

## Emisiones de gases de efecto invernadero en sistemas de tratamiento de efluentes en predios lecheros

### Greenhouse gas emissions in effluent treatment systems on dairy farms

**Caussi Mateo**

UTN Facultad Regional Rafaela (FRRRA)

[mateocaussi3@gmail.com](mailto:mateocaussi3@gmail.com)

**Vogt Facundo**

UTN Facultad Regional Rafaela (FRRRA)

[facundo.vogt@frra.utn.edu.ar](mailto:facundo.vogt@frra.utn.edu.ar)

#### Resumen

Diversos gases de efecto invernadero (GEIs) como CH<sub>4</sub> (metano), N<sub>2</sub>O (óxido nitroso) y CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) son generados durante actividades ganaderas, teniendo un gran efecto negativo para el ambiente. Los efluentes producidos en estas actividades son tratados mediante distintos sistemas, generalmente conformados por sistemas de lagunas de estabilización que tratan las aguas residuales obtenidas, pero también producen GEIs. El presente trabajo tiene como objetivo estudiar y cuantificar las emisiones de GEIs en predios lecheros mediante el empleo de dos técnicas diferentes.

**Palabras Claves:** metano; lagunas; efluentes; cámaras estáticas; FTIR

#### Abstract

Various greenhouse gases (GHG) such as CH<sub>4</sub> (methane), N<sub>2</sub>O (Nitrous oxide), CO<sub>2</sub> (carbon dioxide) are generated during livestock farming activities, having a great noxious effect for the environment. The effluents produced by these activities are treated with different systems, usually made up by effluent ponds that treat the wastewater originated, but at the same time they are generators of GHG. The purpose of this research is to assess and quantify the GHG's emissions on dairy farms using two different technologies.

**Keywords:** methane; ponds; effluents; static cameras; FTIR.

#### Introducción

Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (1992) las actividades humanas crecientes generan que las concentraciones de los Gases de Efecto Invernadero (GEIs) aumenten, por lo que contribuyen de forma directa al cambio climático sobre la superficie y la atmósfera de la Tierra.

Los principales GEIS que se generan a partir de las actividades humanas (origen antropogénico) son CH<sub>4</sub> (Metano), CO<sub>2</sub> (Dióxido de carbono), N<sub>2</sub>O (Óxido nitroso) y Cloro Flúor Carbonos.

Estos gases tienen un impacto desigual sobre el medio ambiente; el CH<sub>4</sub> tiene significancia por ser 23 veces más potencial que el CO<sub>2</sub> y tiene su principal fuente de emisión a la agricultura, distribución de energía y vertidos de residuos sólidos (Fernández, et al., 2007).

Según García et al. (2021), Argentina como país agroexportador, con una capacidad de generar alimentos para 400 millones de personas debe preguntarse cómo será posible realizar esto sin dañar el ambiente, sin que las producciones intensivas perjudiquen los suelos, los cuerpos de agua y sin que generen GEIs. En nuestro país, la producción láctea es un sector económico que

tiene gran importancia. En esta actividad, se generan GEIs, los cuales pueden provenir de distintas fuentes: estudios han demostrado que actividades como la fermentación entérica vinculada a las excretas de animales y el manejo de los efluentes de sistemas lecheros son fuentes importantes de emisión de GEIs (Pratt et al., 2012).

La generación de estos gases a partir de los sistemas de tratamiento de efluentes en tambos es de gran relevancia para el ambiente, pero lamentablemente poco cuantificada. Existe una gran necesidad de establecer no sólo una estimación sino una cuantificación más rigurosa de las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> Y N<sub>2</sub>O de los tratamientos de efluentes de tambo, no sólo para contabilidad nacional de GEIs, sino también para el desarrollo de estrategias efectivas de mitigación.

Por un lado, existen modelos para estimar las emisiones de GEIs, pudiendo variar desde factores de emisiones relativamente simples hasta simulaciones muy detalladas a nivel de proceso (Rotz, 2018). Por otra parte, se encuentran técnicas y equipamientos para realizar mediciones. Algunos de los métodos que se emplean para la medición de los GEIs en lagunas de tratamiento de efluentes (anaeróbica y facultativa) fueron las cámaras estáticas o de acumulación, y el sistema de análisis multigas de paso abierto de Fourier del espectro infrarrojo (OP-FTIR). Ambos fueron empleados en el presente estudio.

El objetivo del presente trabajo es estudiar y cuantificar las concentraciones y cantidades de GEIs generadas por la actividad pecuaria, más específicamente por actividades relacionadas al tratamiento de efluentes en predios lecheros.

## Desarrollo

### Zona de estudio

El estudio es llevado a cabo en un sistema lechero de INTA “Tambo Robot (VMS)”, localizado en la estación experimental INTA Rafaela. Este tambo cuenta con un sistema de tratamiento de efluentes los cuales se bombean hasta una zaranda o tamiz que separa sólidos, luego ingresan a una primera laguna anaeróbica y continúan a una laguna facultativa. En la Figura 1 y 2, se puede visualizar en detalle la disposición del tambo y las correspondientes lagunas.



Figura 1. Imagen Satelital “Sistema Tambo” INTA Rafaela VMS

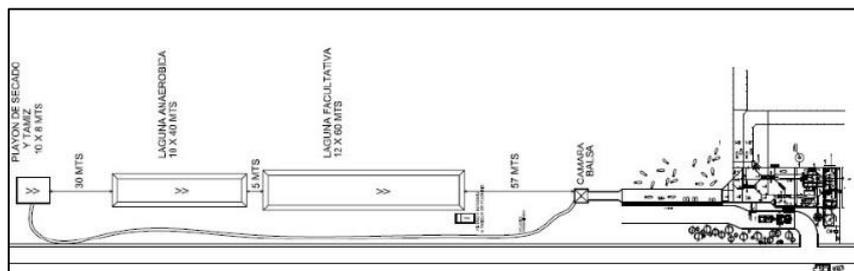


Figura 2. Planos del sistema de tratamiento de efluentes mostrando las lagunas, el playón de secado y la instalación de ordeño (Taverna, et al., 2017)

### Medición de gases utilizando cámaras estáticas

Una de las técnicas utilizadas para determinar las variaciones de la concentración de GEIs ( $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$ ) en lagunas, es el de las cámaras estáticas o cámaras de acumulación (Conen y Smith, 2000; Parkin y Venterea, 2010). Dichas cámaras constan de una superficie flotante sobre las cuales se encuentran dos tubos de PVC de volumen constante. La parte inferior de éstos se encuentra adherida a la superficie flotante con una diferencia de altura de unos 15 cm, siendo esta parte la que se encuentra en contacto directo con la interfaz laguna-atmósfera. En la parte superior de los tubos se encuentra una tapa removible a la cual se le agrega un fan (ventilador) que cumple la función de homogenizar los gases contenidos en el mismo. En esta tapa también se encuentra adherida una válvula de 2 puntos que cumple la función de cerrar y abrir el circuito de acuerdo con la necesidad. La válvula se une a una manguera plástica a la cual se le conecta posteriormente una jeringa de 25 ml con la cual se extraen las muestras (Figura 3).

La emisión de  $\text{CH}_4$  es función de la temperatura ambiente y se puede relacionar con la estación del año, por lo que se establecen los siguientes intervalos de muestreo: “primavera-verano” 0 min, 10 min y 20 min y “otoño-invierno” 0 min, 20 min y 40 min. Las muestras de gases son tomadas con jeringas en los intervalos de tiempo definidos anteriormente, utilizando para cada cámara 3 jeringas en cada punto de muestreo. Las muestras son trasvasadas a viales de 12 ml, a los que se les ha aplicado vacío empleando  $\text{N}_2$  puro (Figura 4). El metano luego es cuantificado empleando un cromatógrafo de gases. Se han realizado 6 muestreos entre marzo de 2021 y mayo de 2022.

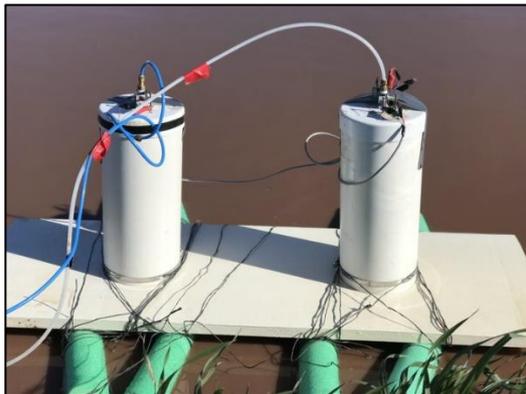


Figura 3. Cámaras estáticas para muestreo de  $\text{CH}_4$



Figura 4. Traslado de muestra a viales

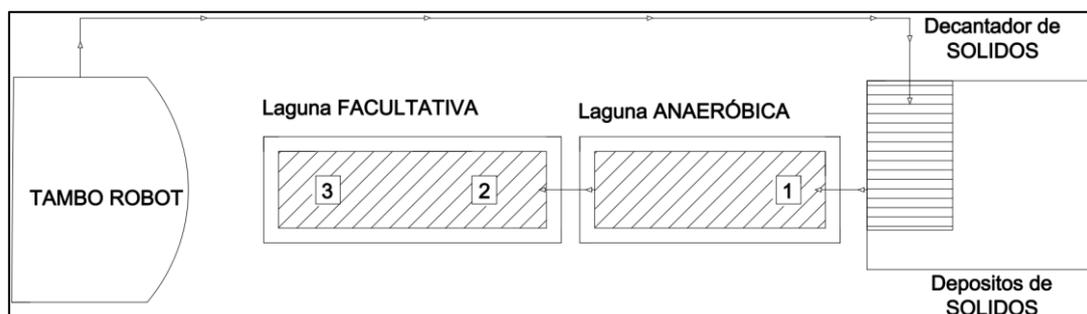


Figura 5. Esquema sistema de tratamientos de efluentes Tambo VMS

Los puntos seleccionados para la toma de muestras son 3: uno en el comienzo de la laguna anaeróbica (1) y los otros dos en la respectiva entrada y salida (2;3) de la laguna facultativa (Figura 5). En cada punto donde se realiza el muestreo de gases, también se lleva a cabo la medición de temperatura de agua, velocidad del viento, temperatura ambiental.

### Medición de gases utilizando OP-FTIR

La espectrometría FTIR es otro método para monitorear contaminantes GEI y otros productos de emisión en fuentes de grandes superficies mediante líneas de absorción en el infrarrojo (Weber et al., 1996). Este tipo de técnica permite detectar múltiples componentes simultáneamente, adquirir datos en tiempo real con una resolución temporal relativamente alta (de segundos) y proporcionar concentraciones de gas promediadas en una ruta/trayecto (Russwurm y Childers, 1996). La principal ventaja frente a otras técnicas es que permite analizar tanto compuestos inorgánicos como orgánicos volátiles (Pepino Minetti et al., 2017).

El equipo empleado es un Cerex Monitoring Solutions Inc., Modelo AirSentry funciona enviando un haz de luz IR a través del aire. Este haz se refleja mediante un conjunto de retrorrefletores volviendo hacia el analizador, donde se mide y registra la absorción de los gases objetivo (Figura 6). Con este equipo se han determinado los siguientes parámetros: NH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O y SF<sub>6</sub>.

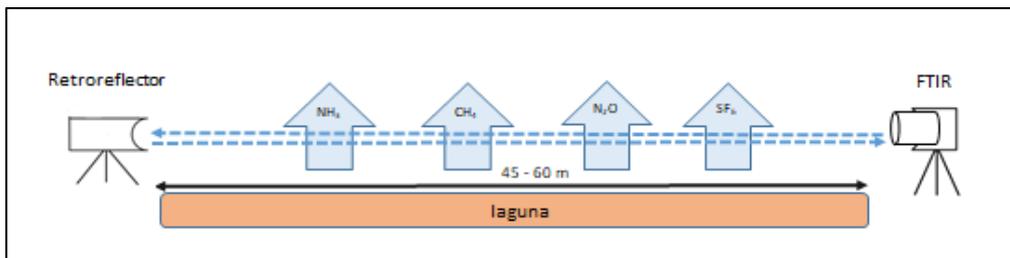


Figura 6. Esquema de funcionamiento FTIR

En las periferias de las lagunas del VMS se ubicó el equipo con una altura del sensor de 1.2 m y longitudes de trayectoria que van desde 90 a 120 m (Figura 7). En cada punto de muestreo se realizaron 3 análisis obteniendo 3 espectros durante intervalos de 7 minutos/espectro. Las concentraciones de fondo se midieron al inicio del estudio a campo abierto en un lugar no afectado por la actividad lechera ni la agricultura. Con el fin de comparar los resultados obtenidos por el método de cámaras estáticas, se han realizado dos mediciones en el año 2021.



Figura 7. Muestreo de GEI a partir de equipo FTIR

### Muestreo de efluentes

Junto con la medición de los gases se llevó a cabo un muestreo de efluentes líquidos con el fin de encontrar variaciones en las concentraciones que se puedan correlacionar con los resultados obtenidos de las emisiones de gases.

En este se analizan parámetros como: pH (in situ), conductividad (in situ), sólidos totales (ST), sólidos totales volátiles (STV), demanda química de oxígeno (DQO), demanda biológica de

oxígeno (DBO), nitrato, nitrito, amonio, nitrógeno total Kjeldahl y sulfuros. En todos los casos se emplearon las técnicas sugeridas por APHA (2017).

## Resultados

En la Figura 8 se presentan los resultados de emisiones de CH<sub>4</sub>, expresados en g/m<sup>2</sup>.h obtenidos en los muestreos realizados en lagunas de VMS. La densidad de flujo media de CH<sub>4</sub> en la interfaz agua-aire, osciló entre los 0,11 y 6,34 g/m<sup>2</sup>.h, siendo este dato dependiente de la temperatura, por lo que influye directamente la estación del año en que se realizó la medición. En la Figura 8 se muestran las emisiones en función del tiempo a lo largo de un año entero de muestreos. Analizando la correlación entre la concentración de metano medido en las lagunas con la temperatura, se ha encontrado un coeficiente de determinación R<sup>2</sup> = 0,84 para la laguna anaeróbica, mientras que para la laguna facultativa se obtuvo un coeficiente de R<sup>2</sup> = 0,33. La variabilidad estacional asociada a la temperatura en fuentes biogénicas es un resultado esperable (Wang et al., 1996) y concuerda con lo obtenido en la laguna anaeróbica.

Sin embargo, Leytem et al. (2017) han obtenido una relación R<sup>2</sup> = 0,02 para mediciones realizadas a lo largo de un año, poniendo en evidencia que, si bien la temperatura influye en la actividad química y biológica que genera CH<sub>4</sub>, hay otros factores que pueden tener efecto en las emisiones como lo son la agitación de la superficie por el viento, cambio en las características de los efluentes y formación de costras.

Se puede distinguir una gran variabilidad en los datos, por lo que aquellos que no son representativos, se determina como necesario el no tenerlo en cuenta. Realizando esto se puede llegar a obtener un gráfico representativo para el caso.

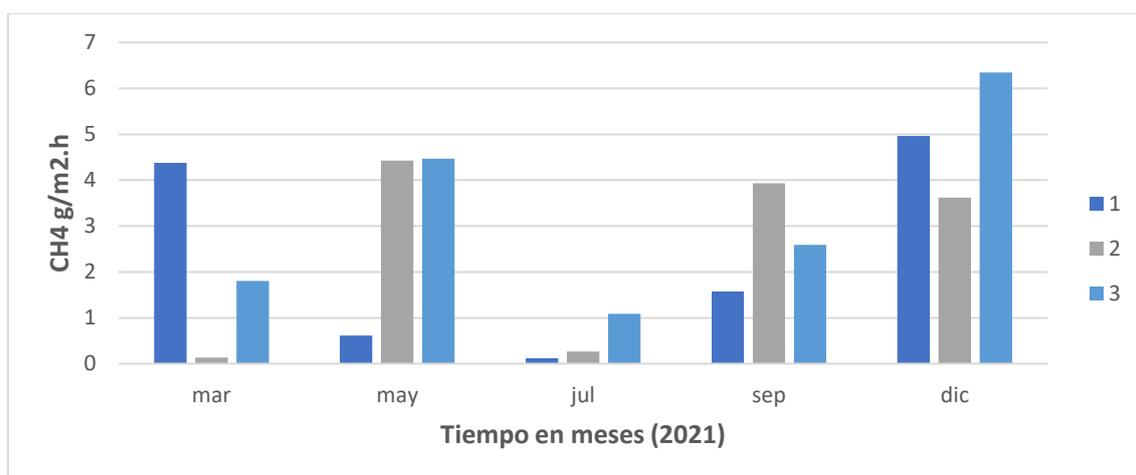


Figura 8. Metano (g CH<sub>4</sub>/m<sup>2</sup>.h) emitido en los diferentes puntos de muestreo en función del tiempo.

## Resultados FTIR

Al igual que se hizo con los resultados obtenidos por medio del muestreo de cámaras estáticas, en la medición realizada con el equipo FTIR en el mes de julio del 2021, no se detectaron emisiones de GEIs en el sistema VMS (Tabla 1); esto está asociado directamente a las temperaturas ambientes promedio en ese momento.

Julio 2021	CH <sub>4</sub> (ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb NH <sub>3</sub> )	N <sub>2</sub> O (ppb N <sub>2</sub> O)	SF <sub>6</sub> (ppb SF <sub>6</sub> )
Laguna Anaeróbica	< 50	< 10	< 10	< 10
Laguna Facultativa	< 50	< 10	< 10	< 10

Tabla 1. Resultados mes julio 2021

En el mes de diciembre del mismo año, con temperaturas cercanas a los 30°C, humedad ambiente del 55 % y una velocidad de viento de 11 km/h, se ha medido CH<sub>4</sub> y NH<sub>3</sub>, pero no se ha detectado la presencia de N<sub>2</sub>O y SF<sub>6</sub> (Tabla 2). En cuanto al metano se han encontrado

concentraciones superiores en la laguna anaeróbica, a diferencia del amoníaco que las concentraciones mayores se hallaron en la laguna facultativa (Tabla 2).

Diciembre 2021	CH <sub>4</sub> (ppb)	NH <sub>3</sub> (ppb NH <sub>3</sub> )	N <sub>2</sub> O (ppb N <sub>2</sub> O)	SF <sub>6</sub> (ppb SF <sub>6</sub> )
Laguna Anaeróbica	624,71	127,59	< 10	< 10
Laguna Facultativa	229,1	203,12	< 10	< 10

Tabla 2. Resultados mes diciembre 2021

Los resultados de metano se pueden relacionar con las condiciones de anaerobicidad en la primera laguna, con mayores concentraciones de STV y en consecuencia materia orgánica que se encuentra en degradación. Para el caso del amoníaco, a medida que avanza el efluente en el sistema de tratamiento se produce la degradación de la materia orgánica nitrogenada aumentando en consecuencia la concentración de amonio, lo que trae aparejado, de acuerdo con las condiciones de pH y temperatura liberación de amoníaco.

### Resultados efluentes

En la Tabla 3 se presenta un resumen de la caracterización fisicoquímica de los efluentes. Se observa que los valores de pH oscilan entre 7,4 y 8,3 en ambas lagunas; según los datos de ST y STV obtenidos en todos los puntos, las concentraciones de STV se encuentran en un rango entre 20-40% del contenido de ST, relacionándose esta fracción con la materia orgánica presente.

Punto de muestreo	pH	ST (mg/L)	STV (mg/L)	DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	NTK (mg N/L)	Sulfuros (mg S/L)
VMS 1	7,4-7,8	4704-5880	976-2326	1795-3175	184,3-631,4	8,3-52,3
VMS 2	8,0-8,3	4622-5782	874-2408	1254-2819	176,4-389,2	3,7-36,2
VMS 3	8,1-8,3	4772-6146	774-2168	1641-2971	176,6-385,0	2,8-25,8

Tabla 3. Rango de concentraciones de parámetros fisicoquímicos analizados

Por otro parte, comparando las concentraciones de los parámetros analizados en los tres puntos de muestreo, no se han encontrado variaciones significativas. En la laguna facultativa se hallan concentraciones elevadas de sulfuros, lo que podría relacionarse con condiciones de anaerobicidad o falta de oxígeno.

Yan et al. (2012) y Zhao et al. (2014) informaron que una relación C/N óptima de alrededor de 5 podría lograr simultáneamente la eliminación de nutrientes y los menores flujos de emisión de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub>. En el estudio presente, se han encontrado en los muestreos de mayo (otoño) y julio (invierno) las mayores relaciones de C/N y cercanas a 5 en casi todos los puntos de muestreo, pudiendo relacionarlo con las bajas concentraciones de metano detectadas.

### Conclusión

Los valores de emisiones de metano obtenidos en los diferentes muestreos están estrechamente relacionados a las temperaturas promedio de cada estación del año y se encuentran en los rangos de mediciones reportados por autores de otras partes del mundo.

Los datos obtenidos mediante OP-FTIR se consideran preliminares y valiosos para el conocimiento de la técnica empleada, aunque requiere de otro diseño experimental que permita evaluar la dinámica temporal o realizar mediciones a lo largo del año para correlacionar la concentración de metano en la superficie con el método de cámaras estáticas.

## Referencias

- APHA. (2017). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 23rd Edition American Public Health Assoc. .
- Cerex Monitoring Solutions, LLC*. (2022, 9 5). Retrieved from <http://cerexms.com/sentry-series/>
- Chris Pratt, A. S. (2012). Biofiltration of methane emissions from a dairy farm effluent pond. *ELSEVIER*, 7.
- Conen, F. &. (2000). An explanation of linear increases in gas concentration under closed chambers used to measure gas exchange between soil and the atmosphere. *European Journal of Soil Science* .
- Fernández, M. G. (2007). Emisión de metano y sistemas de producción animal en el Perú: implicancias nutricionales. Lima, Perú. *Zootecnia Universidad Nacional Agraria la Molina*, 3.
- García Ana Rosa, B. J. (2021). Manejo de residuos en producciones animales intensivas. 132.
- Leytem, A., Bjorneberg, D., Koehn, A., Moraes, L., Kebreab, E., & Dungan, R. (2017). Methane Emissions From dairy lagoons in the western United States. *Journal of Dairy Science* .
- Parkin, T. B. (2010). Chamber-Based Trace Gas Flux Measurements. USDA-ARS GRACEnet Project Protocols Chapter 3.
- Pepino Minetti, R. F. (2017). Gestión de olores y su análisis en calidad de aire . *PROIMCA-PRODECA 2017*, 10.
- Rotz, C. (2018). Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. *Journal of Dairy Science*, 7.
- Russwurm, G. M. (1996). FT-IR open-path monitoring guidance document. *ManTech Environmental Technology, Inc., Research Triangle Park, NC (United States)*.
- Taverna, M., Ghiano, J., Costamagna, D., & García, K. y. (2017). "Evaluación bio-económica de un sistema lechero pastoril intensivo incorporando Tecnologías de Precisión, Ordeño Voluntario Automatizado (VMS) y las TIC. *INTA Ediciones* , 45.
- Unidas, N. (1992). Convención marco naciones unidas sobre el cambio climático . 27.
- Wang, Z. Z. (1996). Methane emissions from natural wetlands. *Environmental Monitoring and Assessment*, 42.
- Weber, K. T. (1996). Openpath FTIR measurements of methane as a tracer gas for waste site emissions at a waste site in Germany. *Annual Meeting of AWMA. Paper 96*.
- Yan, C. Z. (2012). Effects of influent C/N ratios on CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> emissions from vertical subsurface flow constructed wetlands treating synthetic municipal wastewater. 203.
- Zhao, Y. Z. (2014). Effects of influent C/N ratios on wastewater nutrient removal and simultaneous greenhouse gas emission from the combinations of vertical subsurface flow constructed wetlands and earthworm ecofilters for treating synthetic wastewater. *Environ. Sci- Process Impacts*, 16, 567-575.