

Propiedades fisicoquímicas

Uno de los objetivos del presente trabajo fue recopilar y analizar información referente a los parámetros fisicoquímicos que se han registrado en la Laguna de Términos con lo que se pretende saber cuál ha sido la variación de los diferentes factores ambientales que se presentan en el área a lo largo del tiempo. Los parámetros fisicoquímicos que se consideraron fueron la temperatura, pH, salinidad y oxígeno disuelto y en el caso de los biológicos la clorofila *a*. Estos parámetros han utilizados en las evaluaciones de recursos hídricos (Orozco, *et al.*, 2005) ya que según Fernández y Solano (2005), su análisis pueden dar conclusiones acertadas acerca de la integridad ecológica de los sistemas acuáticos, especialmente en los que aún se conservan sus características naturales, pero que posiblemente han sido afectados por actividades humanas.

Los valores de temperatura del agua que se ha registrado a lo largo del tiempo presentan poca variabilidad misma que dependerá de la estacionalidad.

Para la época de nortes se han registrado valores de temperatura de 21 °C, valores reportados para la temporada de lluvias los valores van de 26 hasta los 31°C (Botello, 1978; Amezcua y Yáñez, 1980; Vargas-Maldonado y Yáñez-Arancibia, 1987, y Ayala-Pérez *et al.* 2003) y para la época de secas se tienen valores de entre 28 y 32°C registrados por Sánchez-Iturbe y Flores-Coto *et al.* (1986). Datos más recientes como los de Romo (2013) en los que determino las temperaturas para cada época climática durante la temporada de nortes, la temperatura promedio fue de 24.8°C en la temporada de secas la temperatura promedio fue de 29.1°C y para la temporada de lluvias la temperatura media fue de 30.3°C. Estos valores son similares a los registrados en este estudio (Tabla 6) durante el 2012 y 2013, con valores promedio de 29.8°C y 27.9°C, respectivamente.

Estos resultados permiten considerar que la temperatura en la zona de estudio ha permanecido estable con el paso de los años, y las variaciones observadas son debido a una marcada estacionalidad, que confirma lo propuesto por Yáñez-Arancibia y Day (1982 y

1988; Romo, 2013), quienes caracterizaron a la laguna en tres periodos climáticos, secas de febrero a mayo, lluvias de junio a octubre y nortes de noviembre a febrero.

La salinidad es un parámetro de gran relevancia, puesto que podrá determinar cómo se desarrollará un ecosistema, y cómo se distribuirán los organismos, ya sean estenohalinos o eurihalinos. La laguna ha llegado a presentar intervalos de entre 0 y 40 ups (Ramos-Miranda *et al.*, 2005) siendo un gradiente tan amplio asociado a que la Laguna de Términos como zona costera presenta una variabilidad muy amplia de este parámetro debido a sus características hidrográficas, ya que tiene conexión con el Golfo de México por medio de las Bocas de Puerto Real y del Carmen. Esta variabilidad se hace evidente en los distintos subsistemas de la laguna llegando a presentar salinidades de entre 40 y 43 ups en estero pargo (Ley-Lou, 1979; Ramos-Miranda *et al.* 2005), para la zona de las bocas entre 26 y 34 ups, así mismo, la laguna presenta una marcada influencia de descargas de ríos, el de mayor importancia es el Río Palizada, el cual nace de uno de los brazos del Río Usumacinta (INE, 1997) y cuyo aporte representa el 70% del total de agua que ingresa a la laguna (Phleger y Ayala-Castañares, 1971), llegando a presentar salinidades de entre 0 a 15 ups (Escobar-Briones y Soto, 1988; Ramos-Miranda *et al.*, 2005).

Al igual que la temperatura, la salinidad se ve influenciada por el ciclo estacional tan marcado que se presenta en la laguna, la cual disminuirá en la época de nortes debido a que las lluvias presentes en la época aumentan el caudal de los ríos, provocando la dilución del agua salada, disminuyendo la concentración de la salinidad hasta 19 ups (Ayala-Pérez, 2003) en las zona central de la laguna y para la época de secas ocurre lo contrario, cuando la nula precipitación en combinación con elevadas temperaturas provocando una elevada tasa de evaporación incrementando la salinidad en el cuerpo de agua, llevándola hasta 43 ups en estero pargo (Ley-Lou, 1979). Este efecto provoca que las salinidades dentro del cuerpo de agua superen la salinidad promedio del Golfo de México que llega a ser de 36.5 ups (Biggs, 1992), sin embargo, para el caso de la época de lluvias, las temperaturas y las salinidades siguen siendo muy altas, lo que refleja que las tasas de evaporación siguen siendo muy elevadas, llegando a alcanzar salinidades de entre 30 (Botello, 1978) y 39 ups (Ramos-Miranda *et al.*, 2003). Para la zona de Isla Matamoros, Escobar-Briones y Soto (1988), reportaron valores de entre 35 y 37 ups para la época de secas, lo que coincide con

lo registrado en el presente trabajo y que indica que la salinidad se ha mantenido estable en las últimas décadas.

Para la zona de Palizada en esta misma época, De la Lanza *et al.* (1999) registraron salinidades de 13.3 ups, valores que concuerdan con los resultados de este estudio en la campaña I, sin embargo, para la campaña de 2013, la salinidad, registró valores de 3.2 ups, esto debido a que durante los días de muestreo se presentaron lluvias, provocando dicha disminución. Para la zona de Atasta hubo una disminución en la salinidad con concentraciones de 29 ups (mayo 2012) hasta 17 ups (mayo 2013). Atasta es considerada una zona de descarga de agua dulce, aunque en menor grado que Rio Palizada.

Para confirmar que esta disminución fue un evento aislado asociado a estas lluvias, se compararon los registros en época de lluvias para la zona de Atasta por Amezcua-Linares (1980) con salinidades de 25 ups, Barreiro-Güemes y Aguirre-León (1995), con valores de 28 ups y por Romo (2013) con valores de en la época de lluvias que registro valores de entre 27.5 ups con un mínimo de 2.1.

En la localidad de Estero Pargo el comportamiento de la salinidad se ha visto estable al paso del tiempo, con salinidades superiores a las 40 ups, asociado en mayor medida a que la zona está dominada por una baja influencia marina, favoreciendo el aumento de la temperatura y permitiendo una mayor evaporación de agua y generando un incremento en la concentración de la salinidad, Ley-Lou (1979) registro valores de hasta 43 ups, y Segura y Wong-Chang (1980) con valores de salinidad superiores a 36 ups, similares a los registrados en el presente estudio.

Al revisar la gran cantidad de registros que se obtuvieron para la laguna sobre la salinidad del cuerpo de agua (Tabla. 6) se puede constatar que no ha cambiado a lo largo del tiempo y las variaciones que se estén presentando son relacionadas únicamente con el sitio de estudio y la estacionalidad.

El pH es considerado como un factor determinante en los sistemas naturales ya que regula procesos biológicos mediados por enzimas (ej. fotosíntesis, respiración), la disponibilidad de nutrientes esenciales que limitan el crecimiento microbiano, la movilidad de metales pesados tales como cobre, que es tóxico para muchos microorganismos, así

como también tendrá influencia en la estructura y función de muchos organismos por lo que variaciones en pH pueden tener entonces efectos marcados sobre cada uno de los niveles de organización de la materia viva, desde el nivel celular hasta el nivel de ecosistemas (Vázquez *et al.* 1999).

A pesar de la estacionalidad y la localidad se han presentado valores promedio de pH de 8.1 en las diferentes épocas climáticas (secas: Botello, 1978 y Segura y Wong-Chang, 1980) (lluvias: Vázquez *et al.* 1999) y en las últimas décadas se noto un incremento en los valores de pH entre 8.7 y 9.1 (Ayala-Pérez *et al.*, 2003; Ramos-Miranda *et al.*, 2005).

Para los años 2012 y 2013 los valores de pH volvieron a disminuir a un intervalo de entre 8.0 y 8.2, para todas las estaciones de muestreo, sin embargo, para la estación ubicada en Estero Pargo en el muestreo de mayo de 2013, el pH tuvo un descenso significativo con respecto al año anterior, pasando de 8.2 a valores menores de 6.3. Se realizó un muestreo nocturno en Estero Pargo en el que los valores de pH disminuyeron aún más, entre 4 y 4.72 disminución que puede estar asociada a un incremento en el proceso de respiración, sumado a las lluvias que se presentaron, que podrían estar provocando escurrimientos de los suelos adyacentes, los cuales pudieran estar acidificados principalmente por ácidos fuertes como el sulfúrico y el nítrico, emitidos desde los núcleos urbanos e industriales. Según la RSCOIL (1984) este tipo de escurrimientos se han asociado a cambios de hasta 1.5 unidades de pH y, en casos extremos, variaciones de 2-3 unidades de pH.

Otra explicación que se puede relacionar a este descenso, es el hecho de que el área de Estero Pargo está absorbiendo grandes cantidades de CO₂ como se puede observar en la Figura 12, en donde los flujos de CO₂ reflejan una captura de este gas proveniente de la atmosfera en este caso, el sistema se puede estar sobresaturando de CO₂, llevando a la acidificación del cuerpo de agua.

Por otro lado, la zona de Estero Pargo presenta un fuerte azolvamiento en la boca del estero, debido al acarreo de sedimentos que se han ido depositando a lo largo del tiempo por acción de las corrientes y de las subidas de marea. La deposición de toda esta materia comenzó a obstruir el flujo hidrológico entre el estero y la laguna, esto según un manifiesto de impacto ambiental desarrollado por la SEMARNAT (2007), y donde

mencionaron que esta situación genera la saturación de biomasa proveniente del manglar, que se ha calculado de entre 8 y 12 g/m²/día, cifras que exceden cualquier registro para México, el Caribe e inclusive regiones de Ecuador (Barreiro-Güemes, 1999), dicha saturación de materia orgánica incrementa la descomposición anaerobia, dando como resultado la humificación de la materia orgánica por microorganismos. El resultado final es una mezcla constituida por metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), este último, el posible responsable del descenso del pH sumado a que durante el proceso de la descomposición anaeróbica se forman como productos intermedios algunos ácidos orgánicos que contribuyen también a un descenso del pH.

Los valores de pH registrados en la Laguna de Términos reflejó una estabilidad de éste parámetro a lo largo del tiempo con variaciones que únicamente estarán asociadas a la dinámica del propio sistema generada por una heterogeneidad muy marcada por sus características internas como: la localización del sitio, el efecto de procesos como la actividad fotosintética y la respiración, las descargas de origen antropogénico, variación de la temperatura, evaporación, tipo de suelo, alcalinidad, funcionamiento del sistema carbonato-bicarbonato etc. (Miller, 1994). La variación de pH en la mayoría de los cuerpos de agua sanos oscila entre 6.0 y 9.0.

Es por ello que tratar de determinar los factores que estén provocando una disminución tan grande de pH de un año a otro en Estero Pargo, requeriría de un análisis más exhaustivo de la zona para determinar cuáles de esos factores están provocando dicho descenso y comprobar si está ocurriendo una acidificación dentro del sistema y con ello las consecuencias que pudiese acarrear a la vida de los organismos que se localizan dentro de este sitio, así mismo, considerar si estas variaciones fueron momentáneas durante el muestreo o realmente son daños ecosistémicos severos.

La distribución del oxígeno disuelto (OD) en cuerpos de agua naturales está determinada por el intercambio gaseoso a través de la superficie del agua, la producción fotosintética, el consumo respiratorio, la temperatura y por procesos físicos de advección (arrastre y transporte de agua) y difusión. Existen pocos registros de OD en la laguna, sin embargo, la información analizada indica que la laguna ha mantenido concentraciones entre 4 y 8 mg O₂/l.

En este estudio durante la campaña II en la zona de Isla Matamoros, se observaron valores de OD de 11.6 mg O₂/l, resultado de la presencia de pastos marinos (*Thalassia testudinum*), que al realizar el proceso fotosintético llevan al cuerpo de agua casi al punto de saturación, lo cual biológicamente es ideal para el desarrollo, reproducción y cría de un gran número de organismos, sumado al proceso de transferencia producido por el viento, ya que es una zona poco profunda y con buena exposición a los vientos.

Para la zona de Palizada los valores de OD fueron menores (5 a 6.5 mg O₂/l), valores que concuerdan con los datos de De la Lanza *et al.* (1999) para la zona (5.2 mg O₂/l), quien menciona que la baja concentración de OD es debido a una menor influencia de los vientos, circulación del agua más lenta y alta turbidez lo que genera que el proceso de fotosíntesis se vea limitado, sin embargo, los valores siguen siendo aceptables para soportar vida dentro del sistema.

En la zona de Atasta, Vázquez *et al.* (1999), registraron valores de entre 4.4 y 7.5 mg O₂/l, los cuales son similares a los registrados en la campaña II lo que puede indicar que en el área las concentraciones de OD se mantienen estables. Finalmente para el área de Estero Pargo, se aprecia una severa disminución en la oxigenación de la zona (<6 mg O₂/l), posiblemente por el problema de azolvamiento en la boca de Estero Pargo, el cual se discutió con anterioridad y en cuyo caso, el cierre parcial de la boca podría estar provocando una disminución del flujo de agua proveniente de la laguna y por tanto un menor aporte de agua con mayor oxigenación.

Por otro lado, el incremento de la hojarasca proveniente de manglar en el estero, aporta gran cantidad de taninos, lo cual genera una coloración café-rojiza que trae como consecuencia una disminución en la transparencia del agua que puede afectar el proceso fotosintético (SEMARNAT, 2007) y por tanto, un descenso en la cantidad de OD en el agua sumado a que el poco oxígeno presente en el ambiente está siendo utilizado por las bacterias para llevar a cabo el proceso de descomposición de materia orgánica, lo cual se ve reflejado en los valores registrados en la campaña II, en el que los valores de OD no superan los 4 mg/l llevando al estero a una condición de hipoxia y que conllevaría a serios problemas a este sistema en un futuro (Tabla 12)

Tabla 13. Intervalos de concentración de oxígeno disuelto y sus consecuencias ecosistémicas (Tomado de Goyenola, 2007)

Oxígeno Disuelto (mg/l)	Condición	Consecuencias
0	Anoxia	Muerte masiva de organismos aerobios
0-5	Hipoxia	Desaparición de organismos y especies sensibles (OD) adecuadas para la vida de la gran mayoría de especies acuáticas
5-8 y 8-12	Aceptable - Buena	
>12	Sobresaturada	Sistemas en plena producción fotosintética

Clorofila *a*

Los niveles de clorofila en un sistema acuático están ligados ampliamente a la estacionalidad de la región, esto lo afirmaron Whittaker y Likens (1975), Odum y Heald (1975), Mee (1978) y Nixon (1981), quienes dijeron que en los sistemas de manglar y estuarios la clorofila está vinculada a la influencia de mareas y las lluvias, siendo las primeras las que arrastraran la materia orgánica particulada (detrito) de los manglares hacia los cuerpos lagunares adyacentes, y las lluvias escurrimientos terrestres, así como el acarreo de nutrientes provenientes de ríos y con ello una elevación de la productividad primaria del sistema. Dicho esto, fue importante tomar en cuenta que para el segundo periodo de muestreo se presentaron una serie de precipitaciones que provocaron un aumento considerable de las concentraciones del pigmento con respecto al muestro anterior, sin embargo Jones (1968) y Penhale (1977), aclararon que aunque exista una buena entrada de nutrientes a los sistemas, la producción primaria dependerá mucho de las condiciones en que se encuentren las comunidades de pastos marinos, macro y micro-algas bénticas, algas epífitas y fitoplancton, ya que de ello dependerá si la productividad primaria de la zona es estable.

Para la laguna se obtuvo un máximo de 6.7 $\mu\text{g/l}$ (6.7 mg/m^3) y con respecto a lo registrado por De la Lanza (1999), se puede notar que las concentraciones que observaron (7.1 mg/m^3) son muy similares y concuerdan con la época climática ya que su periodo de muestreo fue alrededor del mes de abril, lo que refleja una estabilidad en cuanto al

pigmento y por tanto a su productividad a lo largo del tiempo. Así mismo estos autores registran para Laguna de Alvarado valores de 3.2 mg/m^3 para el mes de mayo.

En cuanto a otras lagunas costeras, se han descrito sitios con concentraciones de clorofila *a* más elevadas, como es el caso de la Laguna de La Joya-Buenavista, en Chiapas, donde Contreras-Espinosa y Zabalegui-Medina (1991) registraron concentraciones que van de 88 a 192 mg/m^3 , sin embargo, aclararon que esto puede deberse a un proceso de eutrofización.

Análisis de carbono

Borges y Abril (2011), indicaron que para lograr entender el comportamiento del flujo neto de CO_2 dentro de un sistema acuático es necesario tomar en cuenta una gran variedad de procesos como: ciclos biogeoquímicos (CaCO_3), intercambio de masas de agua con otros sistemas, heterogeneidad u homogeneidad, tiempo de residencia de la masa de agua, las dimensiones del sistema, producción de carbono inorgánico, orgánico y su degradación a través de la columna de agua. En el caso del CH_4 los procesos más importantes que se requieren para comprender como se desarrollan los flujos de este gas hacia la atmosfera, desde su producción, será resultado de un balance neto entre los procesos microbiales de producción y oxidación. Estos procesos dependen en gran medida del suministro de materia orgánica y su sedimentación, la disponibilidad de oxígeno u otros aceptores de electrones, la hidrodinámica del sistema y la presión hidrostática al igual que el CO_2 , los procesos que influyen en la emisión de CH_4 , dependen de las características internas de cada sistema.

De acuerdo con lo anterior, los parámetros que se consideraron para el desarrollo de este estudio están ampliamente relacionados entre sí por lo que se realizó un análisis integrativo que permitió reflejar el comportamiento de cada localidad.

La estación ubicada en la Isla Matamoros se comportó de manera general como un sistema capturador de CO_2 (Figura 12), Cruz *et al.* (1989) y Abril y Borges (2004) indicaron que los sistemas capturadores de este gas se ven relacionados con sedimentos ricos en carbonatos, baja profundidad, poca turbidez en el agua y principalmente a la fotosíntesis debido a la presencia de vegetación subacuática (pastos marinos). Características que concuerdan con las observadas en este sitio.

Es posible observar que para la tarde en el segundo periodo de muestreo, los flujos de CO₂ de la atmosfera al cuerpo de agua presentaron una menor captura (Figura 12-B) y cuyo comportamiento podría estar asociado con las variaciones de la temperatura. Yvon-Durocher *et al.* (2012), afirmaron que cuanto más elevada sea la temperatura, la tasa de respiración y producción de CO₂ de los organismos se ve incrementada, lo que provocara una saturación de este gas en el sedimento y agua, ocasionando una mayor emisión de CO₂ a la atmosfera. En Isla Matamoros si bien no se nota una emisión, se notó un equilibrio entre procesos de fotosíntesis y respiración.

En cuanto a CH₄ se refiere, en Isla Matamoros se observaron las concentraciones más bajas de este gas tanto en columna de agua como en la interfase agua-atmósfera y por consiguiente, la emisión de CH₄ hacia la atmósfera fue reducida (Figura13). Estos valores tan bajos se deben a las condiciones fisicoquímicas que se presentan en el área ya que de acuerdo con Phleger y Ayala-Castañares (1971) es una zona poco profunda con buen movimiento de la masa de agua que genera una buena oxigenación del sistema evitando una alta tasa de sedimentación de la materia orgánica y según Chanton y Dacey (1991) la sedimentación de materia orgánica y la presencia de un ambiente de anoxia son fundamentales para que se dé una degradación anaeróbica de esta materia y con ello altas concentraciones de CH₄.

Por otro lado, Ramos-Miranda (2006) registro la presencia de sulfatos (101.26 mg/L) los cuales según Magenheimer (1996) y Blair y Aller (1995) demostraron en presencia de estos sulfatos se observo una reducción en las emisiones de CH₄, a la atmosfera. En dichos sulfatos se lleva a cabo un proceso de oxidación anaeróbica del CH₄ realizado principalmente por varios grupos de arqueas, Liikanen *et al.* (2002b) afirmaron que dicha oxidación consumiría cerca del 90% del CH₄ que se produjo en los sedimentos, y así se evite que todo el CH₄ producido salga de los sedimentos a la columna de agua y de ahí a la atmosfera.

Para las localidades de Palizada y Atasta, en ambos periodos de muestreo, los cuerpos de agua actúan como emisores tanto de CO₂ como de CH₄ durante el día (Figura 12 y 13), siendo las estaciones que mayor concentración presentaron en la interfase agua-atmosfera, registrando valores de hasta 703 ppm de CO₂ para Palizada y 589 ppm para

Atasta (Tabla 7). Así mismo en ambas estaciones los valores de carbono inorgánico y la cantidad de CO₂ disuelto en agua fueron la más alta que se registro para los periodos de muestreo. Dicho comportamiento puede involucrar varios razonamientos.

De acuerdo con Abril *et al.* (2000) y Cole *et al.* (1994), los ecosistemas de agua dulce acarrean grandes cantidades de CO₂ y materia orgánica y en mayor proporción materia inorgánica que llegan a las desembocaduras. Ya que el sistema Palizada nace a partir de uno de los brazos del Rio Usumacinta, es afectado por la constante descarga de aguas residuales de un gran número de asentamientos urbanos, industrias, y actividades ganaderas y agrícolas lo largo del recorrido de su cauce lo que involucra una entrada de materia inorgánica generando que la mayoría de estos desechos y sedimentos se depositen en esta zona ocurriendo lo mismo en la zona Atasta aunque en menor medida ya que el cauce de este sistema es más corto y con menor influencia antrópica.

Lara-Domínguez (2005) afirmó que el acarreo de materia orgánica, pero sobre todo de materia inorgánica propicia un ambiente que favorece procesos de descomposición y por tanto elevadas emisiones de gases de efecto invernadero, en particular de CO₂ como se observó en el presente estudio (Figura 12).

De acuerdo con lo anterior se puede aseverar que las descargas de agua dulce modifican la dinámica de los sitios donde desembocan. Cole *et al.* (1994) mencionaron que una presencia prolongada de agua dulce proveniente de los sistemas rivereños aporta altas concentraciones de CO₂ y carbono inorgánico. Dicho lo anterior la Laguna de Términos, al ser un sistema semi-cerrado, la entrada de agua dulce contribuye en gran medida a las emisiones de este gas hacia la atmósfera y la presencia de grandes cantidades de carbono inorgánico que se asocian directamente a iones carbonato y bicarbonato, en cuyo caso para la Laguna de Términos se registran valores de hasta 32 mg/L, los cuales se consideran equiparables con respecto a otras lagunas costeras como lo son Tres Palos y Chautengo ambas en Guerrero, cuyos niveles alcanzaron 27.7 mg/L y 31.57 mg/L respectivamente según registraron Mendoza-Mojica *et al.* (2013).

Por otro lado, Toledo (2003) afirmó que el sistema de Palizada alberga el 64% de la biodiversidad nacional de peces conocida, utilizándola como zona de desove y hábitat.

Dicha abundancia repercutiría en el nivel de heterotrofia en el sistema contribuyendo al aumento de las concentraciones de CO₂ tanto emitidas (Fig. 12) como disueltas en agua (Figura 7) hecho que es corroborado con lo descrito por Borges y Abril (2011) quienes mencionaron que algunos aportes de CO₂ provienen de la heterotrofia neta debido a la presencia de una gran cantidad de organismos en los sistemas estuarinos. En este sentido la Laguna de Términos se caracteriza por la presencia de una gran abundancia de moluscos, crustáceos, peces, vegetación acuática y sub-acuática (Raz-Guzmán y Sánchez, 2001).

Palizada ocupa el segundo sitio con mayor emisión de CH₄ después de Estero Pargo (Figura 13) y según Ocaña y Lot (1996) es producto de la alta densidad de vegetación cuya abundancia es mayor en las orillas del cuerpo de agua, facilitando la entrada de grandes cantidades de materia orgánica que va a depositarse en el fondo, y que estará disponible para procesos de descomposición que conlleva a una producción de CH₄. Por otra parte llegadas las horas de la tarde las emisiones presentaran un descenso tanto en Palizada como en Atasta, que como ya se discutió antes, es en consecuencia de la oxidación del CH₄ por parte de algunos grupos de archaeas metanotróficas que oxidan el metano hasta CO₂, y por bacterias sulfato-reductoras que ocupan el metano como fuente de carbono y energía. Este proceso es poco conocido en cuanto a su bioquímica y ecología pero será de gran relevancia al momento de estimar flujos de carbono.

El Estero Pargo es considerado como un subsistema de la Laguna de Términos caracterizado por ser un canal parcialmente cerrado que no posee influencia ribereña directa siendo sus mayores aportes de agua la entrada de marea y los escurrimientos provenientes de la zona terrestre. SEMARNAT (2007) reportó que en los últimos años se ha acrecentado una acumulación de sedimento en la boca del estero, lo que podría estar contribuyendo a una obstrucción mayor en la comunicación que tiene con la laguna. Dicho bloqueo que se cree que podría estar modificando las condiciones fisicoquímicas del sistema, aseveración que coincide con los resultados de este trabajo donde se observó un descenso en las concentraciones de OD, pH y elevadas concentraciones de salinidad (Tabla 6).

Las concentraciones de CO₂ disuelto en Estero Pargo resultaron ser muy bajas a diferencia de los otros puntos de muestreo, las cuales pueden ser explicadas por varios factores, primeramente, como ya se ha mencionado, al no tener una entrada de agua dulce

de forma directa por sistemas ribereños, Borges y Abril (2011) mencionaron que las únicas vías por las que se pueden ver modificadas las concentraciones de CO₂ en este tipo de esteros, es por el escurrimiento proveniente de las zonas terrestres y por la degradación de materia orgánica (detritos), sin embargo, los autores mencionaron que el CO₂ proveniente de esta degradación no será emitido de inmediato para el intercambio con la atmósfera.

García-Luque *et al.* (2005) desarrollaron una serie de experimentos, demostrando que hay una relación inversamente proporcional entre la salinidad y la concentración de CO₂, es decir, a elevadas salinidades existirá una disminución en la concentración de CO₂ disuelto, esto explica lo observado en Estero Pargo ya que a salinidades de 43 ppm se encontraron concentraciones bajas de CO₂ que van de 0.8 a 1.3 mg/L podrías mencionar la Ley de Solubilidad de los Gases (Figura 7). Por otro lado, un factor que contribuye a la disminución del CO₂ acuoso y a los altos flujos de captura en estas áreas, es la fotosíntesis, mediada por pastos marinos y las hojas expuestas de manglar, proceso que sería realizado por la elevada abundancia de vegetación de la zona, misma que fue descrita por Zarur (1961), afirmando que existen grandes poblaciones de pastos marinos y manglar en la zona de la boca del Estero Pargo.

Las concentraciones de CH₄ encontradas en Estero Pargo fueron de 14 µg/L, aproximadamente siete veces más que en las demás localidades muestreadas debido a que el estero presenta poca influencia de sistemas rivereños y se produce una acumulación de materia orgánica proveniente principalmente de los bosques de manglar que circundan sus orillas (*Rhizophora mangle* y *Avicennia germinans*), la cual es arrastrada al cuerpo de agua por acción de las mareas, lo que causa una saturación de biomasa proveniente del manglar y se registró que esta acumulación es de 8 a 12 g/m²/día, cifras que exceden cualquier registro para México, el Caribe e inclusive regiones de Ecuador según describieron Yáñez-Arancibia *et al.* (1983), Barreiro-Güemes (1999) y Middelburg *et al.* (2002). Sin embargo, para el segundo periodo de muestreo las concentraciones de CH₄ disminuyeron a <2 µg/L, atribuible a la presencia temprana de lluvias. Félez Santafé (2009) mencionó que el aporte de agua proveniente de las lluvias contribuye a la dilución de las concentraciones de este gas en la columna de agua, o bien, el impacto de las gotas de lluvia provoca una liberación de los gases disueltos con la consiguiente aparición de burbujas.

En cuanto al flujo de CH₄, Estero Pargo presento las mayores emisiones llegando a 1 µg CH₄/m²/hr (24 µg CH₄/m²/día) para la campaña I y a 0.8 µg CH₄/m²/hr (19.2 µg CH₄/m²/día) en la campaña II. Se han registrado datos similares en estudios realizados en otras zonas de manglar, Bartlett *et al.* (1985b) encontró valores de 13 a 30 µg CH₄/m²/día en los Everglades, Allen *et al.* (2007) de 3 a 17.4µg CH₄/m²/día en los manglares del Rio Brisbane y Betancourt *et al.*, (2013) registraron para Colombia valores superiores a 700 mg CH₄ /m²/día. Gerard y Chanton (1993), Chanton *et al.* (1993) y Biswas *et al.* (2007), afirmaron que en sistemas estuarinos con vegetación macrófita y de manglar abundante, las emisiones de CH₄ provenientes del sedimento podrían llegar a ser bajas, debido a que esta vegetación favorece la conducción del gas hacia la atmosfera por medio del tejido vegetal y de las raíces expuestas de los mangles sin pasar por la interfase sedimento-atmosfera.

Adicionalmente en el segundo periodo (2013) en Estero Pargo se realizó un muestreo nocturno y con la información obtenida se observó que el sistema se vuelve una fuente emisora de CO₂ (Fig. 12-B). Ribas-Carbo (2008) reportó que el proceso de respiración podría estar fuertemente relacionado con estas emisiones, ya que es mediante estas reacciones celulares que los carbohidratos son oxidados a CO₂ y H₂O, siendo liberados al ambiente y con ello elevando las concentraciones de CO₂ en el sistema.

Suelo en Manglar

Los resultados obtenidos de CO₂ ambiente en la zona de manglar a través del PP System se pueden asociar principalmente a procesos fotosintéticos y de respiración. Lissarrague *et al.* (2000) describieron la participación de la fotosíntesis como un proceso mediante el cual se producen carbohidratos que representan la base de la productividad y a partir de ellos se ocurre la acumulación, construcción y mantenimiento de las distintas partes de la planta, siendo el sustrato fundamental el CO₂ y la luz como fuente de energía. La captura de CO₂ por parte de los organismos fotosintéticos produce una disminución de la concentración del CO₂ ambiente, hecho que fue observado en este trabajo (Figura 14).

La participación de la respiración en el aumento de emisión de CO₂ en el sistema, según Parkin *et al.* (1996), se debe a la producción de CO₂ como resultado de la actividad biológica en el suelo, realizada por microorganismos, raíces vivas, y macroorganismos tales

como nematodos, insectos, etc. La respiración se acentuó en Estero Pargo a partir de las 6:00 pm, momento en que las concentraciones de CO₂ ambiente nuevamente se incrementan de forma paulatina a partir de esa hora y hasta las 5:00 am, llegando aproximadamente hasta los 300 ppm.

Los flujos de CO₂ que se observaron del sedimento a la atmosfera, indicaron una emisión mucho mayor a la registrada por otros autores en otros humedales del planeta, emisión que está alrededor de los 1200 mg CO₂/m²/h (>25,000 mg CO₂/m²/día), en comparación con lo estimado por Koné y Borges (2008) de 6810.96 mg CO₂/m²/día y por Ovalle *et al.* (1990) y Borges *et al.* (2003) con valores de 4990.68 mg CO₂/m²/día. Estos flujos observados se deben al proceso de respiración que se lleva a cabo en el suelo del manglar.

Por otro lado en los flujos de CH₄ existe un descenso en las emisiones con el transcurso del día. Collins y Kuehl (2000) lo atribuyeron a los suelos de humedales anegados, cuyos promedios de descomposición de material orgánico suelen ser bajos por las condiciones anaerobias. Torres-Alvarado *et al.* (2005), afirmaron que un suelo con esas condiciones es apto para que se esté realizando una oxidación anaeróbica por varios grupos de Archaea, que se encuentran en la zona de transición de reducción de sulfato y metanogénesis junto con la presencia de vegetación que disminuirá la cantidad de CH₄ que se produce y se emite, que como ya se menciono con anterioridad esta vegetación funciona como principal conducto para la emisión del CH₄ a la atmosfera. Vann y Megonical (2003), afirmaron que los árboles de humedales van a emplear el carbono para la producción de leña y por ende un alto contenido de lignina en las raíces de los árboles ocasionando que su descomposición sea muy lenta, y por tanto se limite el aporte de acetato para la metanogénesis.

Con respecto a otros estudios sobre emisiones de CH₄ los sistemas generalmente tienden a ser emisores de CH₄, Alford *et al.* (1997) registró valores que van desde 146 ± 199 mg CH₄/ m²/ día en humedales del Mississippi, hasta los 757.44 g CH₄/m²/día registrados por Betancourt *et al.*, (2013) para Ciénega Grande, Colombia no obstante también llegan existir sistemas en los que no se observe una emisión, como es el caso de Baird *et al.* (2010) que registro una retención de 9.3 mg CH₄/m²/día, tal y como sucedió en

este trabajo en el que se registró una retención de hasta 1 mg CH₄/m²/hr (~24 mg CH₄/m²/día). Ribeiro *et al.* (2004) dejó claro que es importante entender que aunque las fuentes principales de CH₄ son de origen biológico (principalmente por la descomposición de materia orgánica), su emisión dependerá en gran medida de los factores ambientales, comunidad microbiana, concentración de nutrientes en el sedimento, temperatura, concentración de O₂, pH, profundidad y tipo de sedimento.

Carbono en Aire

El carbono en aire registrado durante los muestreos es en su mayoría carbono orgánico. Lee *et al.* (2007) afirmó que el carbono orgánico proviene de combustibles fósiles no quemados, la vegetación, los residuos de aceites y petróleo, mientras que Baird (2001) describió al carbono elemental u hollín como producto de la combustión incompleta de combustibles fósiles, en especial de diesel y biomasa. Con base en esto se podría afirmar que el carbono orgánico registrado durante este estudio está asociado principalmente a la vegetación presente en el sitio de muestreo y las bajas concentraciones de carbono elemental, en principio pueden atribuirse a la lejanía con la zona urbana, por lo que su presencia, puede estar relacionada con el arrastre de partículas por parte de los vientos que pudieron transportar estas partículas hacia las zonas de muestreo. Cortez-Lugo *et al.* (2004) afirmaron que la concentración de estas partículas empieza a decrecer a partir de los 100 m de distancia de las vías de alto tráfico y los regímenes de vientos jugaran un papel importante en la distribución de estas partículas.

Las concentraciones reportadas en este trabajo de especies de carbono son muy bajas en comparación con otras ciudades, ya que no se superan los 15 µg/m³ de CO y 7.7 µg/m³ de CE (2012) y valores de CO de 7.3 µg/ m³ y 2.1 µg /m³ de CE (2013), las concentraciones registradas se vieron disminuidas debido a que hubo presencia de lluvia, lo que ocasiono que estas partículas fueran depositadas en el suelo.

La mayoría de los estudios existentes sobre partículas finas están relacionados a carbono elemental, el cual está asociado a problemas de salud puesto que llegan a ocasionar graves problemas respiratorios. Tatreau *et al.* (2008) reportó para la ciudad de Tijuana valores de 23.5 µg/m³, Cortez-Lugo *et al.* (2004) 29.6 µg/m³ en Ciudad Juárez, Chihuahua

y Kavouras *et al* (2001) reportaron $115 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la ciudad de México, todos ellos superan los niveles de CE registrados en las zonas de muestreo y están dentro de los límites permisibles establecidos por la NOM-025-SSA1-1993.

En base a los flujos de CO_2 registrados en este trabajo, en el que el flujo total de los cuatro sitios fue de $116 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{h}$ y de $-250 \text{ mg}/\text{m}^2/\text{h}$ para la campaña I y campaña II, respectivamente, es posible observar que para la primera campaña la laguna se comportó como un emisor, y para la segunda campaña como un capturador de CO_2 . La captura de CO_2 que ocurrió durante la campaña II se asoció a las precipitaciones que se presentaron durante el periodo de muestreo. Según Contreras-Espinoza (1994) las lluvias acarrearán una entrada de nutrientes a la zona mediante escurrimientos continentales que son arrastrados hacia los cuerpos lagunares adyacentes, provocando un incremento de la productividad primaria del sistema y una elevación en la tasa fotosintética, lo que significa un mayor consumo de CO_2 por parte de los organismos fotosintéticos.

El CH_4 en ambos muestreos la laguna se comportó como un emisor mientras que para la campaña II las emisiones fueron mayores, consecuencia igualmente de las lluvias que generaron arrastres de materia orgánica, que según Abril y Borges (2011) afirmaron que la entrada de materia orgánica que se deposita en los sedimentos de un sistema estuarino estará disponible para la descomposición y por tanto producción de CH_4 .

Análisis Estadístico

Para el análisis estadístico, como se pudo notar en la Tabla 10, se aprecia que en varios de los parámetros hubo diferencias significativas en los valores aun con el hecho de que los muestreos se realizaron durante la misma época climática y dichas variaciones podrían ser explicadas por una serie de precipitaciones de entre moderadas a fuertes que se presentaron durante el muestreo de 2013 las cuales pudieron modificar el comportamiento del sistema, provocando variaciones en los valores obtenidos, ya que en general hubo una disminución de las concentraciones de los diferentes parámetros observados como lo afirmó Abril y Borges (2011) quienes mencionaron que las zonas costeras son sistemas cambiantes y heterogéneos debido a las propiedades que poseen y a que pueden ser fácilmente afectados

por las condiciones ambientales que predominan en la región, y dicha variación estaría asociada a un gran número de variables, comenzando por la ambiental.

Repercusión ecológica de las zonas costeras ante el cambio climático.

El efecto del cambio climático y el incremento de gases de efecto invernadero (CO_2 y CH_4) y su ingreso a sistemas costeros aun es incierto ya que a diferencia de la composición homogénea del agua de mar, los constituyentes iónicos de las aguas costeras pueden variar en sus propiedades fisicoquímicas ya sea por procesos naturales o generados directa o indirectamente por el hombre.

El ingreso de grandes concentraciones de CO_2 a un sistema tan heterogéneo y tan cambiante puede llevar a una acidificación y hoy día a nivel mundial se sabe poco sobre el impacto que la acidificación tendrá en las zonas costeras, como es el caso de las lagunas estuarinas sitios que ya presentan zonas en rangos considerados ácidos ($\text{pH} < 7$) (IPCC, 2007) y donde los organismos tendrán que llevar a cabo procesos de regulación interna con respecto a su medio, problemas que los organismos deben afrontar en todo momento y más aun en este tipo de sistemas presentan una mayor adversidad debido a los amplios rangos de variación que presentan los factores fisicoquímicos (Bliss y Mantel, 1983).

Sin embargo, estos cambios notablemente tendrán un efecto sobre los organismos que habitan en esas zonas y que entran a las lagunas estuarinas en una parte importante de su ciclo de vida para alimentarse refugiarse y crecer, para posteriormente reclutarse a la población adulta, hábitos que podrían en un futuro verse alterados debido a estos cambios químicos que se presentarán en estos ambientes marinos y costeros.

Pruebas experimentales han sido realizadas por diferentes autores para tratar de identificar los problemas a los que se pueden enfrentar los organismos al descenso del pH por acción del CO_2 . *Cauich* (2012) afirmó que la acidificación puede comprometer en cierta manera la capacidad de los organismos para poder alimentarse, en este caso, observo en experimentos con crustáceos (peneidos) una afectación directa en la disminución de la actividad de los organismos como es el desplazamiento lo que afectó la tasa a la cual los organismos se están alimentando obteniendo tallas y pesos diferentes a sus controles.

Estudios realizados en la especie de bivalvo *Mitylus edullis* (Bibby *et al.*, 2008), los erizos *Echinometra mathaei* y *Hemicentrotus pulcherrimus* (Gazeu *et al.*, 2007; Yu *et al.*, 2011) mostraron que en condiciones experimentales disminuyendo los valores de pH de 0.3 hasta 0.5 respecto al valor promedio encontrado en agua de mar (8 ± 1), estos presentan un pobre crecimiento en caso de los erizos y una pérdida en la masa muscular en caso de *M. edullis* (Bibby *et al.*, 2008).

Es necesario hacer más evaluaciones acerca de los cambios ambientales que podrían ocurrir con el aumento de CO₂ atmosférico en los ambientes estuarinos, ya que los trabajos acerca del cambio por acidificación son casi inexistentes; ambientes como son las lagunas costeras, de aumentar las emisiones, se verán fuertemente afectadas debido a los cambios fisicoquímicos que aunados a otros presiones como son la contaminación, el desarrollo urbano y sobre explotación de estas áreas, ocasionaran un mayor efecto adverso sobre una gran diversidad de especies asociadas a estos ambientes.

CONCLUSIONES

- La recopilación bibliográfica realizada sobre la Laguna de Términos permitió observar que los parámetros fisicoquímicos han mantenido una buena estabilidad con el paso del tiempo. En cuanto a los procesos que regulan los flujos observados en la Laguna de Términos son similares a los registrados en otros sistemas costeros tropicales y variaron de acuerdo a la estacionalidad y a las características propias de cada localidad.
- De los cuatro sitios de muestreo asociados al ambiente acuático, las mayores concentraciones de CO₂ tanto en la interfase agua-atmósfera como en columna de agua se registraron en las estaciones ubicadas en Palizada y Atasta durante los dos periodos de muestreo asociado directamente con la descarga de agua ribereña la cual es rica en materia inorgánica.
- Las mayores concentraciones de CH₄ se presentaron en la interfase agua-atmósfera y en columna de agua. En las estaciones ubicadas en Isla Matamoros y Estero Pargo las altas concentraciones están relacionadas con el depósito de materia orgánica proveniente de pastos marinos y hojas del mangle en estos sitios.
- Las mayores concentraciones de CI (36.2 - 39.9 mg/l) se registraron en la estación ubicada en Palizada mientras que los valores más altos de COT (4.8 - 9.8 mg/l) se observaron en Estero Pargo.
- En la campaña I las estaciones E1 y E4 registraron una captura de CO₂ del ambiente, la E2 presento una emisión de este gas y la E3 presento un equilibrio entre captura y emisión. El flujo total de los cuatro sitios de muestreo fue de 116 mg/m²/h.
- En la campaña II las estaciones E1 y E4 se comportaron como sumideros de CO₂ y las estaciones E2 y E3 como fuentes. El flujo total de los cuatro sitios de muestreo fue de -250 mg/m²/h.
- En la zona de manglar (E5) los valores de flujo de CO₂ en la interfase sedimento-aire indicaron que la zona se comporta como un sistema emisor.

- En lo que respecta al CH₄, el área de estudio se comportó como un sistema emisor de este gas hacia la atmósfera.
- La temperatura resulto ser un parámetro muy importante para los diferentes procesos que se desarrollaron en la zona de estudio relacionándola directamente con la solubilidad de los gases en agua, la salinidad (evaporación) y la actividad metabólica de los organismos que son responsables del aumento o disminución de estos gases.
- Con base en lo propuesto en la hipótesis y con lo observado durante el desarrollo de este trabajo, es posible argumentar que las variaciones de los parámetros estudiados estén regidos en su mayoría por procesos naturales de la laguna ya que al ser una ANP y un sitio RAMSAR, se observó que el impacto de las actividades antrópicas fueron las mínimas manteniendo un ecosistema saludable.

RECOMENDACIONES

- El muestreo nocturno en la zona de Estero Pargo dejo clara la necesidad de realizar muestreos de 24 horas que reflejen si las variaciones en los flujos de CO₂ y CH₄ observadas en dicho horario son constantes y con ello obtener mayor certeza de cómo se comporta el sistema a lo largo del día.
- Realizar muestreos anuales en la Laguna de Términos que permitan observar las variaciones de los distintos parámetros en las tres épocas climáticas que dominan la región y con ello tener mayor información de cómo la laguna puede contribuir a la emisión y/o captura de gases efecto invernadero y su papel en el marco del cambio climático.
- Si bien para este estudio se escogieron sitios cuyas características engloban a los ecosistemas más representativos de la laguna será necesario para estudios posteriores el elegir puntos seleccionados en toda la laguna debido a que lo que sucede en una sola sección de la laguna no representa la totalidad del sistema puesto que es un sistema de dimensiones muy grandes sumado a la dinámica del agua.

LITERATURA CITADA

Abril, G., Borges, A.V. 2004. Carbon dioxide and methane emissions from estuaries. pp. 187–207. In: Tremblay, A., Varfalvy, L., Roehm, C., Garneau, M. (Eds.), *Greenhouse Gases Emissions from Natural Environments and Hydroelectric Reservoirs: Fluxes and Processes*. Springer, Berlin,

Abril, G., Etcheber, H., Borges, A.V., Frankignoulle, M. 2000. Excess atmospheric carbon dioxide transported by rivers into the Scheldt estuary. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences Série II Fascicule A – Sciences de la Terre et des Planètes* 330 (11), 761–768.

Agraz, H.C.M., Osti, S. J., Chan, K.C.A., Gómez, R.D., Castillo, D.S., Expósito, D.G., Márquez, É., Acosta, J., Reyes, C. J. y Conde, M.K.P. 2012. Diagnóstico para la Conservación y Restauración de esta Área de Protección de Flora y Fauna.

Allen, D.E., Dalal, R.C., Rennenberg, H., Meyer, R.L., Reeves, S., Schmidt, S. 2007. Spatial and temporal variation of nitrous oxide and methane flux between subtropical mangrove sediments and the atmosphere. *Soil Biology and Biochemistry*. 39: 622–631.

Amador Del A., L. E. y Cabrera, R.P. 1995. Incidencia de larvas de ostión *C. virginica* y sus principales competidores en la boca de Atasta, Laguna de Términos, Campeche (Junio-Noviembre de 1993). *Res. XIII Congr. Nal. de Zool.* 5.

Amezcu, L.F. y Yáñez-Arancibia, A. 1980. Ecología de los sistemas fluvio-lagunares asociados a laguna de Términos. I. El hábitat y estructura de las comunidades de peces. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México.* 7, (1): 69-118.

APHA, AWWA, WPCF. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. *Ed. Díaz de Santos, S.A.* Madrid.

- Ayala-Castañares, A.** 1963. Sistemática y distribución de los foraminíferos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Boletín del Instituto Geológico*. 67, (3): 1-130
- Ayala-Pérez, L.A., Ramos Miranda, J., Flores Hernández, D.** 2003. La comunidad de peces de la Laguna de Términos: estructura actual comparada. *Revista de Biología Tropical*, Vol. 51, (3-4): 783-794.
- Ayala-Pérez, L.A., Ramos-Miranda, J., Flores-Hernández, D., Vega-Rodríguez, B.I., Moreno-Medina, U.C.** 2008. Biological and ecological characterization of the catfish *Cathorops melanopus* off the west coast of Campeche, México. Universidad Autónoma de Baja California México. *Ciencias Marinas*. 4: 453-465,
- Ayala-Pérez, L.A., Terán-González, G.J., Flores-Hernández, D., Ramos-Miranda, J. y Sosa-López, A.** 2012. Variabilidad espacial y temporal de la abundancia y diversidad de la comunidad de peces en la costa de Campeche, México. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 40, (1): 63-78.
- Baird, C.** 2001. *Química Ambiental*. Ed. Reverte. Barcelona, España.
- Bange, H.W., Rapsomanikis, S. y Andreae, M.O.** 1996. Nitrous oxide in coastal waters. *Global Biogeochem Cycles*. 10: 197-207.
- Barba, M. E.** 2012. Faunistic analysis of the caridean shrimps inhabiting seagrasses along the NW coast of Mexico and Caribbean Sea. *Revista de Biología Tropical*. 60, (3): 1161-1175.
- Barba M.E. y Gallegos, M.M.** 1998. Macrobenthic biomass of infauna and epifauna in *Thalassia testudinum* meadows in the SW Gulf of Mexico. *Benthic Ecology Meeting*. 12-15.
- Barba, M.E., Sánchez, M.A. J., Raz-Guzman, A. y Gallegos, M.M.E.** 2000. Dieta natural y tasa de forrajero del camarón carideo *Hippolyte zostericola* Smith sobre epífitas de *Thalassia testudinum* Banks et Solander ex König. *Hidrobiológica* 10 (2): 139-146.

Barón, M.M. 2011. Tesis: *La función del plancton y los tapetes microbianos en el parque nacional las Tablas de Daimiel*. Departamento de Microbiología. Universidad de Valencia.

Barreiro-Güemes, M.T. y Aguirre-León, A. 1995. Estructura y producción primaria de la comunidad de pastos marinos en el sistema fluvio-lagunar Pom-Atasta, Campeche, México. Memoria VI Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar, Mar del Plata, Argentina, p.26.

Barreiro-Güemes, M.T. y Aguirre-León, A. 1999. Distribución espacio-temporal de la biomasa fitoplanctónica en el sistema lagunar Pom-Atasta, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*. 47:27-35.

Bartlett, K.B., Harris, R.C. y Sebacher, D.I. 1985b. Methane flux from coastal marshes. *Journal of Geophysical Research*. 90: 5710-5720.

Batool, S.A. y Chuadhry, M.N. 2008. Municipal solid waste management in Lahore city district, Pakistan. *Waste Manage*. 29: 1971

Betancourt-Portella, J.M., Parra-Lozano, J.P. y Villamil, C. 2013. Emisión de metano y óxido nitroso de los sedimentos de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta Caribe Colombiano. pp.131-152. En: Colombia, *Boletín De Investigaciones Marinas Y Costeras*. Consejo Editorial Invemar.

Bibby, R., Widdicombe, S., Parry, H., Spicer, J. y Pipe, R. 2008. Effects of the oceans acidification on the immune response of the blue mussel *Mytilus edulis*. *Aquatic Biology*. 2: 67-74.

Biggs, DC. 1992. Nutrients, plankton, and productivity in a warm core ring in the western Gulf of Mexico. *Journal of Geophysical Research*. American Geophysical Union. 97(2):143-154 pp.

Biswas, H., Mukhopadhyay, S.K., Sen, S., Jana, T.K. 2007. Spatial and temporal patterns of methane dynamics in the tropical mangrove dominated estuary, NE coast of Bay of Bengal, India. *Journal of Marine Systems*. 68: 55-64.

Blair, N.E., Aller, R.C. 1995. Anaerobic methane oxidation on the Amazon shelf. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 59: 3707–3715.

Bliss E. D. y Mantel H. L. 1983. The biology of Crustacea. Internal anatomy and physiological regulation. Vol. V *Academic Press*. New York. 470 p.

Bodelier, P.L.E. y Laanbroek, H.J. 2004. Nitrogen as a regulatory factor of methane oxidation in soils and sediments. *FEMS Microbiology Ecology*. 47: 65-277.

Borges, A.V., Delille, B. y Frankignoulle, M. 2005. Budgeting sinks and sources of CO₂ in the coastal ocean: Diversity of ecosystems counts. *Geophysical Research Letters*. 32:L14601.

Borges, A.V. y Abril, G. 2011. Carbon Dioxide and Methane Dynamics in Estuaries. Pp. 119-161. In: Eric Wolanski and Donald McLusky (Eds.). *Treatise on Estuarine and Coastal Science* (5), Academic Press, Waltham.

Botello, A.V. 1978. Variación de los parámetros hidrológicos en las épocas de sequía y lluvias (mayo a noviembre de 1974) en la Laguna de Términos, Campeche. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 5, (1): 159-178.

Botello, A.V. y Mandelli, E.F. 1975. A study of variables related to the water quality of Terminos Lagoon and adjacent coastal areas, Campeche, México. *Project GU, CCML, UNAM*. 92: 853.

Botello, A.V., Ponce, G., Toledo, A., Díaz, G. y Villanueva, S. 1992. Ecología recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. *Ciencia y Desarrollo*. 17, (102): 28-48.

Broecker, W. S. 1982, Ocean Chemistry during glacial time, *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 46: 1689.

Cai, W.J., Dai, M.H., y Wang, Y.C. 2006. Air-sea exchange of carbon dioxide in ocean margins: A province-based synthesis, *Geophysical Research Letters*. 33, (12): 33.

Carvajal, R. 1973. Condiciones ambientales y productividad en la laguna de Términos, Campeche, México. *Laguna*. 31: 35-38.

Carvalho, F.P., Villeneuve, J.P., Cattini, C., Rendón-von Osten, J. y Mota de Oliveira, J. 2009. Pesticide and PCB residues in the aquatic ecosystems of Laguna de Términos, a protected area of the coast of Campeche, Mexico. *Chemosphere*. 74: 988-995.

Castillo, A.M., Gallardo, P.P., Pérez, Y. Z., Sánchez, A. J. y Mascaro, M. 2000. Variations in the composition, abundance and stomach content of a macro-crustacean community of a tropical coastal lagoon: preliminary results. *The Crustacean Society 2000 Summer Meeting*. Puerto Vallarta, México.

Cauch, G.M de los A. 2012. Determinación del efecto de la acidificación acuática en camarones peneidos asociada al cambio climático en lagunas costeras mediante la alteración en la captación de calcio. Tesis de Maestría. *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México*. 82 p.

Centro de Análisis de Información sobre el Anhídrido Carbónico (CDIAC). 2000. Laboratorio Nacional de Oak Ridge, EE.UU.

Chanton, J.P. y Dacey, J.W.H. 1991. Effect of vegetation on methane flux, reservoirs and carbon isotopic composition. pp. 65-92. In: Sharkey, T., Holland, E., Mooney, H. (Eds.), *Trace Gas Emissions from Plants*. Academic Press, San Diego, CA.

Chanton, J.P., Whiting, G., Happell, J. y Gerard, G. 1993. Contrasting rates and diurnal patterns of methane emission from different types of vegetation. *Aquatic Botany*, 46, 111-128.

Chávez, M. E. y García, C.A. 1978. Reproducción y ciclo larvario de la almeja comercial *Rangia cuneata* en el sistema fluvio-lagunar Atasta-Pom, Campeche. *Res. VI Congr. Nal. Oceanogr.* 21.

- Chen, X. y Gao, K.** 2003. Effect of CO₂ concentrations on the activity of photosynthetic CO₂ fixation and extracellular carbonic anhydrase in the marine diatom *Skeletonema costatum*. *Chinese Science Bulletin*. 48 (23): 2616-2620.
- Chen, C.T.A. y Borges, A.V.** 2009. Reconciling opposing views on carbon cycling in the coastal ocean: continental shelves as sinks and near-shore ecosystems as sources of atmospheric CO₂. *Deep-Sea Research*. 56: 578–590.
- Cole, J.J., Caraco, N.F., Kling, G.W. y Kratz, T.K.** 1994. Carbon dioxide super saturation in the surface waters of lakes. *Science*. 265, (5178): 1568–1570.
- Collins, M. E. y Kuehl, R. J.** 2000. Organic matter accumulation and organic soils. pp. 137-162. In: Richardson, J. L. y Vepraskas, M. J. (Eds.). *Wetland soils: genesis, hydrology, landscapes and classification*. Lewis Publishers. Boca Raton, FL, USA.
- CONANP.** (2012) “Áreas naturales protegidas decretadas” en Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas. En <http://www.conanp.gob.mx/que_hacemos/>, (Accesado 5 de septiembre 2013).
- Contreras-Espinoza, F.** 1994. La clorofila *a*, como base para un índice trófico en lagunas costeras. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 21, (1-2): 55-66.
- Contreras-Espinoza, F. y Zabalegui-Medina, L.M.** 1991. Hidrología, nutrientes y productividad primaria en la laguna La Joya-Buenavista, Chiapas, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 18, (2): 207-215.
- Corrales, S.** 2008. El metano, un gas que contribuye al cambio climático, en el estuario del Río Palmones, *Almoraima*. 37: 227-237.
- Cortez-Lugo, M., Holguín-Molina, F., Flores-Luévano, S., y Romieu, I.** 2004. Niveles ambientales de las PM_{2.5} y distancia a una vía de alto tránsito en Ciudad Juárez, Chihuahua, México. *Salud Pública de México*. 46, (6): 534-537.

Cruz, O.R., Machado, N.A. y Alba, C.V.M. 1989. Mineralogía y distribución de los sedimentos de la laguna de Términos, Campeche. *Revista de la Investigación Científica de la Universidad Autónoma de Baja California Sur*. 1, (1): 16-21.

Cruz-Ábrego, F.M. y Solís-Weiss, V. 1987. Memorias del IV Congreso Nacional de Zoología, I Estudio comparativo de los moluscos de las áreas de Tamiahua, Términos y Sonda de Campeche. Villahermosa, Tabasco 1987 91-97 13 al 16 de octubre de 1987

Cruz-Ábrego, F.M., Hernández-Alcántara, P. y Solís-Weiss, V. 1994. Estudio de la fauna de poliquetos (Annelida) moluscos (Gastropoda y Bivalvia) asociada con ambientes de pastos marinos *Thalassia testudinum* y manglares (*Rhizophora mangle*) en la Laguna de Términos, Campeche, México *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 21: 1-13.

Day, Jr., J., Day, R.H., Barreiro, M.T., Ley Lou, F. y Madden, C.J. 1982. Primary production in the Laguna de Términos, a tropical estuary in the southern Gulf of Mexico, p. 269-276. En: Laserre, P. y Postma H. (Eds.). Coastal Lagoon. *Acta Oceanologica*, 5, (4): 462 p.

De la Lanza, E. G., Rodríguez, M., y Soto, L. 1991. Análisis Ecológico de los Productores primarios en la laguna de términos, Campeche, México. *Universidad y Ciencia*. 8, (15): 15-25.

De la Lanza-Espino, G. y Lozano-Montes, H. 1999. Comparación fisicoquímica de las lagunas de Alvarado y Términos. *Hidrobiológica*. 9, (1): 15-30.

Escobar, E.G. 1984. Tesis maestría UACPyP-CCH. Comunidades de invertebrados bentónicos en la Laguna de Términos, Campeche. Composición y estructura. *Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 191 p.

Escobar-Briones, E. y Soto, L. 1988. Mysidacea from Terminos Lagoon, southern Gulf of México, and description of a new species of *Taphromysis*. *Journal of Crustacean Biology*. 8: 639-655.

Espinoza, M. G. 1980. Memorias del Seminario Organizado por la UNESCO Fauna sésil intermareal del manglar relacionado con algunos parámetros ambientales de la Laguna de Términos, Campeche, México. Montevideo, 1: 102-120.

Farnsworth, E. J. y Ellison, A. M. 1997. The global conservation status of mangroves. *Ambio*. 26: 328-334

Félez-Santafé, M. 2009. Tesis: Situación actual del estado de la depuración biológica. Explicación de los métodos y sus fundamentos. Departamento de Ingeniería Química, Universitat Politècnica de Catalunya.

Fernández, N. y Solano, F. 2005. Índices de calidad y de contaminación del agua., Universidad de Pamplona,

Ferry, J.G. y Barber, D.R. 2002. Methanogenesis Biochemistry. *Encyclopedia of Life Sciences*, Nature Publishing Group.

Flores-Coto, C. y Álvarez-Cadena, J. 1980. Estudios preliminares sobre abundancia y distribución del ictioplancton en la Laguna de Términos, Campeche. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 7, (2): 67-78.

Flores Coto, C.; V. Ducoing; F. Zavala García; A. Velarde y S. Méndez. 1986. Efecto de la marea en el paso de las larvas de algunas especies de la familia Clupeidae (Pises), en la Boca del Carmen, Laguna de Términos, Campeche, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 14, (1): 53-68.

Frankignoulle, M., Abril, G., Borges, A., Bourge, I., Canon, C., Delille, B., Libert, E., Théate, J.M. 1998. Carbon dioxide emission from European estuaries. *Science*. 282:434-436.

Frankignoulle, M., Bourge, I. y Wollast, R. 1996. Atmospheric CO₂ fluxes in a highly polluted estuary (The Scheldt). *Limnology and Oceanography*. 41:365-369.

García, E. 2004. *Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen*. Instituto de Geografía. Serie de Libros Núm. 6, 5ª Edición. México.

García-Cubas, A. 1981. Moluscos de un sistema lagunar tropical en el sur del Golfo de México (Laguna de Términos, Campeche *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. Publicación Especial, 5: 1-182.

García-Cubas, A. y Reguero, M. 2004. Catálogo ilustrado de moluscos gasterópodos del Golfo de México y Mar Caribe. UNAM, México.

García-Luque, E., Forja, J.M., y Gómez-Parra, A. 2005. Cuantificación de flujos de CO₂ agua-atmósfera en estuarios mediante simulación en laboratorio. *Ciencias Marinas*, 31, (1): 125-133.

Gattuso, J.P., Frankignoulle, M., y Wollast, R. 1998. Carbon and carbonate metabolism in coastal aquatic ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*. 29: 405–434

Gazeau F., Quiblier C., Jansen J.M., Gattuso J.-P., Middelburg J.J. y Heip C.H.R. 2007. Impact of elevated CO₂ on shellfish calcification. *Geophysical Research Letters*. 34, L07603.

Gerard, G. y Chanton, J.P. 1993. Quantification of methane oxidation in the rhizosphere of emergent aquatic macrophytes-defining upper limits. *Biogeochemistry*. 23: 79–97.

Gierloff-Emden, H. G. 1977. Laguna de Terminos and Campeche Bay, Gulf of Mexico: water mass interaction lagoonal oceanic visible due to sediment laden waters. pp. 77-89. In: Walter de Gryter (Ed.) *Orbital Remote Sensing of Coastal and Offshore Environments: A manual of interpretation*. Berlin.

Gío-Argáez, F. R. 1996. Campeche y Sus Recursos Naturales. *Revista Sociedad Mexicana Historia Natural*. : 247.

- Gold, B., Noreña, G.E. y Zapata, O.** 1995. Hydrocarbon concentrations in the American oyster, *Crassostrea virginica*, in laguna de Términos, Campeche, México. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 54: 222-227.
- Goldman, C.R., Masson, D. T. y Wood, B.J.B.** 1963. Light injury and inhibition in Antarctic fresh water phytoplankton. *Limnology and Oceanography*. 8: 313-322.
- Gómez-Aguirre, S.** 1974. Reconocimientos estacionales de hidrología y plancton en la Laguna de Términos, Campeche, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 1, (1): 61-82.
- Gómez-Pompa, A.** 1965. La vegetación de México. *Boletín Sociedad Botánica de México*. 29: 76-120.
- Gómez-Pompa.** 1993. *Estudio para la creación de corredores biológicos en áreas prioritarias, zona sur. SEDESOL, México.* Reporte técnico.
- Goyenola, G.** 2007. Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos. RED MAPSA.
- Graham, D.S., Daniels, J.P, Hill, J.M. y Day, Jr.J.** 1981. A preliminary model of the circulation of Terminos lagoon, Campeche, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 8, (1): 51-62.
- Guenet, B., Danger, M., Abbadie, L., y Lacroix, G.** 2010. Priming effect: bridging the gap between terrestrial and aquatic ecology. *Ecology* 91: 2850–2861.
- Guevara, E., Sánchez, A.J., Rosas, C., Mascaró, M. y Brito, R.** 2007. Asociación trófica de peces distribuidos en vegetación acuática sumergida en la Laguna de Términos, Sur del Golfo de México. *Universidad y Ciencia*. 23: 151-166.
- Hernández, M. E.** 2010. Wetland Soils as Carbon Sinks and Sources of Methane, *Terra Latinoamericana*. 28: 139-147.
- Hernández-Alcántara, P., Cruz-Ábrego, F.M., Ibáñez-Aguirre, A.L. y Solís-Weiss, V.** 1988. Comparative study of the polychaete and mollusk populations associated to

mangroves and seagrass beds in a tropical mexican coastal lagoon in the Gulf of Mexico. *Abstracts Joint Oceanographic Assembly*. Acapulco, Mexico.

Herrera-Silveira, J.A., Arellano Méndez, L. y Morales Ojeda, S. 2011. Report of the Pilot Project Natural Habitat and Ecosystem Conservation of Coastal and Marine Zones of the Gulf of Mexico: Seagrass beds characterization for restoration pilot project: Phase I-2011.

Hudson, F. 2004. Sample Preparation and Calculations for Dissolved Gas Analysis in Water Samples Using a GC Headspace Equilibration Technique. *EPA*. RSKSOP-175, Revisión Número 2.

Ibáñez-Aguirre, A.L. y Solís-Weiss, V. 1986. Anélidos poliquetos de las praderas de *Thalassia testudinum* del noroeste de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Revista de Biología Tropical*. 34 (1): 1986 35-47.

INE. 1997. *Programa de Manejo del Área de Protección de Flora y Fauna Laguna de Términos México*. México, D.F. 201pp.

INE. 2007. *Manifestación de Impacto Ambiental Modalidad particular Sector Hidráulico Desazolve en la Boca de Estero Pargos*. 110 pp.

IPCC. 2001. *Climate Change: The Scientific Basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 881 p.

IPCC. 2007. *The Scientific Basis. Contribution of Working Group I, II y III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. : 104.

IPCC. 2007. *Climate Change: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, Cambridge, U. K. 989 p.

Jeffrey, S.W., y Humphrey, G.F. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls *a*, *b*, *c1* y *c2* in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochemical Physiological Pflanzen*. 167: 191-194.

Jones, J.A. 1968. Tesis: Primary productivity by the tropical marine turtle grass, *Thalassia testudinum* and its epiphytes. University of Miami, Coral Gables. 186 p.

Joos, F., Plattner, G.K., Stocker, T.F., Marchal, O. y Schmittner, A. 1999. Global warming and marine carbon cycle feedbacks on future atmospheric CO₂. *Science*. 284: 464–467.

Kampbell, D.H., y Vandegrift, S.A. 1998. Analysis of dissolved methane, ethane, and ethylene in ground water by a standard gas chromatographic technique. *Journal of chromatographic science*. 36, (5): 253-256.

Karp, G. 1998. *Biología Celular y Molecular: conceptos y experimentos*. McGraw-Hill Interamericana.

Kastead, K.A., y Ferry, J.G. 2007. Chapter 13: Methanogenesis. In: Cavicchioli, R. (Ed.). *Archea: Molecular and Cellular Biology*. ASM Press : 288-314

Kavouras, I., Koutrakis, P., Cereceda-Balic, F. y Oyola, P. 2001. Source apportionment of PM₁₀ y PM_{2.5} in five Chilean cities using factor analysis. *Journal of Air Waste Management Association*. 51: 451-464.

Keeling, C.D. 1968. Carbon Dioxide in Surface Ocean Waters 4. Global Distribution, *Journal of Geophysical Research*. 73: 4543-4553.

Kempe S. 1982. Valdivia Cruise, October 1981: carbonate equilibria in the Estuaries of Elbe, Weser, Ems and in the Southern German Bight. *Mitteilungen aus dem Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Hamburg*. 52: 719-742.

Kerekes, J. 1982. The application of phosphorus load-trophic response relationships to reservoirs. *Canadian Water Resources Journal*. 7, (1): 349-354.

Kerekes, J. 1983. Predicting trophic response to phosphorus addition in a Cape Breton Island Lake. *Proceedings of the Nova Scotian Institute of Science*. 33: 7-18.

Lara-Domínguez, A.L., Villalobos-Zapata, G.J. y Rivera-Arriaga, E. 1990. Catálogo bibliográfico de la región de la Sonda de Campeche. *Epomex Serie Científica*. 1: 161p.

Lara-Domínguez, A.L., Villalobos-Zapata, G., Day, J.W., Álvarez-Guillén, H., Yáñez-Arancibia, A. 2005. Structure of a unique mangrove forest assemblage in fossil lagoons on the Caribbean coast of Mexico. *Wetlands Ecology and Management*, 13: 111-122.

Laurelle, G.G., Durr, H.H., Slomp, C.P., y Borges, A.V. 2010. Evaluation of sinks and sources of CO₂ in the global coastal ocean using a spatially-explicit typology of estuaries and continental shelves. *Geophysical Research Letters* 37: L15607

Lee, S. et al. 2007. Source Apportionment of Fine Particulate Matter in the Southeastern United States, pp. 1123-1142. En: *Journal of the Air & Waste Management Association* 57 (9).

Leith, H. y Whittaker, R. H. (eds.) 1975. *Primary Productivity of the Biosphere*, New York: Springer-Verlag.

Ley-Lou, F. 1979. Tesis: Algunos factores ecológico abióticos en Estero Pargo, Campeche. *Facultad de Ciencias*, Universidad Nacional Autónoma de México. 39 p.

Liikanen, A., Tanskanen, H., Murtoniemi, T. y Martikainen, P.J. 2002. A laboratory microcosm for simultaneous gas and nutrient flux measurements from sediments. *Boreal Environment Research*. 7:151-160.

Lissarrague, J.R. y Sánchez de Miguel, P.B.P. 2000. La Fotosíntesis. *Vitis* 39, (1): 19-26.

Lizárraga-Partida, M.L., Carballo-Cruz, R., Izquierdo-Vicuña, F.B., Colwell, R.R. y Wong-Chang, I. 1987. Bacteriología de la *Laguna de Términos*, Campeche. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 14, (1): 97-108.

Loyo-Rebolledo, M. E. 1965. Notas acerca de la flora de diatomeas de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 36, (1-2): 61-64.

Mackenzie, F.T., Brewers, J.M., Charlson, R.J., Hoffman, E.E., Knauer, G.A., Kraft, J.C., Nothig, E.M., Quack, B., Walsh, J.J., Whitfield, M., Wollast, R.M. 1991. What is the importance of coastal margins processes in Global Change? pp. 433-454. En: Mantoura RF, Martin JM, Wollast RM (eds.), *Ocean Margin Processes in Global Change*. John Wiley and Sons, Chichester.

Madigan, M.T., Martinko J.M. y Parker, J. 1998. *Brock Biología de los microorganismos*. Editorial Prentice Hall International. 8ª Edición.

Madsen, T.V., Maberly, S.C. y Bowes, G. 1996. Photosynthetic acclimation of submersed angiosperms to CO₂ and HCO₃. *Aquatic Botany*. 53: 15-30

Magenheimer, J.F., Moore, T.R., Chmura, G.L., Daoust, R.J. 1996. Methane and carbon dioxide flux from a macrotidal salt marsh, Bay of Fundy, New Brunswick. *Estuaries*. 19: 139-145.

Makarov, O.M. 2002. Análisis espectral de datos de series de tiempo de número de organismos de camarón blanco (*L. setiferus*), medidas en la laguna de Términos en el Golfo de México. *Res. XIII Congreso Nacional de Oceanografía*. Puerto Vallarta, Jalisco, México, 7 a 11 de Octubre.

Mancilla, M. y Vargas, M. 1980. Los primeros estudios sobre la circulación y el flujo neto de agua en la Laguna de Términos, Campeche. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 7, (2): 1-14.

Marland, G., Boden, T.A., Andres, R.J. 2007. Global, regional, and national CO₂ emissions. In: *Trends: A Compendium of Data on Global Change*. Oak Ridge, Tenn.: Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy.

- Marrón, A.M.A.** 1975. Tesis doctoral. Estudio cuantitativo y sistemático de los poliquetos (Annelida: Polychaeta) bentónicos de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 143 p.
- Mc Allister, C.D.** 1963. Measurements of diurnal variation in productivity at ocean station "P". *Limnology and Oceanography*. 8, (2): 289-292.
- Mee, L.D.** 1978. Coastal lagoons. En: Riley, J.P. y Chester, R. (Eds.). *Chemical Oceanography*. Academic Press. Vol. 7.
- Mendoza-Mojica, M., Martínez-Arroyo, A., Espinosa-Fuentes, M., Peralta-Rosales, O. y Castro-Romero, T.** 2013 Caracterización de dos lagunas costeras del Pacífico tropical mexicano en relación con el contenido de carbono y la captura y emisión de CH₄ Y CO₂. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 29, (2): 145-154.
- Middelburg, J.J., Nieuwenhuize, J., Iversen, N., Høgh, N., de Wilde, H., Helder, W., Seifert, R. y Christof, O.** 2002. Methane distribution in tidal estuaries. *Biogeochemistry*. 59: 95–119.
- Mier y Reyes, R.C., Sánchez, A.J., Florido, R., Granados, B.A., Alvarado, C., Soto, L. A. y Ramos, J.L.** 1997. Variación temporal de *Penaeus (Farfantepenaeus) duorarum* Burkenroad (Crustacea: Decapoda) en vegetación acuática estuarina. *Universidad y Ciencia, UJAT 13* (25): 15-30.
- Miller, T.** 1994. Ecología y medio ambiente. Seventh Ed. Editorial Iberoamericana, 313p.
- Montenegro, J. y Abarca, S.** 2000. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. pp 151-173. En: Pomareda, C. y Steinfeld, H. (Eds.) *Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales*. San José: CATIE; FAO; SIDE.
- Moore, Y.A. y Wetzel, R.L.** 1988. Ecology of Coastal Ecosystems in the Southern Gulf of Mexico. The Términos Lagoon Region. The distribution and productivity of

seagrass in the Terminos Lagoon. Chap. A. Yáñez-Arancibia, and J. W. Day Jr. (Eds). Editorial Universitaria. In: *ICMyL. UNAM, Coastal Ecology Institute*. LSU. 12: 207-220.

Mouriño, B. 2006. La bomba biológica oceánica, *Unidad tecnológica Marina del Consejo Superior de Investigaciones Científicas*.

Nixon, S.W. 1981. Remineralization and nutrient cycling in coastal marine ecosystems. pp. 111-138. In: Nelson, B. J. y Cronin, L. E. (Eds.). *Estuaries and nutrients*. Humana Press, Nueva Jersey.

Nixon, S.W. 1982. Nutrient dynamics, primary production and fisheries yields of lagoons. *Oceanologica Acta*, Edición especial: 357-371.

NOAA. 2013. "ESRL's Global Monitoring Division". En: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/> (Accesado: 17 noviembre 2013).

Norma Oficial Mexicana NOM-025-SSA1-1993. "Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas menores de 10 micras (pm10). Valor permisible para la concentración de partículas menores de 10 micras (pm10) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población". (SSA, Consultada el 29/Enero/2013)

Ocaña, D. y Lot, A. 1996. Estudio de la vegetación acuática vascular del sistema fluvio-lagunar-deltaico del río palizada Campeche, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. Serie Botánica, 67 (2): 303-327.

Odum, W.E. y Heald, E.J. 1975. Mangrove forest and aquatic productivity. In: *An introduction to land-water interaction*. Springer-Verlag Ecological Study Series, Nueva York, 135 pp.

Orozco, C., Pérez, A., Gonzáles, M.N., Rodríguez, F. y Alfayate, J. 2005. Contaminación Ambiental. *Una visión desde la química.*, tercera edición, Thomson Editoriales Spain Paraninfo, S.A.

- Parkin, T.B., Doran, J.W. y Franco-Vizcaino, E.** 1996. Field and laboratory tests of soil respiration. pp. 231-246. In: Doran, J.W. and Jones, A.J. (Eds.) Methods for assessing soil quality. *Soil Science Society of America Journal*. 49.
- Penhale, P.A.** 1977. Macrophyte-epiphyte biomass and productivity in an eelgrass (*Zostera marina L.*) community. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 26: 211-224.
- Phleger, F.B. y Ayala-Castañares, A.** 1971. Processes and history of Terminos Lagoon, Mexico. *American Association of Petroleum Geologists*. 55: 2130-2140.
- Platt, T., Sathyendranath, S., Ulloa, O, Harrison, W.G., Hoepffner, N. y Goes, J.** 1992. Nutrient control of phytoplankton photosynthesis in the Western North Atlantic. *Nature*. 356: 229-231
- Ponce-Vélez, G. y Vázquez-Botello, A.** 1991. Aspectos geoquímicos y de contaminación por metales pesados en la Laguna de Términos, Campeche. *Hidrobiológica*. 1, (2): 1-10.
- Ramos-Miranda, J., Makarov, O., Sosa, L.A., y Flores, H.D.** 2000. Estimaciones de biomasa de camarón blanco (*Litopenaeus setiferus*) y su análisis espectral en la laguna de Términos, sur del Golfo de México. *Resumen XII Congreso Nacional de Oceanografía*. 22 al 26 de mayo, Huatulco, Oax., México.
- Ramos-Miranda, J., Flores-Hernández, D., Ayala-Pérez, L.A., Rendón-von Osten, J., Villalobos Zapata, G. y Sosa-López, A.** 2006. *Atlas Hidrológico e Ictiológico de la Laguna de Términos*. Universidad Autónoma de Campeche. 173 pp.
- Ramos-Miranda, J., Quiniou, L., Flores-Hernández, D., Do Chi, T., Ayala-Pérez, L. and Sosa-López, A.** 2005b. Spatial and temporal changes in the nekton of the Terminos Lagoon, Campeche, Mexico. *Journal of Fish Biology*. 66: 513–530.
- Raz-Guzmán, A. y Barba, M. E.** 2000. Seagrass biomas, distribution and associated macrofauna in southwestern of Mexico coastal lagoons. *Biología Marina Mediterránea*. 7, (2): 271.

Raz-Guzmán, A. y Sánchez, A.J. 2001. La biodiversidad de los ambientes estuarinos y marinos de México. *Revista Ciencia Nicolaita*. 26: 125-146.

Raz-Guzmán, A., Sánchez, A.J, Peralta, P. y Florido, R. 2004. Zoogeography of Hermit Crabs (Decapoda: Diogenidae, Paguridae) from four Coastal Lagoons in the Gulf of Mexico. *Journal of Crustacean Biology*. 24: 625-636.

Revels, G.M.B. 1984. Tesis profesional. Contribución al estudio de los anélidos poliquetos asociados a praderas de *Thalassia testudinum* en la porción este-sur de la Laguna de Términos, Camp. *Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 170 p.

Ribas-Carbo, M., Giles, L., Flexas, J., Briggs, W. y Berry, J.A. 2008. Phytochrome driven changes in respiratory electron transport partitioning in soybean (*Glycine max* L.) cotyledons. *Plant Biology*. 10: 281-287.

Ribeiro, O., Álvarez, M.C., Riobos, P. y Cirujano, S. 2004. Descomposición de helófitos en un humedal semiárido hipertrófico. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*. 61: 53-61.

Ríos, F. s.f. Captación de CO₂ antropogénico en el Atlántico. *Unidad tecnológica Marina del Consejo Superior de Investigaciones Científicas*.

Robinson, G.G.C., Gurney, S. E. y Goldsborough, L.G. 1997b. The primary productivity of benthic and planktonic algae in a prairie wetland under controlled water-level regimes. *Wetlands*. 17: 182-194.

Robles-Jarero, E.G., Pérez, P.M., Ríos, J.E., López, U.E., Juárez, C.E., Enciso, P. I., Teófilo, M.V. y Galván, V.C. 2006. Participación del LEMA en el proyecto flujos de carbono (FLUCAR). Departamento de Ecología. División de Biología. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. 601-604.

Rodó, X. y Comín, F.A. 2003. *Global Climate: Current Research and uncertainties in the Climate System*. Springer-Verlag, Berlín-Heidelberg, 286pp.

Rodríguez, S.H. y Romero, J.J. 1981. Niveles de contaminación bacteriana en dos sistemas fluvio-lagunares asociados a laguna de Términos, Campeche, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 8, (1): 63-68.

Rodríguez, S.H. y Botello, A.V. 1988. *Escherichia coli* multiple resistance to antibiotics in Terminos. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 15, (2): 105-110.

Rodríguez-Romero, F. 2010. Imposex in the laguna de Términos, Campeche, México. *Revista Científica UDO Agrícola*. 10, (1): 141-149.

Roldan, S.R., Hernández, P., Hermoso, M. y Gallegos M. 2001. Composición, biomasa y densidad de la infauna macrobentónica asociada a *Thalassia testudinum* de tres localidades litorales de Campeche y Yucatán. *Res. XVI Congreso Nacional de Zoología*. 28 de Oct. Al 1ro. de Nov., Zacatecas, Zac.

Román-Contreras, R. y Martínez-Mayen, M. 2011. Registros nuevos de parásitos epicarideos (Crustacea: Isopoda) en México y suroeste del Golfo de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82, (4): 1145-1153.

Romo-Ríos, J.A. 2013. Productores primarios y su relación con la distribución de la ictiofauna en Laguna de Términos y plataforma continental adyacente, Campeche, México. Tesis de Maestría. *Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas*. Instituto Politécnico Nacional. 84p.

Rondón, M. 2000. Tesis: *Land use and balances of greenhouse gases in Colombian tropical savannas*. Ithaca, NY: Cornell University. 211pp.

Rosell, M.A., et al. 2009. El Papel del ciclo de carbono oceánico en los cambios atmosféricos de CO₂. *Fundación Mapfre, Instituto de Prevención, Salud y Medio Ambiente*. 116: 52-70.

RSCOIL. 1984. La Lluvia Acida. Red Social Educativa Euroinnova Formación. Trabajos de RSCOIL.

Salinas, O.H.T., González, M. E. de la R. y Santos, V. J. 2005. Variación estacional y cíclica de la abundancia relativa de juveniles de *Farfantepenaeus duorarum* en Champotón, Camp., México, 1994-2000. *Memorias del III Foro de camarón del Golfo de México y Mar Caribe*.

Sánchez-Iturbe, A. y Flores-Coto, C. 1986. Estimación de la Biomasa de *Bairdiella chrysoura* (lacepede, 1802) por medio del censo de huevos y algunos aspectos de sus primeros estadios de la vida en la Laguna de Términos, Campeche. (Pisces: Scianidae). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*.

Segura, L. R. y Wong-Chang, I. 1980. Foraminíferos recientes de Estero Pargo, Laguna de Términos, Campeche, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología. Universidad Nacional Autónoma de México*. 7, (1): 1-14.

SEMARNAT. 2007. Manifestación de Impacto Ambiental modalidad particular Sector Hidráulico: Desazolve en la Boca del Estero Pargo.

Smith, S.J. y Hollibaugh, J.T. 1993. Coastal metabolism and the oceanic organic carbon balance. *Reviews of Geophysics*. 31: 75–89.

Solís-Weiss, V. y Carreño-López, S. 1986. Estudio prospectivo de la macrofauna béntica asociada a las praderas de *Thalassia testudinum* en la Laguna de Términos, Campeche *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 13, (3): 201-216.

Sosa-López, A., Mouillot, D., Do-Chi, T. y Ramos-Miranda, J. 2005. Ecological indicators based on fish biomass distribution along trophic levels: an application to the Terminos coastal lagoon, Mexico. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 453-458.

Takahashi, T., et al. 2009. Climatological mean and decadal change in surface ocean pCO₂ and net sea-air CO₂ flux over the global oceans, *Deep Sea Research*. 56, (8-10): 554-577.

Tatreau, M., Quintana, P.J.E., Patel, Z., Rodríguez-Ventura, G., Temores-Peña, J., Castillo-Quiñones, E., Guerrero-García, J., Martínez, P., Romano-Mungaray, M., Valera-Lamas, S. y Ramírez-Cruz, M. 2008. Cartel: Niveles de Contaminantes Atmosféricos dentro de los Vehículos que Cruzan la Frontera México-Estados Unidos en la Región Tijuana, B.C.- San Diego, Ca. *VII Congreso Internacional de Ciencias Ambientales*.

Toledo, A. 2003. Ríos, costas, mares. Hacia un análisis integrado de las regiones hidrológicas de México. *Instituto Nacional de Ecología*, México, D.F. 117 p.

Torres-Alvarado, R., Ramírez, V.F., Fernández, J.F. y Barriga, S. I. 2005. Methanogenesis and methane oxidation in wetlands. Implications in the global carbon cycle. *Hydrobiologia*. 15: 327-349.

Vann, C.D. y Megonigal, P. 2003. Elevated CO₂ and water depth regulation of methane emissions: comparison of woody and non-woody wetland plant species. *Biogeochemistry*. 63: 117-134.

Vargas-Maldonado, I. y Yáñez-Arancibia, A. 1987. Estructura de las comunidades de peces en sistemas de pastos marinos (*Thalassia testudinum*) de la laguna de Término, Campeche, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 14, (2): 181-196.

Vargas-Maldonado, I. y Yáñez-Arancibia, A. y Amezcua-Linares, F. 1981. Ecología y estructura de las comunidades de peces en áreas de Rhizophora mangle y *Thalassia testudinum* de la Isla del Carmen, Laguna de Términos, sur del Golfo de México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 8, (1): 241-266.

Vázquez, G., Morales, J. W., Sharma, V. K., Nischtand, S. L. y Domingo, G. L. 1999. Metal ions in water and sediments of the Pom-Atasta Lagoon, Mexico. *Environment International*. 25, (5): 599-604.

Villalobos-Zapata, G. J., Yáñez-Arancibia, A., Day Jr., J. y Lara Domínguez, A.L. 1999. Ecología y manejo de los manglares en la Laguna de Términos, Campeche,

México. P. 263-274. In: A. Yáñez-Arancibia y A. L. Lara Domínguez (eds.). *Ecosistemas de Manglar en América Tropical*. Instituto de Ecología A.C. México, UICN/ORMA, Costa Rica, NOAA/NMFS Silver Spring MD USA. 380 p.

Walsh, J.J. 1988. *On the Nature of Continental Shelves*. Academic Press, New York. 520 pp.

Walsh, J.J. 1991. Importance of continental margins in the marine biogeochemical cycling of carbon and nitrogen. *Nature*, 350: 53 –55.

Whittaker, R.H. 1975. *Communities and ecosystems*. MacMillan Publishing Co., Inc., NY. 158 pp.

Whittaker, R.H. y Likens, G.E. 1975. The Biosphere and Man. En: Lieth, H. y Whittaker, R.H. (Eds.). *Primary productivity of the Biosphere*. Springer-Verlag, Nueva York, 21 pp.

Williams, R.B. 1973. Nutrients levels and phytoplankton productivity in the estuary, pp. 59-90. In: Chabreck, R. H. (Ed.) *Proceeding second Coastal Marsh and Estuary Management Symposium*, Louisiana State University, Baton Rouge, Louisiana. 316 p.

Woese, C. R., Kandler, O. y Wheelis, M.L. 1990. Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 87: 4576–4579.

Wollast, R. 1991. The Coastal Carbon Cycle: Fluxes, Sources and Sink. pp. 365-382. In: Mantoura RF, Martin JM, Wollast RM (eds.), *Ocean Margin Processes in Global Change*. John Wiley and Sons, Chichester.

Yáñez, A. 1963. Batimetría, Salinidad, Temperatura Y Distribución de dos Sedimentos Recientes en la Laguna de Términos, Campeche, México. *Boletín del Instituto de Geología*. 67, (1): 1-47.

Yáñez-Arancibia, A. 1981. Ecology in the inlet of Puerto Real, Términos lagoon, México. *UNESCO Technical Papers in Marine Science*. 33: 191-220.

Yáñez-Arancibia, A. y Amézcu-Linares F. 1979. Ecología de la raya *Urolophus jamaicensis* (Cuvier, 1816) en Laguna de Términos, un sistema estuarino del Sur del Golfo de México (Pisces: Urolophidae). *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 6, (2): 123-136.

Yáñez-Arancibia, A. y Day, Jr. J.W. 1982. Ecological characterization of Términos Lagoon, a tropical estuary in the southern Gulf of México, *Revista de Biología Tropical*. 51, (3-4):431-440.

Yáñez-Arancibia A. y Day Jr. J. 1988. Caracterización Ecológica de la Laguna de Términos, un sistema Lagunar-Estuarino Tropical en el sur del Golfo de México. pp. 1-26. En: Yáñez-Arancibia A. y J. W. Day Jr., (EDS.). *Ecología De Los Ecosistemas Costeros en el sureste del Golfo de México: La Región de la Laguna de Términos*. UNAM-OEA.

Yáñez-Arancibia, A. y Day, Jr. J. (eds.). 1988. Ecología de los ecosistemas costeros en el sur del Golfo de México: La región de la Laguna de Términos. *Ed. Universitaria*. 514 pp.

Yáñez-Arancibia, A. F. Amezcua-Linares J. W. Day. 1979. Estuarine Perspectives. Fish community structure and function in Terminos Lagoon, a tropical estuary in southern Gulf of Mexico. The fifth Biennial International Estuarine Research Federation Conference. Jekyll Island, Georgia, In: Kennedy, V - (Ed.) *Academic Press Inc. New York*: 1980.465-482.

Yáñez-Arancibia, A., Lara-Domínguez, A. L., Chavance, P. y Flores-Hernández, D. 1983. Environmental behavior of Terminos Lagoon ecological system Campeche, México. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la Universidad Nacional Autónoma de México*. 10, (1): 137-176.

Yáñez-Correa, A. 1963. Batimetría, salinidad, temperatura y distribución de los sedimentos recientes de la Laguna de Términos, Campeche, México. *Boletín del Instituto de Geología de México*. 67, (1): 1-47.

Young, M., Gonneea, M. E., Herrera-Silveira, J. A., y Paytan, A. 2005. Export of dissolved and particulate carbón and nitrogen from a mangrove-dominated lagoon, Yucatan Peninsula, Mexico. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*. 31: 189–202.

Yu, C. P., Matson, P. G., Martz, T. R. y Hofmann G.E. 2011. The ocean acidification and its relationships to the performance of calcifying marine invertebrates: Laboratory experiments on the development of urchin larvae framed by environmentally- relevant pCO₂/pH. *Journal of Experiment Marine Biology and Ecology*. 400: 288-295.

Yvon-Durocher, G., Caffrey, J.M., Cescatti, A., Dossena, M., del Giorgio, P., Gasol, J.M., Montoya J.M., Pumpanen, J., Staehr P.A., Trimmer, M., Woodward, G. y Allen, A.P. 2012. Reconciling the temperature dependence of respiration across timescales and ecosystem types. *Nature*.

Zarur, M. 1961. Tesis: Estudio Biológico Preliminar de la Laguna de Términos. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 69 p.

Zinder, S.H. (1993) Physiological ecology of methanogenesis. pp. 128-206. In: Ferry, J.G. (Ed.). *Methanogenesis: Ecology, Physiology, Biochemistry and Genetics*. Chapman and Hall, New York.