

## Emisión de gases de efecto invernadero en sedimentos de manglar con diferente estado de deterioro

Karen Patricia Ibarra Gutiérrez, Julián Betancourt Portela, Carlos Villamil Echeverri, Laura Perdomo Trujillo  
Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras "José Benito Vives de Andrés" – INVEMAR. Programa de Calidad Ambiental Marina-CAM.

Copyright 2012, ALAGO.

Este papel fue seleccionada para la presentación de un Comité técnico de ALAGO siguiente examen de la información contenida en un resumen presentado por los autores.

Dentro de los servicios ambientales que proveen los manglares, se destaca su papel como reguladores del clima local, recicladores de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y fuentes de materia orgánica e inorgánica [1]. Además, tienen un efecto sobre el clima global, debido a que son fuentes potenciales de metano ( $\text{CH}_4$ ) hacia la atmósfera, especialmente en sitios donde hay una alta intervención [2].

La medición de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) en ecosistemas de manglar, es actualmente de gran interés a nivel mundial, para determinar con exactitud los flujos globales de estos gases de efecto invernadero (GEI). El IPCC argumenta que con la revolución industrial las concentraciones de  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{CH}_4$  presentaron una tendencia de aumento, que, aunque están en menor concentración que el  $\text{CO}_2$ , advierten mayor preocupación ya que su potencial de calentamiento es mucho [3].

Considerando el estado actual de los bosques de la CGSM, donde se puede encontrar diferentes grados de perturbación, se estudió el papel de los manglares de la CGSM como fuentes o sumideros de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  y se evaluó si existían variaciones con relación a las épocas climáticas (lluvia, sequía) o al grado de deterioro del ecosistema.

El estudio demostró que en la CGSM, los manglares conservados se comportan como sumideros de carbono, mientras que los sitios degradados se comportan como emisores netos. La información obtenida será relevante para soportar decisiones sobre manejo y conservación de estos ecosistemas dada su importancia en el ciclo del carbono, además de todos los demás servicios ambientales y económicos que ofrece el manglar.

### Área de Estudio

La CGSM es el sistema lagunar estuarino más grande e importante de Colombia localizado en la costa Caribe entre los  $10^\circ 43'$  y los  $11^\circ 00'$  latitud Norte y los  $74^\circ 16'$  y  $74^\circ 38'$  longitud Oeste. El área conocida también como llanura deltaica del río Magdalena, se extiende desde el piedemonte de la Sierra Nevada de Santa Marta hasta el río Magdalena. El sistema está constituido por el espejo lagunar principal llamado Ciénaga Grande, varias lagunas interconectadas por canales conocidas como Complejo de Pajarales y una barra de arena llamada Isla de Salamanca, que limita la región con el mar Caribe.

El estudio se realizó en 4 estaciones localizadas en el área de manglar de la CGSM (Figura 1), seleccionadas según el grado de intervención y deterioro de sus bosques (Tabla 1).



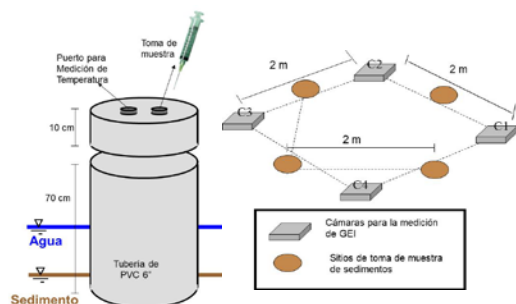
Figura 1. Ubicación de las estaciones de muestreo

Tabla 1. Descripción estaciones de muestreo

Estación	Ubicación	Características
Sevilla (SEV)	$10^\circ 52' 46.0''$ $74^\circ 19' 30.3''$	Ubicada en el costado nororiental de la CGSM, aledaña al margen norte de la desembocadura del río Sevilla. Bosque maduro, poco denso, bien conservado, sin evidencias de perturbación, dominado por árboles de <i>Avicennia germinans</i> , con un borde de <i>Rhizophora mangle</i> y en menor proporción <i>Laguncularia racemosa</i> .
Rinconada (RIN)	$10^\circ 57' 41.4''$ $74^\circ 29' 37.6''$	Ubicada al noroccidente de la CGSM, en la orilla sur de la desembocadura del canal Clarín. Bosque bien conservado con bajo nivel de perturbación. El bosque es dominado por <i>A. germinans</i> mezclada con individuos de <i>L. racemosa</i> en menor proporción. <i>R. mangle</i> se presenta en baja densidad solo en el borde del cuerpo de agua principal.
Caño Grande (CGD)	$10^\circ 51' 42.8''$ $74^\circ 28' 52.9''$	Localizada a 500 m al norte de la desembocadura de Caño Grande en la CGSM. Presenta un estado intermedio de perturbación con árboles de <i>A. germinans</i> , <i>R. mangle</i> y <i>L. racemosa</i> . En esta zona la cobertura de mangle se recuperó exitosamente debido al establecimiento de plantaciones protectoras de <i>R. mangle</i> en el año 2000.
Ahuyama (AHU)	$10^\circ 50' 14.1''$ $74^\circ 32' 39.9''$	Ubicada en el occidente de la CGSM, en el área del Complejo de Pajarales donde se presentó el mayor nivel de perturbación del sistema. Si bien, no existe obertura de bosque, se evidencia un proceso de regeneración natural de las áreas anteriormente ocupadas con manglar.

## Materiales y Métodos

Se midió la emisión diurna de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y CO<sub>2</sub>, desde septiembre de 2010 hasta noviembre de 2011, en las cuatro estaciones de estudio, mediante la técnica de cámaras cerradas dispuestas sobre el sedimento (Figura 2) [2], [4] y [5].



**Figura 2. Cámara para la determinación de los flujos de CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y ubicación en los sitios de muestreo.**

Los flujos se determinaron midiendo el gradiente de concentración de cada gas en el tiempo, por tanto se recolectaron muestras de aire (Figura 2) a los 0, 3, 6 y 9 minutos.

Se determinaron las concentraciones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en un cromatógrafo de gases (Shimadzu GC2014) con detectores de ionización de llama (FID) y captura de electrones (ECD) respectivamente. El CO<sub>2</sub> se determinó mediante espectrofotometría infrarroja con un equipo Qubit. Las calibraciones se realizaron con mezclas estándares de aire comprimido en concentraciones de 1 a 100 ppb<sub>v</sub> de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>; y de 0 a 1 ppb<sub>v</sub> de N<sub>2</sub>O [6]. Las técnicas fueron validadas para determinar los parámetros de calidad de los ensayos.

El flujo promedio para los gases fue calculado mediante la ecuación (1).

$$Flujo_{(GEI)} = \frac{\Delta C_{concentración}}{\Delta t_{tiempo}} \cdot V_{Cámara} / A_{área} = \frac{(C_2 - C_1)}{(t_2 - t_1)} \cdot H_a \quad (1)$$

Donde:

Flujo<sub>(GEI)</sub>: es el flujo de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ó CO<sub>2</sub> en (mg/ m<sup>2</sup>h)  
H<sub>a</sub>: es la altura de la cámara sobre la interface aire-agua, en m.  
t<sub>2</sub> y t<sub>1</sub>: representan el tiempo de toma de muestra en horas.  
C<sub>1</sub> y C<sub>2</sub>: representan las concentraciones iniciales y finales de CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O ó CO<sub>2</sub> en mg/m<sup>3</sup>.

Se estimaron las emisiones de CO<sub>2</sub>-equivalente (CO<sub>2</sub>-eq), con la que se ajusta la emisión de otros gases en términos de CO<sub>2</sub>,

y se calcula mediante la ecuación 2 [3] y se expresa en mg/m<sup>2</sup>h.

$$F_{CO_2-Equiv.} = F_{N_2O} \cdot 296 + F_{CH_4} \cdot 23 + F_{CO_2} \quad (2)$$

Para realizar los balances, fue necesario cuantificar la emisión acumulada anual en cada estación, obtenida como el producto del flujo por el área de control (1 ha), durante un año de acuerdo a la ecuación 3 (*Flux<sub>n</sub>* es el flujo instantáneo: CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub> ó CO<sub>2</sub>-eq, determinados en el día *d<sub>n</sub>*).

$$Emisión_{acumulada(g/ha)} = \sum_{n=1}^{365} (Flux_n + Flux_{n-1}) (0,5) (10) (24) (d_n - d_{n-1}) \quad (3)$$

## Resultados y Discusión

### Emisión de metano (CH<sub>4</sub>)

En términos generales los flujos de CH<sub>4</sub> en las cuatro estaciones fueron CGD>SEV>RIN>AHU, siendo más altos en CGD, con valores entre -0,43 y 1923,36 mg/m<sup>2</sup>h, y menores en AHU (-6,15 a 861,18 mg/m<sup>2</sup>h). SEV y RIN registraron valores promedio de 246,0 ± 446,9 y 219,6 ± 315,8 mg/m<sup>2</sup>h, respectivamente. La variabilidad en el flujo de metano fue alta, sin embargo, se presentó mayor emisión al inicio y final del monitoreo, periodos más lluviosos.

La magnitud de la emisión de CH<sub>4</sub> en AHU fue aproximadamente 4-7 veces menor que en las otras estaciones, como consecuencia de los bajos ingresos de materia orgánica por la ausencia de bosque de manglar. Además, la materia orgánica del bosque muerto lleva más de tres décadas en degradación, por lo cual este material es cada vez más recalcitrante y menos disponible para la biodegradación.

### Emisión de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O)

Si bien, el N<sub>2</sub>O se presentó en menor concentración, su importancia radica en que posee el mayor potencial de calentamiento global (296 mayor que el CO<sub>2</sub>).

Los flujos más altos se obtuvieron en RIN y SEV, con valores entre -0,55 a 1,70 y -1,10 a 1,73 mg/m<sup>2</sup> h, respectivamente. AHU y CGD presentaron flujos en magnitud similar (-1,28 a 0,55 y de -0,96 a 0,56 mg/m<sup>2</sup>h, respectivamente). Los sedimentos en las cuatro estaciones se comportan como sumideros y emisores de N<sub>2</sub>O, con un registro de RIN>SEV≈CGD≈AHU y concentraciones promedio de 0,17 ± 0,45; 0,06 ± 0,38; -0,02 ± 0,27 y -0,03 ± 0,28 mg/m<sup>2</sup>h,

respectivamente. Igual que el  $\text{CH}_4$ , la variabilidad en el flujo de  $\text{N}_2\text{O}$  fue alta, todas las estaciones se comportaron por momentos como fuentes y como sumideros, sin embargo, se presentó mayor amplitud en los rangos de los flujos en los meses intermedios del monitoreo, que correspondieron a los meses menos lluviosos.

### ***Emisión de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )***

La magnitud de los flujos de  $\text{CO}_2$  fue similar a la del  $\text{CH}_4$ , sin embargo, los sedimentos de las cuatro estaciones se comportaron por momentos como emisores y como sumideros de  $\text{CO}_2$ .

En términos generales los flujos más altos de  $\text{CO}_2$  se obtuvieron en RIN y AHU que se comportaron principalmente como emisoras de este gas, con rangos entre -1683,9 a 2005,2 y -295,0 a 1839,2  $\text{mg/m}^2\text{h}$ , respectivamente. Por su parte SEV y CGD se comportaron como sumideros (-1719,7 a 1415,5 y -2772,2 a 338,0  $\text{mg/m}^2\text{h}$ ). Los flujos se determinaron como  $\text{AHU} \approx \text{RIN} \approx \text{SEV} > \text{CGD}$ , con concentraciones promedio de 129,8  $\pm$  465,6; 117,9  $\pm$  594,0; -64,6  $\pm$  544,8 y -245,6  $\pm$  593,0  $\text{mg/m}^2\text{h}$ , respectivamente.

Si bien, no se encontraron diferencias significativas entre los flujos medidos en la época lluviosa y la época seca para las cuatro estaciones de muestreo, se presentó mayor amplitud en los rangos de los flujos al principio y al final del monitoreo, que correspondieron a los meses más lluviosos. Para la época seca CGD presentó el flujo promedio más bajo (-127,4  $\pm$  162,5  $\text{mg m}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) de las cuatro estaciones comportándose como sumidero de  $\text{CO}_2$ .

### ***Emisión total como $\text{CO}_2$ equivalente ( $\text{CO}_2\text{-eq}$ )***

Los flujos de  $\text{CO}_2\text{-eq}$  tienen una correlación alta con los de  $\text{CH}_4$  en las cuatro estaciones de muestreo (coef. Pearson > 0,83), a pesar de no tener el mayor potencial de calentamiento global (23), sus magnitudes son mayores comparadas con las del  $\text{N}_2\text{O}$  (entre 5 y 1600 veces).

En términos generales los flujos más altos de  $\text{CO}_2\text{-eq}$  se obtuvieron en la estación CGD, con valores entre -1272,4 y 44299,5  $\text{mg/m}^2\text{h}$  y los menores en la estación AHU (-355,2 a 19856,6  $\text{mg/m}^2\text{h}$ ). Los sedimentos en las cuatro estaciones se comportaron gran parte del año como emisores netos de  $\text{CO}_2\text{-eq}$ , con registro de  $\text{CGD} > \text{RIN} > \text{SEV} > \text{AHU}$  y concentraciones promedio de 8449,8  $\pm$  9027,0; 5091,4  $\pm$  7474,8; 4441,7  $\pm$  5444,0 y 1339,2  $\pm$  3497,0  $\text{mg/m}^2\text{h}$ , respectivamente. La variabilidad en el flujo de  $\text{CO}_2\text{-eq}$  es alta, sin embargo,

presentó mayor emisión en los primeros meses y al final del monitoreo, que correspondieron a los períodos con mayor pluviosidad.

RIN y SEV presentaron diferencias significativas entre épocas ( $P < 0,001$ ), los flujos en época seca fueron menores, con valores promedio de 1277,2  $\pm$  2000,2  $\text{mg/m}^2\text{h}$  en RIN y 1618,2  $\pm$  1624  $\text{mg/m}^2\text{h}$  en SEV, y se incrementaron en la época lluviosa 5,8 y 3,4 veces, respectivamente.

Entre estaciones se encontraron diferencias dependiendo de la época, en lluvias AHU presentó el flujo promedio más bajo (758,5  $\pm$  1093,9  $\text{mg/m}^2\text{h}$ ), mientras que en la época seca los flujos más bajos se reportaron en RIN (1618,2  $\pm$  1624  $\text{mg/m}^2\text{h}$ ) y los más altos en CGD (8336,6  $\pm$  5738,8  $\text{mg/m}^2\text{h}$ ).

### ***Relación de los flujos de GEI con otros estudios***

Los flujos de  $\text{CH}_4$  determinados para la CGSM se encuentran entre los más altos registrados en la literatura [9, 10, 11], no obstante, están en el mismo orden a las reportadas en la laguna costera del Nakaumi- Japón, que una marisma de baja salinidad (2,2  $\pm$  0,5) con alta productividad [7].

Varios estudios indican que en los sedimentos de agua dulce, la concentración de sulfato y nitrato es baja, por lo que la metanogénesis es dominante y responsable de la mineralización del carbono orgánico en los sedimentos. La CGSM durante el período de muestreo se caracterizó por tener la salinidad más baja de los últimos 10 años (máximo 15) como consecuencia de las altas precipitaciones y el evento de la Niña [8] lo que podría explicar el incremento de los flujos de hasta 14 veces con relación a los medidos en 2005 [9].

En comparación con otros manglares, las emisiones en la CGSM están en el rango de los registros de C en suelos de bosques de manglar con 20 años de deforestación en las islas de Cayos Gemelas, Belice [12], donde hallaron tasas de emisión para los años 1 y 20 de 28,9 y 8,2  $\text{tC/ha.a}$ , respectivamente.

### **Conclusiones**

Las estimaciones de gases sugieren que los cuatro sitios de manglar en la CGSM son fuente importante de GEI.

Para el  $\text{N}_2\text{O}$  y  $\text{CO}_2$  los flujos fueron del mismo orden a los registrados en otros manglares; los flujos de  $\text{N}_2\text{O}$  siguieron un comportamiento de  $\text{RIN} > \text{SEV} \approx \text{CGD} \approx \text{AHU}$  y los de  $\text{CO}_2$   $\text{AHU} \approx \text{RIN} \approx \text{SEV} > \text{CGD}$ .

En términos de la emisión de CO<sub>2</sub>-eq las estaciones se comportaron de la siguiente manera CGD > SEV ≈ RIN > AHU. El sitio más degradado AHU es el que menos emite GEI desde el sedimento, sin embargo la gran cubierta forestal de las otras estaciones en última instancia, disminuye la emisión total de C hasta convertirla en captura neta.

Existe una variación espacial muy alta, tanto dentro, como entre bosques de manglar. Por esta razón, un solo sitio o estación en cualquier bosque de manglar, está lejos de ser representativo de todas las áreas de manglar. Debido a esta variabilidad inherente del sistema, las generalizaciones son difíciles de hacer y de ser posible, deben estar soportadas por suficientes datos. Sin embargo, a pesar de las grandes incertidumbres de estas estimaciones, los resultados apoyan la importancia de los humedales costeros y su necesidad de protección y restauración.

### Agradecimientos

Los autores agradecen al apoyo logístico y financiero del proyecto “Balance de gases de efecto invernadero (GEI) en áreas de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta”, realizado por INVEMAR y cofinanciado por Colciencias; y a la Dra. María del Pilar Hurtado por el apoyo técnico para la implementación de las técnicas analíticas para la medición de gases.

### Referencias

- [1] Sánchez-Páez H., R. Álvarez-León, F. Pinto-Nolla, A. S. Sánchez-Alfárez, J.C. Pino-Renjifo, I. García-Hansen y M.T. Acosta-Peñaloza. 1997. *Diagnostico y Zonificación Preliminar de los Manglares del Caribe de Colombia*. Proy. PD 171/91 Rev.2 (F) Fase I. Conservación y Manejo Para el Uso Múltiple de los Manglares de Colombia, MinAmbiente/OIMT. Bogotá D. C. 511 p.
- [2] Purvaja R. y R. Ramesh, 2001. Natural and anthropogenic methane emission from coastal wetlands of south India. *Environmental Management*. **27**(4): 547 – 557.
- [3] IPCC, 2001. Intergovernmental Panel on Climate Change. The scientific basis. Contribution of Working Group I to the third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge. UK.
- [4] Muñoz-Hincapié, M., J.M. Morell, J.E. Corredor. 2002. Increase of nitrous oxide flux to the atmosphere upon nitrogen addition to red mangroves sediments. *Marine Pollution Bulletin* **44**: 992–996.
- [5] Alongi, D.M, J. Pfitzner, L.A. Trott, F. Tirendi, P. Dixon, y D.W. Klumpp. 2005. Rapid sediment accumulation and microbial mineralization in forests of the mangrove *Kandelia candel* in the Jiulongjiang Estuary, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **63**: 605-618.
- [6] Corredor J.E., J. M. Morell y J Bauza, 1999. Atmospheric nitrous oxide fluxes from Mangrove Sediments. *Marine Pollution Bulletin* **38** (6): 473-478.
- [7] Hirota M, Y. Senga, Y. Seike, S. Nohara y H. Kunii. 2007. Fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in two contrastive fringing zones of coastal lagoon, Lake Nakaumi, Japan. *Chemosphere*; **68**:597–603.
- [8] Cadavid, B.C., P.A. Bautista, L.F. Espinosa, A.J. Hoyos, A.M. Malagón, D.Mármol, A.M. Orjuela, J.P. Parra, L.V. Perdomo, M. Rueda, C.A. Villamil y E.A. Viloría. 2011. *Monitoreo de las condiciones ambientales y los cambios estructurales y funcionales de las comunidades vegetales y de los recursos pesqueros durante la rehabilitación de la Ciénaga Grande de Santa Marta*. INVEMAR. Informe Técnico Final. Santa Marta 127 p.+ anexos.
- [9] Betancourt, J.M., J.P. Parra y C.Villamil. 2012. Emisión de metano y óxido nitroso de los sedimentos de manglar de la Ciénaga Grande de Santa Marta, caribe colombiano. *Bol de Investigaciones Marinas y Costeras*. En prensa.
- [10] Mukhopadhyay, S.K., H. Biswas, T.K. De, B.K. Sen, S. Sen y T.K. Jana. 2002. Impact of Sundarban mangrove biosphere on the carbon dioxide and methane mixing ratios at the NE Coast of Bay of Bengal, India. *Atmospheric Environment*. **36**: 629–638.
- [11] Chen, G.C., N.F.Y. Tam y Y. Ye. 2010. Summer fluxes of atmospheric greenhouse gases N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> from mangrove soil in South China. *Science of the Total Environment* **408**: 2761–2767.
- [12] Lovelock C.E., R.W. Ruess y I.C. Feller. 2011. CO<sub>2</sub> efflux from cleared mangrove peat. *PLOS One*. **6**: 1-4.