

## Adaptaciones metodológicas de muestreo para la cuantificación de gases de efecto invernadero en embalses de montaña.

<sup>1</sup>Juan Gabriel León \*, <sup>2</sup>Frédéric Guérin, <sup>1</sup>Edna Lized Melo, <sup>1</sup>Sandra Loaiza

<sup>1</sup>Grupo Ecología y Contaminación Acuática, Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira. Carrera 32 No 12 - 00 Chapinero, Vía Candelaria. Palmira. Colombia. <sup>2</sup>Laboratoire d'Aérodologie-OMP, Université Paul Sabatier, CNRS-UMR 5560, 14 Avenue E. Belin, F-31400 Toulouse, France. \* Autor de correspondencia: jgleonh@unal.edu.co

**Palabras clave:** Ciclo del carbono, emisiones CH<sub>4</sub>, emisiones CO<sub>2</sub>, embalses tropicales, Calentamiento global.

Hasta hace muy poco, la energía hidroeléctrica comparada con las energías térmicas era considerada como una energía limpia desde el punto de vista de los gases de efecto invernadero (GEI). Ahora, la construcción y la explotación de sistemas de embalses se enmarcan en el contexto de una importante modificación de uso del suelo a causa de una actividad que es básicamente antrópica. En efecto, las barreras de estos sistemas modifican la distribución de los ecosistemas al transformar un ecosistema fluvial y terrestre en uno acuático lacustre. Los flujos resultantes de los GEI, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>), entre las superficies continentales, las aguas continentales y la atmósfera son completamente modificados: se suprime la absorción de CO<sub>2</sub> por la vegetación continental (deforestación y muerte de árboles ahogados, eliminación de la vegetación del fondo del reservorio), la materia orgánica (M.O.) presente en los suelos ahogados es mineralizada siguiendo nuevas dinámicas (por ejemplo, mineralización anaerobia) generando GEI que son emitidos hacia la atmósfera y, finalmente, la M.O. particular que es transportada por los ríos desde los continentes hacia los océanos es atrapada por las barreras de los embalses. A lo largo de la última década, las retenciones de estos sistemas han sido identificados como fuentes de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> para la atmósfera, bien sea en zona boreal, intermedia o tropical (Abril et al., 2005 y Tremblay y Bastien, 2009). A escala global, los embalses contribuyen entre un 4% y 12% de emisiones de origen antrópico de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> respectivamente. Un 90% de estas emisiones de CH<sub>4</sub> tendrían lugar en la región tropical (Lima et al., 2008). Estas estimaciones están basadas en un número limitado de datos adquiridos únicamente en embalses y represas tropicales de América del Sur, así como una estimación de superficies inundadas poco precisas (Downing et al., 2006). Diferentes estudios liderados por el Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia – IRD y la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira han propuesto el análisis de las fuentes de carbono, así como los procesos físicos y biológicos que están al origen de las emisiones de GEI sobre diferentes sistemas de embalses de la zona tropical en Colombia. Nuestras experiencias en este dominio de la ciencia nos han permitido desarrollar y adaptar cada uno de los aspectos metodológicos que deben ser tenidos en cuenta para la cuantificación de emisiones de GEI con origen en estos tipos de ecosistemas y que ahora presentamos de manera sintetizada en este documento.

### Metodología

El desarrollo y ajuste de las adaptaciones metodológicas que aquí se presentan son el resultado de un conjunto de experiencias adquiridas en campo y laboratorio a lo largo de dos años de trabajo sobre diferentes tipos de embalses de montaña. Particularmente, el Proyecto GEITRO, liderado por la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira y el IRD, cuyo objetivo principal tiene que ver con la reconstitución del ciclo local del carbono en los embalses de Calima y Riogrande II, ha permitido consolidar los aspectos metodológicos indispensables para la cuantificación de emisiones de GEI en dichos sistemas acuáticos.

### Resultados

Las diferentes experiencias indican que para la cuantificación de emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en embalses es necesario considerar: la evolución de las concentraciones de los gases en la columna de agua, los flujos difusivos que tienen lugar entre la superficie del agua y la atmósfera, así como flujos de ebullición de CH<sub>4</sub> provenientes directamente desde el sedimento hacia la superficie. Tales evo-

luciones deben ser monitoreadas durante al menos doce meses consecutivos en: (1) aguas arriba de los cauces que surten el sistema, (2) dentro del cuerpo de agua (presa, captación y otras zonas representativas) y, (3i) aguas abajo de la salida de las turbinas de generación eléctrica.

**Concentraciones de gases en la columna de agua.** Para cada uno de los puntos de control se tomaron muestras de agua, en viales de 20 ml libres de aire, a profundidades representativas en función de la variación de la profundidad total. Las concentraciones de GEI disueltas en la columna de agua son analizadas por cromatografía de gases con preparación previa de cada muestra usando la técnica del *HeadSpace* (Guérin et al., 2007).

**Flujos difusivos.** Los flujos difusivos de GEI son determinados por medio de la metodología de cámaras flotantes (Guérin et al., 2007). El método consiste en el desplazamiento natural de las cámaras durante cuarenta y cinco minutos. Se envasan muestras del aire contenido en las cámaras en viales de 10 ml (una muestra para CH<sub>4</sub> y otra para CO<sub>2</sub>) cada quince minutos. De esta manera se obtienen muestras de los gases emitidos desde la interface superficie-atmósfera.

**Flujos de ebullición.** Los flujos de ebullición de CH<sub>4</sub> no disuelto son capturados por sistemas de embudos flotantes dispuestos en la zona litoral del cuerpo de agua en función de un gradiente de profundidad menor que 10 m. Los sistemas, cuya cobertura puede variar entre 30 m<sup>2</sup> y 40 m<sup>2</sup>, son instalados durante al menos 12 h consecutivas en cada muestreo. Las concentraciones son obtenidas directamente en campo al medir la cantidad de gas contenido en cada embudo. Posteriormente el conjunto de mediciones es extrapolado sobre la totalidad del cuerpo de agua. Para todos los casos (concentraciones, flujos difusivos y de ebullición) cada muestra es analizada con cromatógrafo en fase gaseosa equipado con detector de ionización de llama para CH<sub>4</sub> y metanizador conjunto para el CO<sub>2</sub>. Las concentraciones de gas son deducidas a partir de las lecturas cromatográficas debidamente calibradas con estándares a concentraciones conocidas. Finalmente, las concentraciones son transformadas en emisiones mediante las ecuaciones presentadas por Yamamoto et al. (1976) para CH<sub>4</sub> y en Weiss (1976) para CO<sub>2</sub>.

## Conclusión

Las adaptaciones metodológicas ajustadas como resultado de varios estudios en relación con la reconstitución local del ciclo del carbono han llevado a la formulación de protocolos para la cuantificación de GEI en sistemas lénticos como son los embalses, que incluyen desde la construcción de equipos y preparación de materiales, pasando por las actividades de toma de muestras y recolección de datos, hasta el análisis en laboratorio.

## Referencias

- Abril, G.; Guérin, F.; Richard, S.; Delmas, R.; Galy-Lacaux, C.; Gosse, P.; Tremblay, A.; Varfalvy, L.; Dos Santos, M. A.; y B. Matvienko. 2005. Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-year old tropical reservoir (Petit Saut, French Guiana). *Global Biogeochem. Cycles*.19:1-16
- Downing, J. A.; Prairie, Y. T.; Cole, J. J.; Duarte, C. M.; Tranvik, L. J.; Striegl, R. G.; McDowell, W. H.; Kortelainen, P., Caraco, N. F.; Melack, J. M.; y Middelburg, J. J. 2006. The global abundance and size distribution of lakes, ponds, and impoundments. *Limnol. Oceanogr.* 51:2388 - 2397.
- Guérin, F.; Abril, G. D. Serça.; Delon, C.; Richard, S., R. Delmas; Tremblay, A.; y L. Varfalvy. 2007. Gas transfer velocities of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in a tropical reservoir and its river downstream. *J. Mar. Syst.* 66:161 - 172.
- Hein, R.; Crutzen, P. J.; y M. Heimann. 1997. An inverse modeling approach to investigate the global atmospheric methane cycle. *Global Biogeochem Cycles* 11:43 - 76
- Lima, I.; Ramos, F.; Bambace, L.; y Rosa, R., 2008. Methane Emissions from Large Dams as Renewable Energy Resources: A Developing Nation Perspective. *Mitigation Adaptation Strategies for Global Change* 13:193 - 206.
- Tremblay, A. y Bastien, J., 2009. Greenhouse gases fluxes from a new reservoir and natural water bodies in Quebec, Canada. En: Jones, J. y Faaborg, J. (eds.). *Proc. International Association of Theoretical and Applied Limnology* 30:6.
- Weiss, R. F., 1974. Carbon dioxide in water and seawater: the solubility of a non-ideal gas. *Mar. Chemis.* 2:203 - 215.
- Yamamoto, S.; Alcauskas, J. B.; y Crozier, T. E., 1976. Solubility of methane in distilled water and seawater. *J. Chemis. Eng. Data* 21:78 - 80.