

# Dinámica de las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en la presa de Valsequillo, Puebla, México

J. Adrián Saldaña Munive<sup>1</sup>, L. Gerardo Ruiz Suárez<sup>2</sup>, Ernesto Mangas Ramirez<sup>3</sup>, Rolando Rueda Luna<sup>1</sup> y J. Antonio Ticante Roldan<sup>1</sup>

Centro de Investigación en Ciencias Agrícolas<sup>1</sup>, Centro de Ciencias de la Atmósfera<sup>2</sup>, Facultad de Biología<sup>3</sup>  
Instituto de Ciencias BUAP<sup>1</sup>, UNAM<sup>2</sup>, BUAP<sup>3</sup>  
Puebla, Puebla<sup>1</sup>, Ciudad de México.<sup>2</sup>, Puebla, Puebla<sup>3</sup>; México  
adrian.saldana@correo.buap.mx

**Abstract**— The production of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in the Valsequillo dam was evaluated, where the degradation of urban waste produces it, and it accumulates through chambers, which isolate the water column (Kremer et al., 2003) where they discharge the Alseseca and Atoyac rivers and at the exit of the dam, obtaining concentrations at the beginning of 4673.87 ppm for CO<sub>2</sub> and 3174.71 ppm for CH<sub>4</sub>, and in the curtain of 499.30 ppm of CO<sub>2</sub> and 49.74 ppm of CH<sub>4</sub>. Initially the oxidation of dissolved and dispersed organics generates CO<sub>2</sub> and the depletion of dissolved oxygen and sedimentable organics in anaerobiosis produces CH<sub>4</sub>. The average concentration of the sites in the dam, allowed to calculate flows of these gases to evaluate their behavior.

**Keyword**— *greenhouse gases (GEI), anthropogenic activities, organic downloads, ecological alteration.*

**Resumen**— Se evaluó la producción de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> en la presa de Valsequillo, donde la degradación de residuos urbanos los produce, y se acumulan mediante cámaras, que aíslan la columna de agua (Kremer et al., 2003) donde descargan los ríos Alseseca y Atoyac y a la salida de la presa, obteniendo concentraciones al inicio de 4673.87 ppm para CO<sub>2</sub> y 3174.71 ppm para CH<sub>4</sub>, y en la cortina de 499.30 ppm de CO<sub>2</sub> y 49.74 ppm de CH<sub>4</sub>. Inicialmente la oxidación de orgánicos disueltos y dispersos generan CO<sub>2</sub> y el agotamiento del oxígeno disuelto y orgánicos sedimentables en anaerobiosis produce CH<sub>4</sub>. La concentración promedio de los sitios en la presa, permitió calcular flujos de estos gases para evaluar su comportamiento.

**Palabras claves**— *gases de efecto invernadero (GEI), actividades antropogénicas, descargas orgánicas, alteración ecológica.*

## I. INTRODUCCIÓN

Los Gases de Efecto Invernadero (GEI) han incrementado su acumulación en la atmósfera, propiciando el calentamiento global e impactando a los ecosistemas naturales en general, causando desequilibrios ecológicos, su presencia se debe a fuentes naturales y antropogénicas (IPCC, 2007) como los vertidos urbanos, agrícolas y ganaderos que son transportados por medio del agua y complementados por degradación de suelos y escurrimientos depositados en ecosistemas acuáticos (Rudd, Harris, Kelly y Hecky, 1993; Yang et al., 2015; Deemer et al., 2016; Ollivier, Maher, Pitfield, y Macreadie, 2019) propiciando la acumulación de orgánicos y su descomposición por actividad microbiana a diferentes profundidades de la columna de agua, con compuestos de fácil integración y estructuras simples que permanecen disueltos o dispersos en el agua o de sedimentos orgánicos complejos en el fondo de estos sistemas acuáticos, lo cual contribuye con la generación de estos gases (Rosa y Schaeffer, 1994; Arellano D. J., 2002; Roland et al., 2010; Xiaoling, et al., 2022).

Esta actividad microbiana a distintas profundidades de un cuerpo de agua es importante porque involucra procesos metabólicos desarrollados por microorganismos que influyen sobre ciclos biogeoquímicos importantes como el del carbono (Yang y Flower, 2012), generando CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> como residuos metabólicos del sistema acuático (Brock, Madigan, Martinko y Parker, 2005; Kortelainen et al., 2006).

Estos gases caracterizados como contaminantes primarios (Kiely 1999), son producto de actividades antropogénicas, que impactan a la presa de Valsequillo por la acumulación de orgánicos a lo largo de 68 años de su funcionamiento, derivados de actividades agrícolas, ganaderas y urbanas que descargan sus residuos en el río Atoyac y Alseseca (Doger, 2005) lo que ha propiciado que la presa se comporte como fuente de emisión, debido al aporte continuo de estos orgánicos y nutrientes, que promueven la producción y emisión de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$  (Abril et al., 2005; Jiménez C. B., 2001).

## II. METODOLOGÍA

### A. Trabajo de campo

Se evaluó la producción y emisión de  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ , en la presa de Valsequillo, mediante el muestreo en 5 sitios (Figura 1), utilizando dispositivos para su captura hechos en tubo PVC de 1 metro de largo, los cuales considerando la profundidad del sitio se ensamblaron, exponiendo en la superficie la tapa del dispositivo sellado herméticamente para favorecer su acumulación y aislarlo de la columna de agua (Borges et al., 2004) en la tapa se instaló un reductor pasamuros y una septa para extraer la muestra de gas mediante aguja Vacutainer (Figura 2). Se prepararon viales al vacío para tomar muestras de aproximadamente 20 ml, en 6 tiempos con 2 repeticiones a intervalos de 30 minutos, para obtener 12 viales por sitio.



Fig. 1. Área de estudio

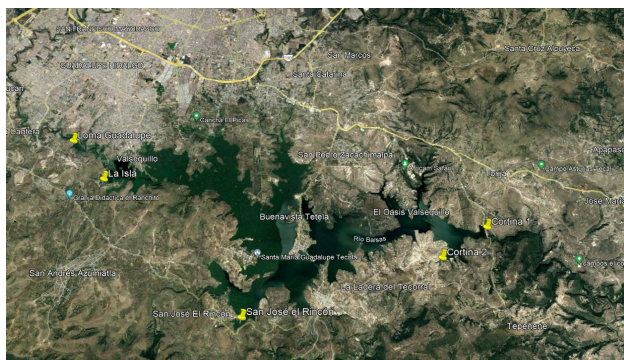


Fig. 2. Colecta de GEI en el dispositivo.

### B. Trabajo en laboratorio

Las muestras se inyectaron en un Cromatógrafo Shimadzu GC-2014 ECD/FID, (methanizer, one 10 port valve, two 4 port valve, part number: 220-90804-24), para gases de efecto invernadero, y en él se cuantificaron  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ , por medio de un detector (FID) (Figura 3). Las condiciones de trabajo del cromatógrafo fueron las siguientes: temperatura de la columna  $80^\circ\text{C}$ , temperatura del detector FID  $250^\circ\text{C}$ , flujo de la columna  $25\text{ml}/\text{min}$ , flujo de  $\text{H}_2$  en (FID)  $40\text{ml}/\text{min}$ , flujo de aire  $400\text{ml}/\text{min}$ , tiempo de retención para  $\text{CH}_4$  3.2 min, tiempo de retención para  $\text{CO}_2$  6.5 min. Las unidades de concentración se reportan en ppm. Siendo esta técnica la mayormente utilizada para el análisis de estos gases, ya que favorece una alta producción de iones de compuestos de carbono (Skoog, Holler y Nieman, 2001; Lamber y Fréchette, 2004).



Fig. 3. Cromatógrafo de gases.

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados mostraron la presencia de los 2 gases en la Presa, y el de mayor concentración en promedio fue el CO<sub>2</sub> con 3004.04 ppm y CH<sub>4</sub> con 1924.72 ppm (Tabla I), lo que se relaciona con condiciones iniciales de descomposición de orgánicos al inicio de la presa donde las descargas son excesivas y se complementan con menor volumen de agua, poca profundidad, y el agotamiento del oxígeno disuelto, lo cual indica que en el recorrido de ríos como el Atoyac y Alseseca, que reciben descargas residuales (domésticas, industriales y agrícolas) de Tlaxcala y Puebla, se encuentren saturadas con estos compuestos de diferente tamaño y complejidad, que son transportados hasta la presa donde son dispersados en la columna de agua y/o depositados en el fondo, provocando de acuerdo a las condiciones particulares al ingreso de la presa así como en la cortina (profundidad, dilución de compuestos orgánicos, volumen de agua y la cantidad de oxígeno disuelto), su descomposición, lo cual promueve la producción diferenciada y el aumento de estas emisiones, lo que también se asocia con actividades puntuales en los márgenes de la presa por asentamientos humanos o actividades agrícolas.

Tabla I. Promedio de concentración por sitio (ppm).

Sítios	Dióxido de carbono	Metano
Loma Guadalupe	7287.09	6119.45
La Isla	6109.51	2653.55
San José El Rincón	625.00	751.13
Promedio (descargas)	4673.87	3174.71
Cortina 1	505.97	12.48
Cortina 2	492.63	87.01
Promedio (final de la presa)	499.30	49.74
Promedio total	3004.04	1924.72

A partir del promedio por sitio, se calcularon flujos de emisión de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> (Tabla II) para obtener su comportamiento en la presa siguiendo el patrón de distribución de orgánicos y como de acuerdo con

el flujo de agua (Xiaoling, et al., 2022) y su trayectoria muestra patrones de acumulación o dispersión, junto con condiciones de descomposición y profundidad, que son factores determinantes del volumen de estas emisiones (Figura 4).

Tabla II. Flujos de emisión de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>.

Sitios	Dióxido de carbono	Metano
Loma Guadalupe	266243.40	172140.13
La Isla	45330.23	28690.02
San José El Rincón	11476.01	22952.02
Promedio (descargas)	107683.21	74594.06
Cortina 1	10041.51	358.62
Cortina 2	8033.21	2639.48
Promedio (final de la presa)	9037.36	1499.05
Promedio total	68224.87	45356.05

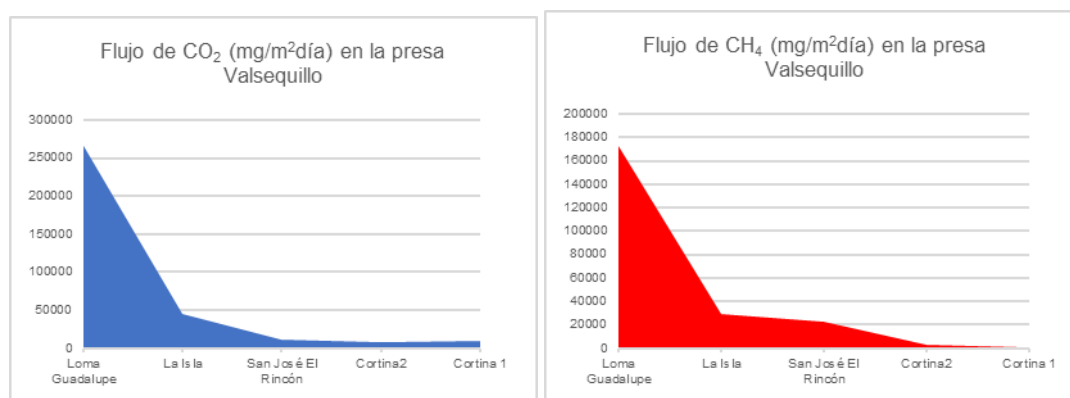


Fig. 4. Flujos totales en los sitios (mg/m<sup>2</sup>·día).

Los flujos totales de emisión para la presa (aproximadamente 200ha) fueron las siguientes: CO<sub>2</sub> con 136.45 ton/día ( 49804.16 ton/año) y CH<sub>4</sub> con 90.71 ton/día (33109.92 ton/año), lo cual demuestra que estas emisiones son acumulativas en el sistema y tendenciosamente en aumento, además existe alteración ecológica por descomposición de grandes volúmenes de orgánicos que afectan parcialmente a la presa al inicio de las descargas pero que presenta depuración al llegar a la cortina, lo cual indica que aun siendo elevados los flujos el sistema compensa la presencia de orgánicos y su descomposición con la producción y emisión de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> de manera diferenciada lo cual indica que aun con esta dinámica de producción en la presa aún existen condiciones de limitación implementando estrategias sobre la fuente que origina las descargas de orgánicos que pueden ser utilizados de forma diferente para evitar que lleguen a la presa y propiciando por lo tanto la disminución en la producción y emisión de estos gases.

Con los datos se observa que al inicio de la descarga en la presa y por su recorrido hasta la cortina, la emisión de GEI se incrementa en los 3 primeros sitios y fue disminuyendo debido a la depuración que hace el sistema conforme avanza la corriente. Se notó que, en lugares con asentamientos humanos, el

aumento en concentración se debe a descargas residuales directas, y fluctuantes debido a actividad turística y recreativa de estos sitios. Además, en los sitios de Loma Guadalupe, La Isla y San José El Rincón, las actividades agrícolas y ganaderas aportan nutrientes al sistema elevando la emisión de estos gases, que se suma a la de las descargas de los ríos.

En lugares como Cortina 1 y Cortina 2 donde la vegetación es más abundante y con pendiente se observó que los restos vegetales llegan a la presa por factores como viento y lluvia a través de escurrimientos que los depositan y entran en descomposición propiciando las emisiones.

Sin embargo, la profundidad de los sitios también fue factor importante para la producción de estos gases, ya que en zonas con mayor profundidad disminuyeron por el mayor volumen de agua y a que la materia orgánica se distribuye a lo largo y ancho del ecosistema acuático depurándose.

#### IV. CONCLUSIONES

Los datos mostrados reflejan una situación que describe las condiciones puntuales de los sitios como Loma Guadalupe, La Isla y San José El Rincón que contribuyen con la producción y emisión de gases como el  $\text{CO}_2$  y  $\text{CH}_4$ , y que de continuar con esta dinámica implicaría que la presa se considere como fuente de emisión en lugar de sumidero natural, pero es también importante destacar que las mismas condiciones de los sitios en la cortina limitan su producción, y la emisión es solo importante al momento de la descarga, lo que nos indica que aun con los grandes volúmenes de orgánicos estos en el recorrido hacia la cortina se diluyen, descomponen y se depuran con la profundidad, el aumento en el volumen de agua, así como la presencia del oxígeno disuelto que determinan la menor producción y emisión a la salida de la presa, lo que hace necesario que los gobiernos municipales de Puebla y Tlaxcala en un trabajo conjunto generen un plan de recuperación para la presa de Valsequillo, iniciando por el tratamiento adecuado de sus aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas que son causa de la alteración de este sistema, aplicando el marco normativo ambiental (NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996 y NOM-003-SEMARNAT-1997) en materia de agua, cubriendo estándares de calidad para evitar aportaciones que alteren el ecosistema. Todo esto incluye la instalación de plantas de tratamiento ubicadas en puntos estratégicos de la ciudad con mayores afluentes de descarga para atacar el problema de raíz y con el tiempo adquirir una buena imagen de la presa.

Con los resultados se espera despertar el interés de la importancia que tiene este ecosistema acuático en Valsequillo, Puebla y que se dé mayor atención a su rescate y preservación. De no ser así la presa en unas décadas podría dejar de albergar vida acuática y la pesca ya no sería sustento para poblaciones aledañas. Las actividades recreativas ya no serían agradables por su contaminación con desechos, por los olores fétidos que se desprenden y el mal aspecto que provocan. Por tales razones integrar a la presa de Valsequillo dentro del inventario de emisiones del municipio de Puebla es una buena propuesta para llevar un control y manejo adecuado del ecosistema, ya que los GEI emitidos son indicadores de alteración del sistema lo que permitirá crear estrategias de mitigación al daño ambiental en la zona y al sistema acuático.

#### RECONOCIMIENTOS

Este proyecto fue realizado con el apoyo de CONACYT y el asesoramiento del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM.

## REFERENCIAS

- Abril, G., F. Guérin, S. Richard, R. Delmas, C. Galy-Lacaux, P. Gosse, A. Tremblay, L. Varfalvy, M. A. Dos Santos, and 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, GB4007, doi:10.1029/2005GB002457
- Alberto Vieira Borges, Jean-Pierre Vanderborcht, Laure-Sophie Schiettecatte, Frédéric Gazeau, Sarah Ferrón-Smith, Bruno Delille, and Michel Frankignoulle. 2004. Variability of the Gas Transfer Velocity of Estuary (the Scheldt). *Estuaries* Vol, 27, No. 4, p. 593-603
- Arellano D. J., 2002, *Introducción a la Ingeniería Ambiental*. Ed. Alfaomega. P. 19 y 27-31. México.
- Bridget R. Deemer, John A. Harrison, Siyue Li, Jake J. Beaulieu, Tonya Delsontro, Nathan Barros, José F. Bezerra-Neto, Stephen M. Powers, Marco A. Dos Santos, and J. Arie Vonk. 2016. Greenhouse Gas Emissions from Reservoir Water Surfaces: A New Global Synthesis. *BioScience*. Vol. 66 No. 1. 949-964
- Brock T. D., Madigan M. T., Martinko J. M., Parker J., 2005. *Biología de los microorganismos*. Ed. Prentice Hall. P. 575-578, 634 y 644-649. España.
- Doger G. E., 2005. Programa Municipal de Desarrollo Urbano Sustentable de Puebla, H. Ayuntamiento de Puebla, Puebla, 249 páginas.
- Fábio Roland, Luciana O. Vidal, Felipe S. Pacheco, Nathan O. Barros, Arcilan Assireu, Jean P. H. B. Ometto, André C. P. Cimpleris, Jonathan J. Cole. 2010. Variability of carbon dioxide flux from tropical (Cerrado) hydroelectric reservoirs. *Aquat. Sci.* (2010) 72:283–293. DOI 10.1007/s00027-010-0140-0
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger. P. 26-41. Geneva, Switzerland.  
[http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.shtml](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml)
- James N. Kremer, Scott W. Nixon, Betty Buckley, Patrick Roques. 2003. Technical Note: Conditions for Using the Floating Chamber Method to Estimate Air-Water Gas Exchange. *Estuaries* Vol. 26, No. 4A, p. 995-990
- Jiménez C. B., 2001. *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. Ed. Limusa y Colegio de Ingenieros Ambientales. P. 22-25. México.
- John W. M. Rudd, Reed Harris, C. A. Kelly and R. E. Hecky. Are Hydroelectric Reservoirs Significant Sources of Greenhouse Gases? *Source: Ambio*, Vol. 22, No. 4 (Jun., 1993), pp. 246-248
- Kiely G., 1999. *Ingeniería Ambiental, Fundamentos, Entornos, Tecnologías y Sistemas de Gestión*. Ed. Mc Graw Hill, P. 131-135 y 320. España.
- Kortelainen, P., M. Rantakari, J. T. Huttunen, T. Mattsson, J. Alm, S. Juutinen, T. Larmola, J. Silvola, and P. J. Martikainen. 2006. Sediment respiration and lake trophic state are important predictors of large CO<sub>2</sub> evasion from small boreal lakes. *Global Change Biology* 12:1554–1567.
- Lambert, M., and J.-L. Fréchette (2004), Analytical techniques for measuring fluxes of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> from hydroelectric reservoirs and natural water bodies, in *Greenhouse Gas Emissions—Fluxes and Processes: Hydroelectric Reservoirs and Natural Environments*, *Environ. Sci. Ser.*, edited by A. Tremblay et al., pp. 37 – 60, Springer, New York.
- Ollivier, Q. R., D. T. Maher, C. Pitfield, and P. I. Macreadie. 2019. Winter emissions of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O from temperate agricultural dams: fluxes, sources, and processes. *Ecosphere* 10(11):e02914. 10.1002/ecs2.2914
- Rosa, L. P., and R. Schaeffer (1994), Greenhouse gas emissions from hydroelectric reservoirs, *Ambio*, 23, 164 – 165

- Skoog D. A., Holler F. J., Nieman T. A., 2001. *Principios de Análisis Instrumental*. Ed. Mc Graw Hill. P. 759-768. España.
- Xiaoling Wu, Zhiwei Wang, Xiaohua Xiang, Hong Yang, Chao Li, Siliang Li, Lei Wu., 2022. Dynamic simulation of CO<sub>2</sub> flux in a hydropower reservoir in Southwest China, *Journal of Hydrology* 613 (1-11) 128354
- Yang, H., Andersen, T., Dörsch, P., Tominaga, K., Thrane, J.-E., Hessen, D.O., 2015. Greenhouse gas metabolism in Nordic boreal lakes, *Biogeochemistry* 126(1-2), 211-225
- Yang, H., Flower, R.J., 2012. Potentially massive greenhouse-gas sources in proposed tropical dams. *Front. Ecol. Environ.* 10 (5), 234–235. <https://doi.org/10.1890/12. Wb.014>.