

Título del artículo.

Emisiones de CO₂ y CH₄ en un ecosistema costero tropical: la laguna de Coyuca, Guerrero, México.

Título del artículo en idioma Inglés.

CO₂ and CH₄ emissions in a tropical coastal ecosystem: Coyuca lagoon, Guerrero, Mexico..

Autores.

José Luis Cortés-García, Manuel Mendoza-Mojica, María Amparo Martínez-Arroyo, Sandra Gómez-Arroyo, Yolanda Carbajal-López, Sergio García-Ibañez, José Luis Rosas-Acevedo, Justiniano González-González, Uriel Leal Ramírez, Nazarin Vargas Armenta

Referencia bibliográfica:

MLA

Cortés-García, José Luis, Manuel Mendoza-Mojica, María Amparo Martínez-Arroyo, Sandra Gómez-Arroyo, Yolanda Carbajal-López, Sergio García-Ibañez, José Luis Rosas-Acevedo, Justiniano González-González, Uriel Leal Ramírez, Nazarin Vargas Armenta. "Emisiones de CO₂ y CH₄ en un ecosistema costero tropical: la laguna de Coyuca, Guerrero, México". *Tlamati* 7.2 (2016): 48-54. Print.

APA

Cortés-García, J. L., Mendoza-Mojica, M., Martínez-Arroyo, M. A., Gómez-Arroyo, S., Carbajal-López, Y., García-Ibañez, S., Rosas-Acevedo, J. L. y González-González, J. (2016). Emisiones de CO₂ y CH₄ en un ecosistema costero tropical: la laguna de Coyuca, Guerrero, México. *Tlamati*, 7(2), 48-54.

ISSN: 2007-2066.

Publicado el 30 de Junio del 2016

© 2016 Universidad Autónoma de Guerrero

Dirección General de Posgrado e Investigación

Dirección de Investigación

TLAMATI, es una publicación trimestral de la Dirección de Investigación de la Universidad Autónoma de Guerrero. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja de manera alguna el punto de vista de la Dirección de Investigación de la UAGro. Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos previa cita de nuestra publicación.



Emisiones de CO₂ y CH₄ en un ecosistema costero tropical: la laguna de Coyuca, Guerrero, México

José Luis Cortés-García¹
Manuel Mendoza-Mojica²
María Amparo Martínez-Arroyo³
Sandra Gómez-Arroyo³
Yolanda Carbajal-López⁴
Sergio García-Ibañez²
José Luis Rosas-Acevedo^{1*}
Justiniano González-González¹

¹ Universidad Autónoma de Guerrero. Unidad de Ciencias de Desarrollo Regional. Calle Pino s/n Col. El Roble C. P. 39640. Acapulco, Guerrero, México. Tel: +52(744) 488 0341

² Universidad Autónoma de Guerrero. Unidad Académica de Ecología Marina

³ Universidad Nacional Autónoma de México. Centro de Ciencias de la Atmósfera

⁴ Universidad Autónoma de Guerrero. Unidad Académica de Ciencias Químico Biológicas,.

***Autor de correspondencia**
jlrosas71@yahoo.com

Resumen

El ecosistema costero Laguna de Coyuca, por la importancia económica y ecológica en la Costa Grande de Guerrero, es necesario conocer las emisiones naturales de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), para ello, se llevaron a cabo mediciones en cinco sitios de la superficie de la laguna. Se utilizó cámara flotante por cromatografía de gases para poder comparar la situación de emisión/captura que presenta dicho cuerpo de agua con otros ecosistemas naturales. Se encontró que la laguna de Coyuca se comporta como emisor moderado de metano y de dióxido de carbono con un promedio anual de 32.4 mg L⁻¹ y de 48.4 mg L⁻¹ respectivamente

Palabras clave: Ecosistema costero, Metano, Dióxido de carbono, emisión/captura

Abstract

The coastal ecosystem of Coyuca Lagoon is important on economic and ecological areas at the Costa Grande of Guerrero. Due to this importance, it is necessary to know about natural emissions of methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂). These emissions measurements were carried out at five sites on the surface of the lagoon. A floating camera was used to measure gas chromatography, in order to compare the situation of emission/capture presented by this body of water with other natural ecosystems. It was found that the Coyuca lagoon behaves as moderate emitter of methane and carbon dioxide, with an annual average of 32.4 mg L⁻¹ and 48.4 mg L⁻¹ respectively.

Keywords: coastal ecosystem, methane, carbon dioxide, emission/capture

Como citar el artículo:

Cortés-García, J. L., Mendoza-Mojica, M., Martínez-Arroyo, M. A., Gómez-Arroyo, S., Carbajal-López, Y., García-Ibañez, S., Rosas-Acevedo, J. L. y González-González, J. (2016). Emisiones de CO₂ y CH₄ en un ecosistema costero tropical: la laguna de Coyuca, Guerrero, México. *Tlamati*, 7(2), 48-54.

Introducción

El incremento de la concentración en la atmósfera de los Gases de Efecto Invernadero [GEI] de origen antropogénico, ha preocupado en las últimas décadas a la comunidad científica y a los gobiernos por las enormes transformaciones en los ecosistemas que ocasionará el cambio climático y que afectará sin duda la vida misma del hombre sobre la tierra. El estudio sobre la emisión y captura del CO_2 y CH_4 en cinco sitios de la laguna de Coyuca en el estado de Guerrero, México, mostrará las características particulares que presentan los lugares donde de manera natural hay mayor emisión y mayor captura de dichos gases.

El carbono inorgánico en forma de CO_2 y el CH_4 son contaminantes atmosféricos involucrados en el calentamiento global del planeta, los cambios en la composición de la atmósfera durante el último milenio muestran el rápido aumento de las concentraciones de CO_2 que se puede atribuir principalmente al crecimiento industrial desde el año 1750 de acuerdo con el *Intergovernmental Panel on*

Climate Change [IPCC] (2002), es decir, en gran medida, a las emisiones de GEI de la humanidad a la atmósfera, de acuerdo con la Organización Meteorológica Mundial [OMM], 2013.

Las zonas húmedas son la principal fuente de emisión natural de metano porque en los suelos inundados existen las condiciones anaerobias (sin oxígeno) que favorecen la proliferación de las bacterias responsables de la descomposición de la materia orgánica, en cuyo proceso se libera metano de manera natural (Ortiz-Llorente y Álvarez-Cobelas, 2012, Zhu, An, Krishnakumar, Zhao, Mizouchi e Inamori, 2007) y aunque el CH_4 es mucho menos abundante que el CO_2 en la atmósfera, una molécula de metano absorbe 21 veces más la radiación infrarroja que una molécula de CO_2 (Hernández, 2010; Mendoza, -Mojica, Martínez, Espinoza, Peralta y Castro, 2013).

De acuerdo con Radford (2014) la cantidad de metano emitido a la atmósfera desde los ecosistemas de agua dulce aumentará a medida que el clima se calienta y esto provocará un mayor calentamiento. Esto destaca otro mecanismo por el cual el ciclo global del carbono puede acelerar en

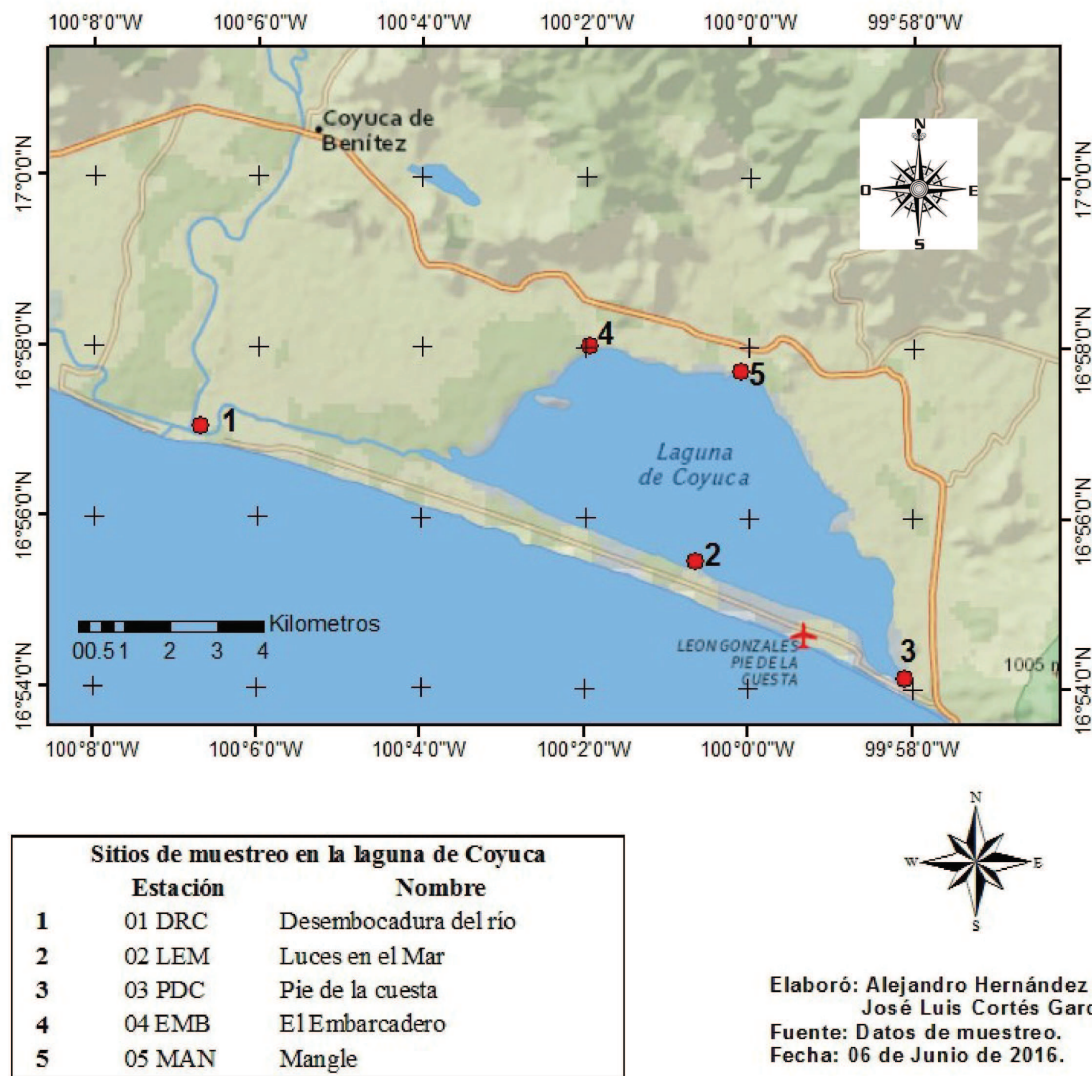


Figura 1. Ubicación de los sitios de muestreo en la laguna de Coyuca, Guerrero.

Tabla 1. Tipología y coordenadas de los sitios de muestreo en la laguna de Coyuca.

Estación	Nombre	Latitud	Longitud
01 DRC	Desembocadura del río	16°56'59.35''	100° 06' 41.70''
02 LEM	Luces en el Mar	16°55' 25.35''	100°00' 39.41''
03 PDC	Pie de la cuesta	16°54' 4.12''	99°58' 5.65''
04 EMB	El Embarcadero	16°57' 39.15''	100°00' 6.29''
05 MAN	Mangle	16°57' 57.06''	100°01' 56.75''

lugar de mitigar el cambio climático futuro. Para un conocimiento más preciso de la dinámica de este gas a nivel global, habría que medir las emisiones en zonas áridas y semiáridas, así como en zonas tropicales, en las que hasta la fecha se han realizado pocos estudios (Ortiz-Lorente y Álvarez-Cobelas, 2012).

El calentamiento en el sistema climático es inequívoco. La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel de mar se ha elevado y las concentraciones de GEI han aumentado (IPCC, 2013). Nueve de los años del decenio se contaron entre los 10 años más cálidos de los que se tiene registro. El año más cálido jamás registrado fue 2010, con una anomalía de temperatura media estimada en 0.54 °C por encima del dato de referencia de 14.0 °C (OMM, 2013), aunque se destaca, con gran confianza; que la región Ártica tendrá un calentamiento por encima de la media, que será mayor en los continentes que en los Océanos, y también mayor en los trópicos y las zonas subtropicales que en latitudes me-

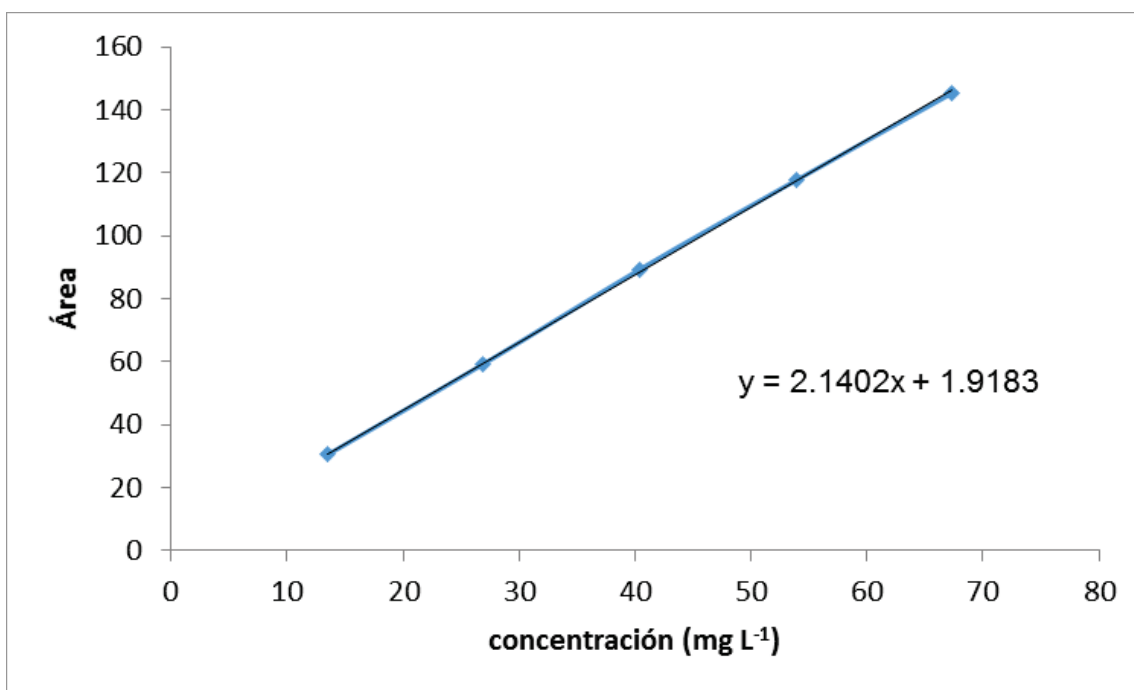
dias (García-Sánchez, 2013).

La medición de la emisión/captura de los GEI CO₂ y CH₄ en la laguna de Coyuca brindará la posibilidad de conocer el comportamiento natural del ecosistema durante el periodo de lluvias y de estiaje y además poder comparar los datos con otros estudios similares.

Materiales y métodos

El área de estudio seleccionada fue la laguna de Coyuca de Benítez, ubicada en la región Costa Grande del estado de Guerrero al noroeste de la ciudad de Acapulco, desde Pie de la Cuesta hasta Coyuca de Benítez unos 11 km de largo por 4 km de ancho; se localiza a los 99° 58' y 100° 08' de longitud oeste y 16° 53' y 16°59' de latitud norte y una superficie de 3,079 hectáreas (Contreras, 1993; Tovilla-Hernández, Mora-Corro, Rojas-García y Vázquez-Lule, 2009).

El nivel hidrológico de la laguna depende directamente

Figura 2. Curva de calibración de CH₄. Fuente CCA-UNAM

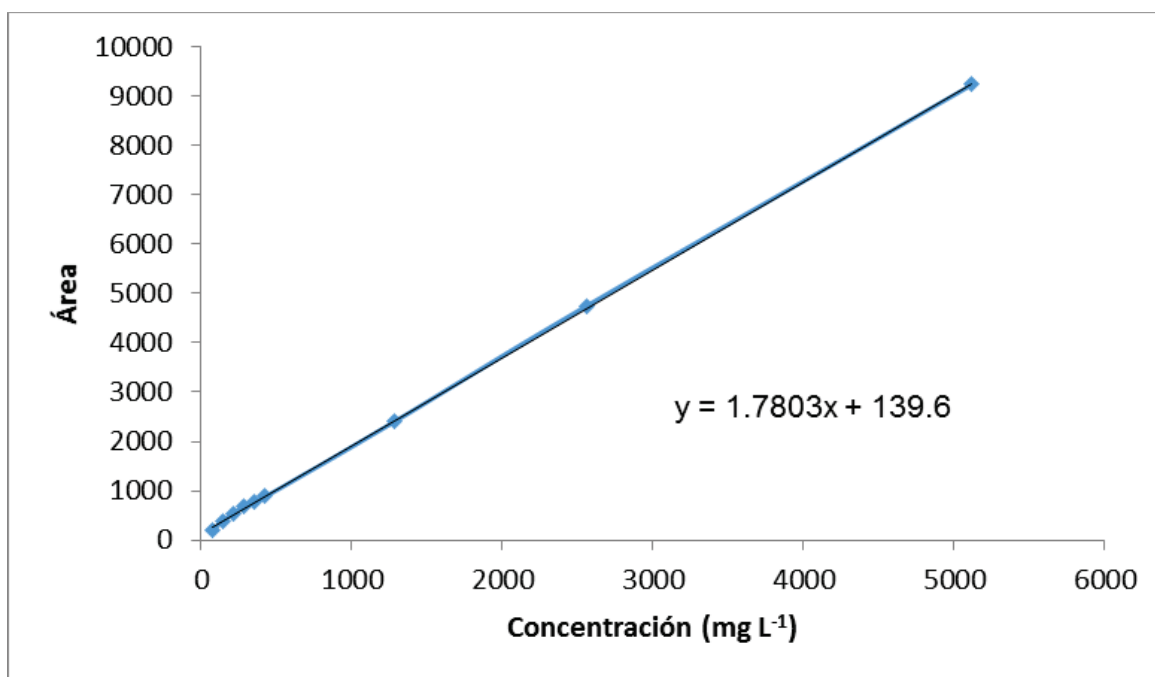


Figura 3. Curva de calibración de CO₂. Fuente CCA-UNAM

de la lluvia, ya que todos los ríos que desembocan ahí tienen un régimen de lluvias, a excepción del río Coyuca que fluye todo el año (Monreal, 1991). Se realizaron 12 muestreos de septiembre de 2012 a agosto de 2013 en cinco sitios característicos situados en la laguna (véase tabla 1; véase figura 1): Pie de la Cuesta [PDC] por ser un sitio de importancia turística, El Embarcadero [EMB], lugar donde los habitantes viven en gran medida de la pesca, Luces en el Mar [LEM], población dedicada a la pesca; el sitio de estudio denominado Mangle [MAN], fue seleccionado por ser una zona con escasa actividad antropogénica, pero cercana al basurero municipal de Coyuca de Benítez y a la desembocadura del río de Coyuca [DRC].

Las muestras de gas para registrar flujos de CO₂ y CH₄ se tomaron con una cámara cerrada de PVC (15 cm largo, 9.75 cm radio) montada en una plancha flotante de poliuretano, con una jeringa de 60 mL y aguja de calibre 22, se toman 40 ml de gas que se depositaron en viales de vidrio sellados al vacío de 20 ml; la primera muestra tomada al

tiempo cero (muestra inicial) y una segunda muestra tomada a los 20 minutos (muestra final); cada una por duplicado, se envolvieron en papel aluminio y se colocaron en un recipiente cerrado en refrigeración.

Las curvas de calibración de CO₂ y CH₄ fueron realizadas en el laboratorio de Aerosoles Atmosféricos del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la Universidad Autónoma de Guerrero [CCA-UNAM] con dos estándares de concentración conocida obteniendo la ecuación (1):

$$y = 2.1402x + 1.9183 \quad (1)$$

para la concentración de CH₄ y la ecuación (2)

$$y = 1.7803x + 139.6 \quad (2)$$

para la concentración de CO₂ (véanse Figuras 2 y 3).

La medición de CO₂ y CH₄ se realizaron por cromato-

Tabla 2. Emisión/Captura de CH₄ y CO₂ en la laguna de Coyuca

Sitio de muestreo	Emisión/Captura de CH ₄ (mg L ⁻¹)	Flujos de CH ₄ (mg m ⁻² h ⁻¹)	Emisión/Captura de CO ₂ (mg L ⁻¹)	Flujos de CO ₂ (mg m ⁻² h ⁻¹)
1 DRC	41.8	0.421	123.4	1.2419
2 LEM	1.1	0.0106	56.8	0.5716
3 PDC	3.3	0.0336	7.6	0.0762
4 EMB	60.6	0.6103	-7.7	-0.077
5 MAN	56.9	0.5728	61.7	0.6214
Promedio	32.7	0.3297	48.4	0.4868

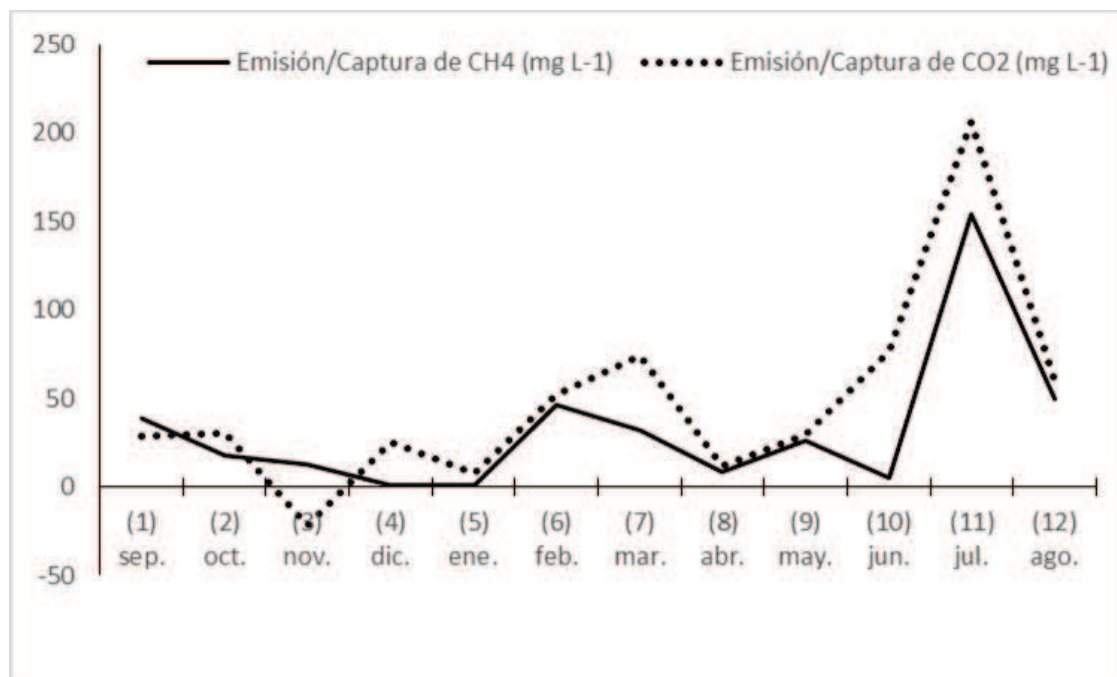


Figura 4. Emisión/captura de CH₄ y CO₂ en mg L⁻¹.

grafía de gases en el CCA-UNAM, usando una muestra de 100 µl en un cromatógrafo de gases marca Agilent 6890 acoplado a un metanizador con detector FID (*Flame Ionization Detector*), una columna empacada Porapak Q de 0.32 mm de diámetro interno, 6 pies de largo con malla 80/100 x1/8 pulgadas, temperatura del metanizador (*back inlet*) de 375°C, temperatura del FID de 300°C, temperatura del inyector (*front inlet*) de 150°C, temperatura del horno de 40°C, se usó N₂ como gas acarreador, flujo de aire comprimido de 400 ml/min, flujo de gas catalizador del FID (H₂) de 30 ml/min. Todas las muestras fueron analizadas a una temperatura de 25°C y el tiempo de retención del CH₄ es de 1.14 minutos y de CO₂ es de 2.62 minutos.

Resultados

El promedio de emisión de CH₄ en los cinco sitios de estudio de la laguna de Coyuca fue de 32.7 mg L⁻¹, registrándose valores más elevados en los sitios EMB y MAN; los valores más bajos de emisión de metano se encontraron en LEM y PDC, que son sitios que se localizan en el margen de la barra de arena que separa a la laguna con el mar (véase tabla 2).

Los valores positivos se refieren a la emisión de CH₄ y CO₂ y los valores negativos se refieren a la captura de los gases de estudio en el ecosistema. El promedio de la emisión de CO₂ fue de 48.4 mg L⁻¹ en la laguna de Coyuca, registrándose el valor promedio de emisión más alto en el mes de julio de 2013 con 205.9 mg L⁻¹ y el único valor promedio de captura en el mes de noviembre en El Embarcadero, sitio 4 EMB (Tabla 3, figura 4).

Flujos de CH₄ y CO₂ en mg/m²/h.

Un parámetro muy utilizado para determinar el comportamiento del CH₄ y CO₂ en diversos estudios en ecosistemas acuáticos y terrestres es comparar los flujos en

miligramos por metro cuadrado por hora (mg/m²/h), el intercambio de gases entre agua y atmósfera se estimó de acuerdo con la ecuación(3) (Mendoza et al., 2013):

$$\text{Flujo} = (C_f - C_i) \times \text{Volumen} / \text{Tiempo} \times \text{Área} \quad (3)$$

Donde C_f es la concentración final y C_i la inicial, el volumen de la muestra (100 µl), el área corresponden a la cámara cerrada de PVC (0.02986 m²) y el tiempo de muestreo (0.333 horas).

Es precisamente durante el periodo de lluvias cuando el ecosistema lagunar se encuentra en proceso de emisión de CH₄ ya que son los meses en los cuales se registraron los valores más altos; con valores de 1.55 mg m⁻² h⁻¹ durante el mes de julio y 0.50 mg m⁻² h⁻¹ en agosto; el sitio 4 EMB y el sitio 5 MAN son los mayores emisores de CH₄ (tabla 2). En los meses de diciembre y enero se registró la menor emisión de CH₄, con valores de 0.0094 y 0.0119 mg m⁻² h⁻¹ respectivamente (véase tabla 3).

En cuanto a los valores obtenidos de la emisión de CH₄ en la laguna de Coyuca por sitio de estudio, el promedio fue de 0.3297 mg m⁻² h⁻¹ y en el sitio 4 EMB, el sitio 5 MAN y el sitio 1 DRC fueron los de mayor emisión con valores promedio de 0.6103, 0.5728 y 0.4210 mg m⁻² h⁻¹ respectivamente; bastante lejanos de los valores de 0.0336 y 0.0106 del sitio 3 PDC y el sitio 2 LEM respectivamente.

Con respecto al CO₂, abril y enero son los meses en los que se registraron los valores promedio más bajos de emisión 0.1215 y 0.0772 mg m⁻² h⁻¹ respectivamente, ambos meses dentro del periodo de estío. Asimismo, solo durante el mes de noviembre hubo captura de CO₂ con un valor de -0.2171 mg m⁻² h⁻¹.

El estudio muestra también que el sitio 1 DRC es el lugar donde se registró la mayor emisión de CO₂ (1.2419 mg m⁻² h⁻¹), seguido del sitio 5 MAN y el sitio 2 LEM con valores de 0.6214 y 0.5716 mg m⁻² h⁻¹ respectivamente; el

sitio 3 PDC reporta menor emisión $0.0762 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ y solamente se encontró un sitio que captura carbono, el sitio 4 EMB con valor de $-0.077 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

Discusión y conclusiones.

Se ha encontrado que se producen grandes concentraciones de CH_4 en los humedales que contienen materia orgánica acumulada en el suelo (Arah y Stephen, 1998), en ese sentido, en los suelos de los trópicos y de los humedales, la producción anual puede llegar a ser del 24% de CH_4 (Allen, Dalal, Rennenberg, Meyer, Reeves y Schmidt, 2007).

Por su parte, la Laguna de Coyuca actúa como un emisor de CH_4 , con un promedio anual de 32.7 mg L^{-1} ; los sitios de estudio ubicados en los sitios de muestreo EMB y MAN fueron los que registraron los valores más elevados con 60.6 y 56.9 mg L^{-1} respectivamente y en menor cantidad en los sitios de muestreo ubicados del lado cercano del litoral marítimo. Ésta condición se debe a los arrastres de materia orgánica de los ríos y arroyos que ocurre en mayor medida durante el periodo de lluvias y a la sedimentación de esta en el cuerpo lagunar.

En un estudio similar, realizado por Mendoza et al. (2013) en las lagunas de Chautengo y de Tres Palos en el estado de Guerrero, reportan valores en agua de superficie para el CH_4 de 13 a 21 ppm y de 39 a 56 ppm respectivamente. Dado que el valor promedio obtenido para la laguna de Coyuca es de 32.7 mg L^{-1} ($1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg L}^{-1}$) se deduce que el comportamiento de emisión de esta laguna se encuentra en la parte media entre las dos lagunas anteriormente mencionadas.

Otros autores afirman que existe una gran variabilidad en las emisiones de metano, que no parecen seguir un patrón climático o latitudinal, aunque sí se aprecian variaciones estacionales. El hecho de que no se observe una relación lineal entre la emisión de metano y la temperatura del suelo a escala mundial, sugiere que las condiciones locales son muy importantes en el control de las emisiones de metano (Ortiz-Llorente y Álvarez-Cobelas, 2012). De este modo, en este estudio se encontró que la emisión de metano aumenta precisamente en los meses de lluvias, cuando la cantidad de agua es mayor en este ecosistema acuático.

De acuerdo con los datos obtenidos, el promedio anual de la emisión de CH_4 en la laguna de Coyuca es de $0.3297 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, valor que se encuentra dentro del parámetro de 0 a $93 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ reportado en un estudio sobre un humedal construido en la República Checa, utilizando la misma metodología (Agilent 6890) para la cuantificación del CH_4 (Pícek; Čížková y Dušek, 2007).

Ortiz-Llorente y Álvarez-Cobelas (2012), realizaron una revisión de la literatura de los datos cuantitativos entre sistemas, en las emisiones de metano relacionadas con picos de emisiones [PE] y emisiones anuales [AE] en cinco tipos de ecosistemas: estuarios, lagos, océanos, ríos y humedales. Los PE abarcaron ocho órdenes de magnitud (0.015 microgramos $\text{CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ a $300 \text{ mg CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), mientras que AE abarcó siete (0.078 a $19.044 \text{ g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ año}^{-1}$).

Mendoza et al. (2013), reporta valores de emisión de CH_4 de $0.0135 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para la laguna de Chautengo y $1.95 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para la laguna de Tres Palos. En este estudio se registró que el promedio de emisión/captura de CH_4 para la laguna de Coyuca es de $0.3297 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, siguiendo

el comportamiento intermedio de emisión entre ambas lagunas mencionadas, igual que el de emisión de este elemento en la parte superficial, como se discutió anteriormente.

El valor promedio de emisión de CH_4 en la laguna de Coyuca ($0.3297 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) se encuentra en concordancia con los valores reportados por Cheng, Peng, Chen, Luo, Zhang, An y Li (2007) quienes estudiaron las emisiones de CH_4 y N_2O procedentes de un humedal construido (mesocosmos) plantado con *Alterniflora sp.* y *Phragmites australis*, en este estudio se obtuvieron valores que van desde 0.16 a $1.12 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ de CH_4 .

Por otro lado, con respecto a los flujos de CO_2 , el sitio 1 DRC y el sitio 5 MAN se comportan como emisores de CO_2 a la atmósfera, en tanto que el sitio 3 PDC y 4 EMB actúan como receptores de CO_2 , mientras que el sitio 2 LEM mantuvo un equilibrio entre la emisión/captura del CO_2 durante los meses de estudio.

El promedio anual de emisión de CO_2 de la laguna de Coyuca fue de $0.4868 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, en donde los valores de emisión (positivos) y valores de captura (negativos) fueron registrados. Los primeros, debido a la actividad respiratoria de las especies acuáticas animales que producen CO_2 y la captura se le atribuyen principalmente a la actividad fotosintética de las microalgas presentes en el ambiente acuático del ecosistema.

Aunque (DRC) es el sitio de mayor emisión de CO_2 a la atmósfera con $1.24 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$, se encuentra por abajo de los valores reportados por Pícek et al. (2007), quienes registraron valores de 4 a $309 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ para un humedal construido con flujo subsuperficial horizontal plantado con *Phragmites australis*.

Por su parte, Mendoza et al. (2013) en la laguna de Chautengo reportó valores de CO_2 emitido de $1.05 \text{ mg/m}^2/\text{h}$, mientras que para la laguna de Tres Palos fue de $0.045 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$; de tal forma, en este estudio se registró un valor promedio anual de emisión/captura de $0.49 \text{ mg m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ en la laguna de Coyuca, por lo que también con respecto al CO_2 , presenta un comportamiento intermedio en comparación de lagunas estudiadas.

Se recomienda seguir el monitoreo de la emisión/captura de CH_4 y CO_2 en los ecosistemas acuáticos costeros para vigilar su comportamiento. Además es necesario desazolver la parte Este de la laguna, particularmente en El Embarcadero (EMB) y la zona de mangle (MAN), donde se encuentra la mayor cantidad de materia orgánica acumulada, para reducir la cantidad de emisión de CH_4 que el ecosistema produce de manera natural.

Ante las posibles repercusiones del cambio atmosférico y climático, una gran atención se le debe prestar a los ecosistemas acuáticos como potenciales emisores naturales de CH_4 y sumideros del exceso de CO_2 emitido por la actividad humana, que permita la preservación de un recurso común tan importante para la vida como es la atmósfera.

Agradecimientos

A la Dra. Telma Castro Romero, a la Dra. Ma. de la Luz Espinoza Fuentes y al Quím. José Manuel Hernández Solís del grupo de Aerosoles Atmosféricos del CCA-UNAM por las facilidades brindadas para la lectura de las muestras.

Referencias

- 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.
- Arah, J.R.M., Stephen, K.D. (1998). A model of the processes leading to methane emission from peatland. *Atmospheric Environment*, 32(19), 3257 – 3264.
- Cheng, X., Peng, R., Chen, J., Luo, Y., Zhang, Q., An, S. y Li, B. (2007). CH₄ and N₂O emissions from *Spartina alterniflora* and *Phragmites australis* in experimental mesocosms. *Chemosphere*, 68, 420-427.
- Contreras, F. (1993). *Ecosistemas costeros mexicanos.*, División de Ciencias Biológicas y de la Salud. México. UAM-I. p. 415.
- García-Sánchez, I. J. (2013). 5° Informe del IPCC. La Certeza de Una Herencia. El Calentamiento Global. Obtenido de: http://www.ieee.es/Galerias/fichero/docs_analisis/2013/DIEEEA51-2013_CertezaCalentamientoGlobal_IJGS.pdf. 15/06/2014.
- Hernández M. E. (2010). Suelos de Humedales como Sumideros de Carbono y Fuentes de Metano. *Terra Latinoamericana* 28 (2), 139-147.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2002). Cambio Climático y Biodiversidad. Documento técnico V del IPCC. PNUMA. 93p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2013). Cambio Climático Base de la Ciencia Física. WGI Technical Support Unit. University of Bern Suiza.
- Mendoza-Mojica M., Martínez A., Espinoza Ma. De la L. Peralta O. y Castro 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. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, 29 (2), 145-154.
- Monreal, P.A. (1991). *Evaluación de la concentración de la clorofila a fitoplanctónica estacional en la laguna de Coyuca de Benítez, Guerrero, utilizando técnicas hidrobiológicas y de percepción remota.* Tesis de licenciatura, UNAM, Mexico D.F., Mexico. p. 175.
- Organización Meteorológica Mundial (2013). El estado del Clima Mundial 2001-2010. Un Decenio de Fenómenos Climáticos Extremos. No. 1119. Informe Resumido. Suiza, p. 20. Obtenido de: http://library.wmo.int/pmb_ged/wmo_1119_es.pdf. 12/02/2015.
- Ortiz-Llorente M. J., Álvarez-Cobelas, M. (2012). Comparison of Biogenic Methane emissions from unmanaged Estuaries, Lakes, Oceans, Rivers and Wetlands. *Atmospheric Environment*.
- Picek T.; Čížková H. y Dušek J. (2007). Greenhouse gas emissions from a constructed wetland—Plants as important sources of carbon. *Ecological Engineering*, (31), 98–106. 69.
- Radford, T. (2014). Los humedales y las emisiones de metano. The Ecologist ENN. Obtenido de: http://www.enn.com/top_stories/article/47208/print. 13/02/2015.
- Tovilla-Hernández, C.; Mora-Corro S. A.; Rojas-García J. y Vázquez-Lule A. D. (2009). Caracterización del sitio de manglar Coyuca – Mitla. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). Sitios de manglar con relevancia biológica y con necesidades de rehabilitación ecológica. CONABIO, México, D.F. Obtenido de: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/manglares/doctos/caracterizacion/PS22_Coyuca_Mitla_caracterizacion.pdf. 03/10/2014.
- Zhu, N. An, P., Krishnakumar B., Zhao, L, Mizouchi M. e Inamori Y. (2007). Effect of plant harvest on methane emission from two constructed wetlands designed for the treatment of wastewater. *Environ Manage*, 85 (4), 936-43.