

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

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

Presentación: 11/9/2023

### Mateo Caussi:

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela  
[mateocaussi3@gmail.com](mailto:mateocaussi3@gmail.com)

### María Lourdes Martin:

Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Rafaela  
[lourdesmartin3112@gmail.com](mailto:lourdesmartin3112@gmail.com)

### Resumen

Las actividades ganaderas son generadoras de diversos gases de efecto invernadero (GEIs) como son CH<sub>4</sub> (metano), N<sub>2</sub>O (óxido nítrico), CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) y NH<sub>3</sub> (amoníaco), impactando negativamente sobre el ambiente. Las aguas residuales, productos de dichas actividades, generalmente son tratadas mediante un sistema conformado por lagunas de estabilización que también producen GEIs. Este trabajo tiene la finalidad de estudiar y cuantificar las emisiones de GEIs en predios lecheros, empleando dos técnicas diferentes durante un muestreo de un día completo. Las emisiones de metano medidas en lagunas de estabilización se encuentran estrechamente relacionadas con la temperatura ambiente y del agua, no encontrando relación entre la emisión de CO<sub>2</sub> y temperatura. A su vez, dichos valores se encuentran dentro de los rangos de emisiones presentadas por autores de otras partes del mundo. Se reportan los resultados para ambas técnicas, buscando que se puedan correlacionar cada uno de los valores.

**Palabras clave:** GEIs; estabilización; efluentes; cámaras estáticas; OP-FTIR

### Abstract

Livestock activities generate various greenhouse gasses (GHGs) such as CH<sub>4</sub> (methane), N<sub>2</sub>O (nitrous oxide), CO<sub>2</sub> (carbon dioxide) and NH<sub>3</sub> (ammonium), having a negative impact on the environment. The wastewater, product of these activities, are generally treated in a system made up of stabilization ponds that also produce GHGs. This work has the purpose of studying and quantifying GHG emissions in dairy farms, using two different techniques during an entirely day of sampling. Methane emissions on stabilization ponds are closely related to atmosphere and water temperature, but there is no relation between CO<sub>2</sub> emissions and temperature. In addition, these values are within the emissions ranges presented by authors from around the world. The results, for both techniques, are reported, looking for a correlation between each value.

**Keywords:** GHGs; stabilization; effluents; static cameras; OP-FTIR

## Introducción

Los principales GEIs de origen antropogénico son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y clorofluorocarbonos (CFC). Estos no impactan de igual manera sobre el medio ambiente, por lo que se establecen relaciones mediante la unidad de carbono equivalente. Esta es una medida universal del potencial de contaminación y en consecuencia el calentamiento global que establece el equivalente de cada uno de los GEIs con relación al dióxido de carbono. Por ejemplo, el metano tiene una significancia de ser 23 veces más potencial que el dióxido de carbono.

Según García et al. (2021), en el caso de Argentina, un país reconocido por su rol como exportador agrícola con la capacidad de alimentar a 400 millones de personas, surge el interrogante sobre cómo lograr este objetivo sin dañar al medio ambiente. Es esencial abordar este desafío de manera que las prácticas agrícolas intensivas no deterioren los suelos ni contaminen los cuerpos de agua, además de evitar la generación de GEIs. En el contexto nacional, el sector lácteo se erige como una pieza clave en la economía, aunque es preciso destacar que en esta actividad también se emiten GEIs, cuyo origen puede atribuirse a diversas fuentes, como la fermentación entérica relacionada con los desechos animales y la gestión de los efluentes en sistemas lecheros, las cuales representan contribuciones significativas a la liberación de GEIs (Pratt et al., 2012).

La emisión de estos gases a partir de los sistemas empleados en la gestión de efluentes en explotaciones lecheras posee una importancia ambiental considerable, aunque lamentablemente ha sido insuficientemente cuantificada hasta el momento. Surge la necesidad de llevar a cabo una cuantificación más precisa de las emisiones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  provenientes de los procedimientos de tratamiento de efluentes en tambos. Esto no solo es esencial para la contabilidad a nivel nacional de los GEIs, sino también para la formulación y ejecución de estrategias efectivas de reducción de emisiones.

Según Rotz (2018) los modelos existentes de estimación de emisiones varían desde simples factores de emisiones hasta simulaciones detalladas de procesos. Asimismo, existen técnicas y equipos para la medición de las emisiones. Los métodos y equipos empleados en el presente estudio para la medición de los GEIs en las lagunas son las cámaras estáticas o de acumulación, y el sistema de análisis multigás de paso abierto de Fourier del espectro infrarrojo (OP-FTIR).

El objetivo del trabajo es medir las concentraciones de gases de efecto invernadero producidos como resultado de la actividad ganadera, con un enfoque particular en las prácticas vinculadas al manejo de efluentes en establecimientos de producción lechera. En esta ocasión, se presentan los resultados de un muestreo realizado a lo largo de un día completo, con dos metodologías diferentes, con el objetivo de estudiar las emisiones con los distintos momentos del día.

## Metodología

### Zona de estudio

El estudio tiene lugar en la estación experimental del INTA Rafaela, específicamente en el “Tambo Robot (VMS)”. El tambo cuenta con un sistema de pretratamiento de efluentes compuesto por un tamiz que separa los sólidos de mayor tamaño. Luego el efluente se dirige al sistema de tratamiento secundario/biológico, conformado por una primera laguna anaeróbica, y posteriormente una laguna facultativa. En la Figura 1 se presenta gráficamente la disposición del tambo y su sistema de tratamiento de efluentes.

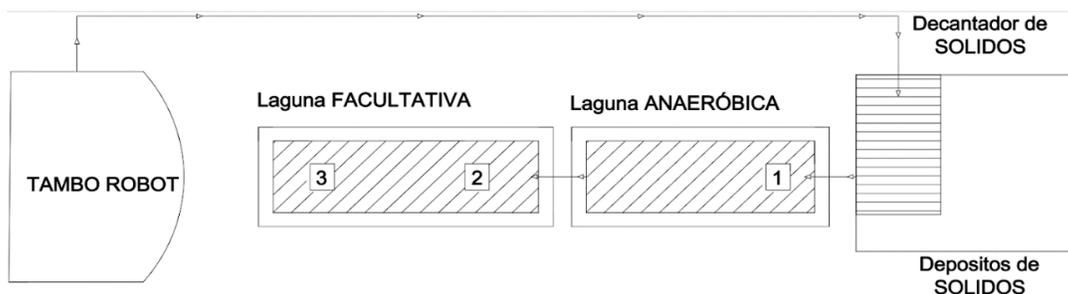


Figura 1. Esquema simplificado del tambo con los puntos de muestreo

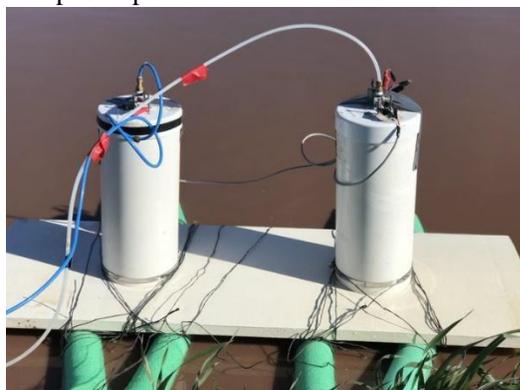
### Medición de emisiones usando cámaras estáticas

Para el muestreo de las emisiones de GEIs de las lagunas uno de los métodos empleados es el de cámaras estáticas (Figura 2). Las cámaras presentan una estructura compuesta por una plataforma flotante sobre la cual reposan dos tubos de PVC de volumen constante. Estos tubos poseen su parte inferior unida a la plataforma flotante, sobresaliendo por debajo aproximadamente 15 cm, permitiendo que esta porción esté en contacto directo con la interfaz entre la laguna y la atmósfera. En la porción superior de los

tubos se coloca una tapa removible, en la cual se integra un ventilador para la homogeneización de los gases presentes en el interior. En esta misma tapa, se encuentra incorporada una válvula de doble punto que desempeña la función de controlar la apertura y cierre del circuito según la necesidad. La válvula se conecta a una manguera plástica, a la cual se acopla una jeringa de 25 ml (Figura 3) utilizada para la extracción de muestras.

La actividad microbiana de la laguna es función de la temperatura ambiente, por lo que la emisión de gases dependerá también de dicho parámetro. En esta ocasión se realizó un muestreo durante 24 horas en diciembre de 2022. Los horarios seleccionados para el muestreo fueron 16:00, 20:00, 00:00, 04:00, 08:00 y 12:00 h. Se establecieron intervalos de muestreo: para “primavera-verano” de 0 min (inicial), 10 min, 20 min. Se utilizaron jeringas para la toma de la muestra gaseosa en cada uno de los intervalos de tiempo, empleando 3 jeringas en cada punto de muestreo. Se tomaron muestras en cada una de las cámaras de PVC, teniendo los resultados por duplicado. Posteriormente las muestras se trasvasaron a

gases  
Clarus



se les ha aplicado empleando  $\text{CH}_4$  y  $\text{CO}_2$  fueron cromatógrafo de 600).



viales de 12 ml, a los previamente vacío nitrógeno puro. Los cuantificados en un gases (Perkin Elmers

Figura 2: Equipo de muestreo de cámaras estáticas

Figura 3. Jeringas empleadas en la toma de muestras

Se seleccionan 3 puntos para la toma de muestras de gases: el primero al inicio de la laguna anaeróbica (1); el segundo a la entrada de la laguna facultativa (2); el tercero a la salida de la facultativa (3) (Figura 1). A su vez, en cada punto, en el momento del muestreo, se midió la temperatura ambiente y del agua, como también la velocidad del viento.

### Medición de emisiones usando OP-FTIR

La espectrometría FTIR representa otra metodología valiosa para el monitoreo de GEIs, así como otros productos liberados en fuentes de gran extensión a través de líneas de absorción en el rango infrarrojo (Weber et al. 1996). Una característica destacada de esta técnica es su capacidad para identificar múltiples componentes de manera simultánea, permitiendo adquirir datos en tiempo real con una resolución temporal relativamente alta, en intervalos de segundos, y proporcionando concentraciones de gases promediadas a lo largo de una ruta específica (Russwurm y Childers, 1996). Una ventaja sobresaliente en comparación con otros métodos es su habilidad para analizar tanto compuestos inorgánicos como compuestos orgánicos volátiles (Pepino Minetti et al., 2017).

El dispositivo utilizado es el modelo AirSentry de Cerex Monitoring Solutions Inc. Este equipo opera emitiendo un haz de luz infrarroja (IR) a través del aire. Este haz de luz se refleja mediante un conjunto de retrorreflectores, retornando hacia el analizador. En esta etapa, se mide y registra la absorción de los gases específicos de interés (Figura 4). Utilizando este equipo, se han analizado las emisiones de diversos gases, incluyendo en el presente trabajo: amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

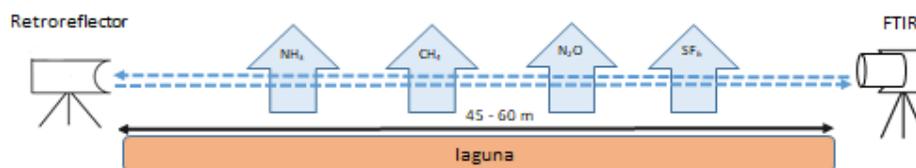


Figura 4. Diagrama del funcionamiento del OP-FTIR

En cada laguna, y para cada horario de muestreo (16:00, 20:00, 00:00, 04:00, 08:00 y 12:00 h), se realizaron 3 análisis con tres espectros, con una duración de 7 minutos/espectro. Primeramente, se midieron las concentraciones de fondo sobre un espacio no afectado por la actividad lechera y ganadera.



Figura 5. Equipo de medición de GEI por FTIR



Figura 6. Equipo de medición de GEI por FTIR

### Muestreo de efluentes

Además de la medición de los gases, se realizó el muestreo y análisis de los efluentes líquidos. El propósito de este muestreo consiste en identificar posibles fluctuaciones en las concentraciones de los parámetros que caracterizan a los efluentes líquidos, de manera de establecer correlaciones con los resultados obtenidos de las emisiones de gases. Se analizaron los siguientes parámetros: 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. Se tomaron muestras en todos los horarios de muestreo de gases, analizando finalmente las muestras tomadas a las 12:00, a las 0:00 y una muestra compensada obtenida de la suma de proporciones iguales de todas las muestras de cada punto de estudio (1, 2 y 3). En todos los casos se emplearon las técnicas sugeridas por APHA (2017).

## Resultados y discusión

### Medición con cámaras estáticas

En la Figura 7 se presentan los resultados obtenidos de las emisiones de metano, expresados en g/m<sup>2</sup>.h y kg/ha.día, para el punto de muestreo 1 (entrada laguna anaeróbica). Los resultados evidencian la variación de dicho gas durante el transcurso del día. Es importante destacar que las emisiones de este gas están relacionadas con la temperatura, observando que a mayor temperatura la actividad microbiana aumenta, y con esta se observa aumento de la generación de metano.

En lo que respecta al primer punto de muestreo, la densidad del flujo de CH<sub>4</sub> en la interfaz aire-agua osciló entre 0,46 y 1,45 g/m<sup>2</sup>.h (110,4 y 348 kg/ha.día). Estos datos corresponden a los horarios de muestreo 00.00 h y 16:00 h respectivamente, pudiéndose relacionar con las temperaturas de cada momento del día, siendo 23°C para la medianoche y 37,7°C para las 16 h. Se ha obtenido una correlación positiva entre la concentración de metano y la temperatura ( $R^2=0,776$ ). Panigatti et al. (2022) han reportado mediciones que oscilaron entre 0,12 y 6,35 g/m<sup>2</sup>.h empleando las cámaras estáticas en mediciones en diferentes momentos del año, obteniéndose las mayores concentraciones en el mes de diciembre de 2021, superior a la máxima medida en esta oportunidad. Según Leytem et al. (2017), las tasas de emisión de metano en predios lecheros reportadas por estudios realizados en Canadá, Nueva Zelanda y Estados Unidos varían ampliamente, con valores entre 0,05 y 8,45 g/m<sup>2</sup>.h (12 y 2030 kg/ha.día). Por otra parte, Craggs et al. (2008) han reportado concentraciones promedio anuales de emisión de metano de 0,71 g/m<sup>2</sup>.h (170 kg/ha.día), realizando mediciones para una laguna anaeróbica, mientras que Minato et al (2013) hallaron valores entre 1,42 y 2,28 g/m<sup>2</sup>.h (340 y 548 kg/ha.día) para metano, por lo que los valores reportados por el presente estudio se encuentran dentro o muy cercanos al rango de valores presentados por las referencias citadas.

En la Figura 8 se observan las concentraciones de CO<sub>2</sub> medidas durante el día de muestreo en el punto 1, encontrando valores de emisión entre 0,8 y 5,9 g/m<sup>2</sup>.h (xxxxx kg/ha.día). A diferencia del metano no se ha encontrado una relación con la temperatura, tampoco se ha encontrado relación entre las concentraciones de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. La velocidad del viento medida durante el día de muestreo osciló entre 2,4 km/h y 17,2 km/h y no se ha encontrado que este factor haya influido en las emisiones.

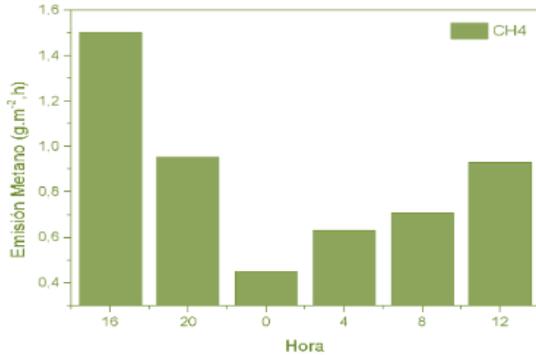


Figura 7. Emisiones de CH<sub>4</sub> en distintos horarios

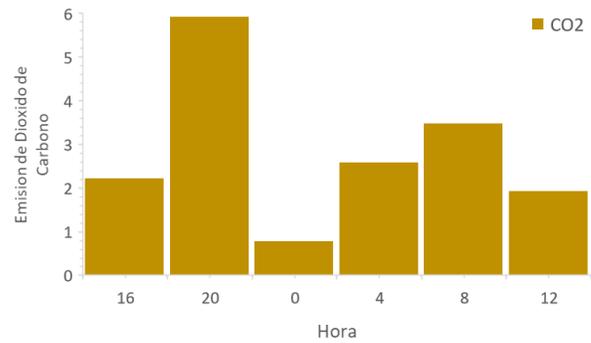


Figura 8. Emisiones de CO<sub>2</sub> (g/m<sup>2</sup>.h) en distintos horarios

En lo que respecta a los resultados de los puntos 2 y 3 de muestreo, aún están siendo procesados.

### Medición con equipo OP-FTIR

Las mayores concentraciones de CH<sub>4</sub> obtenidas a través de la medición con el equipo de FTIR, tanto en la laguna anaeróbica como la facultativa, se observaron a las 16.00 y 20.00 h, siendo los valores promedios medidos en la anaeróbica 215,9 y 139,0 ppb respectivamente, coincidiendo con el horario de los mayores valores obtenidos con las cámaras estáticas. Para la laguna facultativa los valores para estos horarios fueron 126,8 y 137,6 ppb respectivamente.

En la Figura 9 se observan las concentraciones promedio de amoníaco medidas a lo largo de la jornada de muestreo tanto para la laguna anaeróbica como la facultativa. Se puede observar que en la mayoría de los casos la concentración en la segunda laguna es mayor que en la primera. 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 de acuerdo con las condiciones de pH (Tabla 1) se podría liberar como amoníaco. Los datos obtenidos son comparables con los reportados por Panigatti et al. (2022), siendo 127,6 ppb para la laguna anaeróbica y 203,1 ppb para la laguna facultativa.

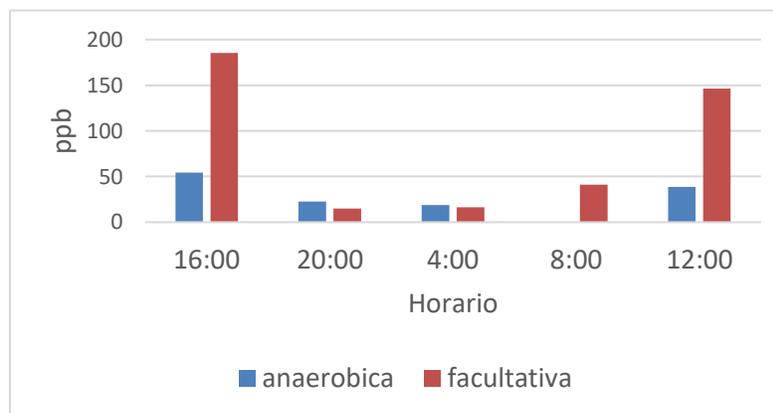


Figura 9. Emisiones de NH<sub>3</sub> en distintos horarios en las lagunas en estudio

### Análisis de efluentes

En la Tabla 1 se resume la caracterización fisicoquímica de los efluentes en los 3 puntos de muestreo correspondiente a las dos muestras puntuales. Se observa una oscilación entre 7,4 y 8,1 en los valores de pH para ambas lagunas. En lo que respecta a sólidos, según los datos obtenidos, las concentraciones de STV se encuentran en un rango de 28-37% del contenido de ST, estando ésta relacionada con la fracción de materia orgánica presente. A su vez, se puede observar una eficiencia de remoción del 10-23% de la carga orgánica que ingresa a la laguna, considerando a estos valores de remoción bajos para estos sistemas de tratamiento, y que en conjunto a otros contaminantes fisicoquímicos analizados en los efluentes demuestran que el desempeño de las lagunas no es óptimo, pudiendo incidir sobre las emisiones de GEIs. Los valores de NTK no tuvieron grandes variaciones comparando los diferentes horarios y puntos de muestreo.

Punto de muestreo	pH	ST (mg/L)	STV (mg/L)	DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	NTK (mg N/L)	Sulfuros (mg S <sup>-2</sup> /L)
VMS1	7,4-7,5	7252-6718	2608-2630	3144-2120	309,4-316,1	14,3-9,3
VMS2	7,9-8,0	7196-7190	2368-2426	2445-2445	305,7-302,4	8,3-8,1
VMS3	8,0-8,1	7284-7220	2026-2358	2620-2620	313,6-323,4	8,9-10,8

Tabla 1. Caracterización fisicoquímica de los efluentes. En cada celda los datos de la izquierda corresponden al muestreo de las 12 a.m., mientras que los de la derecha a las 12 p.m.

Las concentraciones de sulfuros para la laguna facultativa se hallan cercanas a los valores de la laguna anaeróbica, por lo que se podría relacionar a que su funcionamiento se encuentre en condiciones de anaerobicidad. Con respecto a los demás parámetros analizados no se observan variaciones significativas al comparar las concentraciones en los tres puntos de muestreo.

## Conclusiones

Es posible concluir que las emisiones de GEIs asociadas a las cámaras estáticas se encuentran estrechamente relacionadas con la temperatura ambiente y del agua detectadas en cada momento del día. A su vez, dichos valores se encuentran dentro de los rangos de emisiones presentadas por autores de otras partes del mundo. Asimismo, será de gran importancia analizar y comparar las temperaturas detectadas para cada uno de los lugares, como así también las escalas de mediciones empleadas.

Los resultados obtenidos por el método de OP-FTIR deben considerarse preliminares, observándose una dependencia de la concentración de metano con la temperatura y variación de la concentración de amonio con la zona de muestreo, habiendo una dependencia con el contenido de amonio en las lagunas.

La comparación de los datos de emisión obtenidos por ambas técnicas requiere evaluar el diseño experimental que permita relacionar la dinámica diaria y temporal, y que posibiliten correlacionar el flujo medido de gases en la superficie.

Los resultados de los contaminantes fisicoquímicos analizados en los efluentes líquidos demuestran que el desempeño del sistema de tratamiento no es óptimo, y esto también podría incidir sobre la producción de GEI.

Se considera que las cantidades de GEIs emitidas por este sistema de tratamiento de efluentes tienen un gran impacto sobre el medio ambiente, por lo que puede ser un gran desafío desarrollar procesos que permitan la captación de estos gases para su posterior uso como fuente de energía, permitiendo al predio autoabastecerse de la energía necesaria para cada una de sus actividades.

## Referencias

- APHA. (2017). Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 23<sup>rd</sup> Edition American Public Health Assoc.
- Craggs, R., J. Park, Heubeck. (2008). Methane emissions from anaerobic ponds on a piggery and a dairy farm in New Zealand. Aust. J. Exp. Agric. 48:142–146.

- García, A. R., Bérèterbide, J., Prosdócimo, F. (2021). Manejo de residuos en producciones animales intensivas avícola, porcina y bovina (tambo y feedlot): hacia una gestión sustentable. Buenos Aires INTA
- Leytem, A.B.; Bjorneberg, D.L.; Koehn, A.C.; Moraes, L.E.; Kebreab, E.; Dungan, R.S. (2017). Methane emissions from dairy lagoons in the western United States. *Journal of Dairy Science*. Volume 100, Issue 8: 6785-6803.
- Minato, K., Y. Kouda, M. Yamakawa, S. Hara, T. Tamura, T. Osada. (2013). Determination of GHG and ammonia emissions from stored dairy cattle slurry by using a floating dynamic chamber. *Anim. Sci. J.* 84:165–177.
- Panigatti, M. C.; Tieri, M. P.; Gere, J.; Charlon, V.; Pepino, R.; Fonseca, J.M.; Ceron Cucchi, M.; Griffa, C; Boglione, R.; Schierano, M. C. (2022). Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en sistemas de Tratamiento de efluentes en predios lecheros. Contaminación Atmosférica e Hídrica en Argentina: tomo VI. Actas del VIII Congreso PROIMCA y VI Congreso PRODECA. Villa María, Argentina, 22 al 24 de junio de 2022. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: edUTecNe, 2022.
- Pepino, R., Fonseca, J., Slythie, J., Fernández, J., López, E., Torres, J. (2017). Gestión de olores y su análisis en calidad de aire. Contaminación atmosférica e hídrica en Argentina. Buenos Aires. Actas del del VI Congreso PROIMCA y IV Congreso PRODECA. Bahía Blanca, Argentina, 6 al 8 de setiembre de 2017.
- Pratt, C., Walcroft, A. S., Tate, K. R., Ross, D. J., Roy, R., Reid, M. H., & Veiga, P. W. (2012). Biofiltration of methane emissions from a dairy farm effluent pond. *Agriculture, ecosystems & environment*, 152, 33-39.
- Rotz, C. A. (2018). Modeling greenhouse gas emissions from dairy farms. *Journal of dairy science*, 101(7), 6675-6690.
- Russwurm, G. M., & Childers, J. W. (1996). FT-IR open-path monitoring guidance document (No. PB-96-170477/XAB). ManTech Environmental Technology, Inc., Research Triangle Park, NC (United States).
- Weber, K., Lamp, T., Schulte, K., Weidemann, J., van Haren, G., Gärtner, A., & Bröker, G. (1996). Open-path FTIR measurements of methane as a tracer gas for waste site emissions at a waste site in Germany. In Proc. 89th Annual Meeting of AWMA.