

# Medición de Gases de Efecto Invernadero en efluentes de feedlot

Informe de Entrenamiento

Banira Lombardi

Director: Dr. Horacio Gonda

Beca de Entrenamiento - CIC

Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires

Tandil, Diciembre de 2016

## Contenido

1.	Introducción .....	4
1.1	Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a nivel mundial .....	4
1.2	Emisiones a nivel Nacional .....	5
1.3	GEIs de importancia en el sector .....	6
1.3.1	Metano .....	6
1.3.2	Óxido nitroso .....	7
1.3.3	Emisiones del sector .....	8
1.4	Producción ganadera en Argentina .....	11
1.5	Motivación.....	12
1.6	Objetivo .....	13
2.	Feedlot Vanguardia Sur.....	14
3.	Materiales y metodología .....	15
3.1	Dimensionamiento.....	16
3.2	Muestreo .....	17
3.3	Análisis de gases.....	19
3.4	Análisis químicos .....	21
4.	Resultados y análisis .....	22
4.1	Parámetros básicos .....	22
4.2	Metano .....	24
4.2.1	Cámaras instaladas sobre el suelo.....	24
4.2.2	Cámaras instaladas sobre la pila .....	25
4.3	Óxido nitroso .....	27
4.4	Un año después.....	29
5.	Conclusiones .....	30
6.	Bibliografía.....	32
7.	Anexo .....	35
7.1	Cromatógrafo de gases .....	35
7.2	Valores obtenidos .....	37
7.3	Un año después.....	46

## Resumen

*El objetivo del presente proyecto fue cuantificar las emisiones de metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) en un establecimiento de engorde a corral de la localidad de Tandil durante la primavera de 2015. La metodología utilizada para medir el flujo en la interfaz superficie-atmósfera fue la de cámaras estáticas. Se colocaron 5 cámaras sobre una pila de excretas acumulada de aproximadamente  $13 \text{ m}^3$ , y otras 2 sobre el suelo cercano libre de excretas, a modo de control. Se realizaron 10 campañas de muestreo en un período de 100 días, en las que las cámaras se cerraban alrededor de las 10:00 h y se tomaban 4 muestras secuenciales de aire de cada cámara en jeringas de 20 ml, a intervalos regulares de entre 2 y 15 minutos. Una vez obtenidas las muestras de aire se analizaron mediante cromatografía en fase gaseosa. Los flujos de GEIs fueron calculados a partir de las pendientes de las concentraciones de los gases en función del tiempo. La simple metodología utilizada resultó ser adecuada para determinar la emisión de  $\text{CH}_4$ , sin embargo, para el  $\text{N}_2\text{O}$  la mayoría de los cromatogramas presentaron anomalías, lo cual dificultó la determinación de la concentración de este último gas en ciertas muestras. En cuanto al metano, las emisiones de las cámaras colocadas en el suelo desnudo fueron del orden de  $10^{-4} \text{ gCH}_4 \text{ d}^{-1} \text{ m}^{-3}$ , lo cual resulta totalmente despreciable en comparación con los valores de las cámaras sobre la pila de excretas (con orden de magnitud 5 veces mayor). Además, al transcurrir el tiempo, se observó un incremento en el flujo de metano en la pila de excretas, acompañado por el aumento de las temperaturas medias y las precipitaciones registradas. En el último día de campaña, la emisión presentó valores muy altos, por lo que sería recomendable que la cuantificación del flujo se continuara durante períodos más largos para conocer su evolución completa.*

## 1. Introducción

### 1.1 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero a nivel mundial

Un aspecto notable de la historia climática de la Tierra es que la temperatura media tuvo un comportamiento oscilante en lapsos largos de millones de años, con importantes variaciones entre máximos y mínimos y otros períodos de oscilación relativamente cortos. En los últimos 10.000 años, que corresponde al presente período interglaciar llamado Holoceno, el clima de la Tierra ha permanecido relativamente estable, con pequeñas fluctuaciones dentro de un rango de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  respecto del valor actual (IPCC, 2013; Moss et al., 2000).

La historia térmica del Holoceno se caracteriza por una notable estabilidad, calidez y humedad, con abundantes precipitaciones, bajo albedo medio y concentraciones atmosféricas relativamente altas de Gases de Efecto Invernadero (GEIs). Después del vapor agua, los tres principales GEIs que preocupan son el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el metano ( $\text{CH}_4$ ) y el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Durante este período existe una fuerte correlación entre temperatura, humedad y concentración atmosférica de estos tres últimos gases. Pero el comportamiento de las concentraciones de los GEIs se desprende de cualquier explicación natural en la parte final del Holoceno, ya que en el último siglo y medio presenta alteraciones como consecuencia de las actividades humanas (Marcott et al., 2013).

A mediados de 1700, con el advenimiento de la Era Industrial, la concentración atmosférica de los GEIs presentó un incremento continuo, anómalo y de gran magnitud, lo cual motiva el debate sobre su relación con el calentamiento global (Ruddiman, 2003). Como consecuencia, las concentraciones de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  superan hoy considerablemente las concentraciones más altas registradas en los núcleos de hielo correspondientes a los últimos 800.000 años. Existe un nivel de confianza muy alto en cuanto a que las tasas promedio de aumento de las concentraciones atmosféricas durante el siglo pasado no han tenido precedentes en los últimos 22.000 años (IPCC., 2013). De esta manera puede afirmarse que el hombre ha modificado de forma importante ciertos aspectos críticos de la composición química de la atmósfera, alterando patrones que rigieron durante varios centenares de miles de años, y que las consecuencias de esta alteración son muy difíciles de prever.

De los GEIs antropogénicos emitidos en 2010, el  $\text{CO}_2$  es el principal representando un 76% del total, mientras que el 16% proviene del  $\text{CH}_4$ , el 6% del  $\text{N}_2\text{O}$  y el 2% de gases fluorados (IPCC., 2015). El valor tan elevado de la concentración mundial de  $\text{CO}_2$  se debe principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil y, en menor medida, a los

cambios en el uso del suelo. Esta situación se explica considerando los países con mayor desarrollo económico, donde el aporte relativo del dióxido de carbono lidera las emisiones globales; en algunos casos representa hasta el 90% de las emisiones totales, realmente importantes en países altamente industrializados (IPCC., 2015).

## 1.2 Emisiones a nivel Nacional

Por su parte, el perfil de emisiones de Argentina es el de un país cuyas actividades territoriales, como el cambio de uso de suelo (CUSS) y las actividades agropecuarias, son importantes (Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable, 2006).

En el Inventario Nacional 2012 de GEIs presentado en la 3er Comunicación Nacional, los sectores Energía, Agricultura y Ganadería, y CUSS constituyen más del 91% de las emisiones nacionales (Tabla 1). Esta participación relevante del sector agropecuario en el total de las emisiones de GEIs, refleja el perfil productivo del país, como así también en las altas contribuciones relativas del metano y del óxido nitroso.

Por lo tanto, la contribución de los tres GEIs principales en Argentina para el 2012, contemplando el potencial de calentamiento global de cada uno, es de 64% de CO<sub>2</sub>, 19% de CH<sub>4</sub> y 17% de N<sub>2</sub>O. De todas formas, el perfil de emisiones sigue siendo distinto al mundial mencionado anteriormente, con mayor importancia en las contribuciones del óxido nitroso y del metano (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015).

Inventario GEIs 2012	CO2	CH4	N2O	CF4	C2F6	SF6	HCFC23	CO2eq	%
1. Energía	173.487	384	5,90	-	-	-	-	183.378	42,7%
2. Procesos Industriales	14.713	2,23	0,47	0,03	0,00	0,00	0,02	15.268	3,6%
3. Uso de solventes y otros productos	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0%
4. Agricultura y Ganadería	-	2.351	226	-	-	-	-	119.499	27,8%
5. Cambio de Uso del Suelo y Silvicultura	85.275	227	2	-	-	-	-	90.515	21,1%
6. Residuos	65	936	3,4	-	-	-	-	20.778	4,8%
<b>Total (Gg)</b>	<b>273.540</b>	<b>3.900</b>	<b>238</b>	<b>0,03</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,02</b>	<b>429.437</b>	
<b>Potencial de Calentamiento Global</b>	<b>1</b>	<b>21</b>	<b>310</b>	<b>6.500</b>	<b>9.200</b>	<b>23.900</b>	<b>11.700</b>		
<b>Total (GgCO2eq)</b>	<b>273.540</b>	<b>81.896</b>	<b>73.638</b>	<b>163</b>	<b>21</b>	<b>2</b>	<b>178</b>		
<b>%</b>	<b>63,7%</b>	<b>19,1%</b>	<b>17,1%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>	<b>0,0%</b>		

Tabla 1: Participación de los diferentes sectores en las emisiones de GEIs y la contribución de los mismos en el inventario del año 2012. Fuente: (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015).

## 1.3 GEIs de importancia en el sector

### 1.3.1 Metano

La concentración media de CH<sub>4</sub> en la atmósfera se está incrementando continuamente con un valor actual de 1,8 ppmv, siendo más del doble que la existente en épocas preindustriales (Khalil, 2000). El metano se origina tanto naturalmente como a partir de actividades antropogénicas y tiene un potencial de calentamiento 21 veces superior al del CO<sub>2</sub> (Lucbert et al., 2006).

Un gran porcentaje del metano emitido hacia la atmósfera se debe principalmente a la acción de bacterias metanogénicas, que actúan directamente en ambientes donde el oxígeno está ausente o su concentración es baja, es decir, donde las condiciones son anaeróbicas. Esto ocurre en los suelos con alta humedad (como el fondo de aguas estancadas de pantanos o humedales, los depósitos de residuos sólidos urbanos, la acumulación de excretas) o en los aparatos digestivos de los rumiantes, al descomponerse los hidratos de carbono de la materia orgánica vegetal en moléculas más simples (Lelieveld et al., 1998).

Las emisiones netas de CH<sub>4</sub> al ambiente son un balance entre la producción y la degradación de dicho compuesto, por lo que otras bacterias que tienen importancia en este proceso son las metanotrofas, que secuestran al metano mediante la oxidación del mismo. La captación de metano por el suelo es un flujo pequeño pero importante en el presupuesto global atmosférico, y podría ser susceptible a los cambios en el uso del suelo y al clima. Por lo tanto, cualquier cambio importante que se introduzca en el suelo podría alterar la red de biosfera-atmósfera, como así también, el flujo de oxidación del metano atmosférico. (Dutauri et al., 2007)

Las fuentes naturales de metano constituyen sólo la tercera parte de las fuentes totales presentes hoy en día, lo cual involucra mayoritariamente a la degradación de materia orgánica bajo condiciones anaeróbicas en humedales. Por lo tanto, se puede afirmar que el 70% de las emisiones de CH<sub>4</sub> están relacionadas, actualmente, con las actividades humanas (Primavesi et al., 2004). Las emisiones más importantes involucran a los arrozales, los rumiantes domésticos, la degradación en basureros y las pérdidas de metano debido al uso de combustibles fósiles (Lelieveld et al., 1998). Dentro de las emisiones antropogénicas, los rumiantes domésticos son responsables del 25% (Makkar et al., 2007), por lo tanto son considerados como contribuyentes significativos a la concentración atmosférica de GEIs.

En Argentina, el metano es un gas de efecto invernadero de particular relevancia debido a la importante actividad ganadera del país. Según el último Inventario Nacional presentado por nuestro país, las emisiones totales de CH<sub>4</sub> fueron de 81.896 Gg CO<sub>2</sub> eq, siendo el sector Agricultura y Ganadería el de mayor nivel de emisiones de este gas con un 60% de las emisiones totales de CH<sub>4</sub>, principalmente como consecuencia de los flujos provenientes de la fermentación entérica producida por el ganado. En segundo lugar se ubica el sector Residuos que aportó el 24% de emisiones de este gas y en tercer lugar el sector Energía debido básicamente a las emisiones fugitivas aportando un 10%.

En el sector de Agricultura y Ganadería, la producción entérica de CH<sub>4</sub> por parte de los rumiantes (principalmente bovinos) es el mayor contribuyente a las emisiones de gases de efecto invernadero es la producción entérica de metano, seguido del CH<sub>4</sub> producido por el manejo del estiércol. La mayor parte de las emisiones de CH<sub>4</sub> proveniente del estiércol se produce en condiciones anaeróbicas durante su almacenamiento. De esta forma, el estiércol produce menos CH<sub>4</sub> cuando se maneja como un sólido (por ejemplo, en pilas) o cuando se deposita sobre pastos o pastizales (Montes et al., 2014) respecto de aquellos manejos donde trabaja con efluentes más líquidos.

### 1.3.2 Óxido nitroso

El otro gas de efecto invernadero producido en cantidades considerables en la actividad agropecuaria es el óxido nitroso. Su tiempo de residencia en la atmósfera es largo, mostrándose muy eficiente al absorber radiación de onda larga, con un potencial de calentamiento global 310 veces mayor que el CO<sub>2</sub> (Lubert et al., 2006).

El N<sub>2</sub>O se produce naturalmente en el suelo por dos procesos microbianos: la desnitrificación y la nitrificación. Esta última se da por medio de la oxidación de N-amoniaco (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) a nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), mientras que la desnitrificación se da por la reducción de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) hasta N molecular (N<sub>2</sub>) (EPA., 2015). Ambos procesos ocurren, en su mayor parte, como consecuencia del abonado químico con fuentes nitrogenadas de los cultivos y, una pequeña proporción, de la fertilización orgánica. Se ha observado que después de aportes nitrogenados se producen incrementos en las tasas de emisión de N<sub>2</sub>O, tanto en condiciones de campo como de laboratorio, principalmente cuando el contenido de agua del suelo es alto o inmediatamente después de una lluvia o riego (Sánchez Martín, 2008). La nitrificación requiere amonio, oxígeno y CO<sub>2</sub>, mientras que la desnitrificación es favorecida por niveles

adecuados de carbono disponible y nitrato, en condiciones de deficiencia de oxígeno. Estos factores a su vez están regulados por ciertas propiedades del suelo como textura, aireación del suelo, temperatura, humedad y pH. (Montes et al., 2014)

En los sistemas de producción de bovinos, las emisiones directas de N<sub>2</sub>O procedentes del almacenamiento de estiércol son pequeñas en comparación con las emisiones de CH<sub>4</sub>. Aun así, son un importante contribuyente a las emisiones totales de GEIs de la agricultura (Montes et al., 2014). La mayor parte del N<sub>2</sub>O proveniente del estiércol se produce directamente en los corrales y suelos enriquecidos con excretas (tanto materia fecal como orina) a través de inicialmente la nitrificación microbiana en condiciones aerobias y la desnitrificación parcial en condiciones anaeróbicas (EPA., 2015).

Las emisiones estimadas de N<sub>2</sub>O en Argentina para el año 2012 fueron 73.638 Gg CO<sub>2</sub> eq. El sector Agricultura y Ganadería generó el 95,2% del total de este gas, como consecuencia de las emisiones provenientes de suelos agrícolas, entre las que se encuentran: las emisiones directas e indirectas por excretas animales en sistemas pastoriles (33%), las emisiones directas de cultivos fijadores de nitrógeno (31%), el aporte de nitrógeno de residuos de cosecha de cultivos agrícolas (22%), las emisiones directas e indirectas por uso de fertilizantes (10%) y en menor medida, el aporte proveniente del estiércol ganadero (3%) y la quema de residuos agrícolas (1%) (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015).

### 1.3.3 Emisiones del sector

A nivel global, la ganadería es responsable de aproximadamente el 23% de las emisiones de CH<sub>4</sub> de origen antropogénico (Khalil, 2000), con el ganado bovino como el principal emisor; esto indica la importancia de la cuantificación de estos gases debido al perfil ganadero del país.

Las emisiones del sector Agricultura y Ganadería en Argentina, como se mencionó anteriormente, provienen principalmente de actividades agrícolas, a partir de la aplicación de fertilizantes nitrogenados, cultivos de arroz, y quema de residuos agrícolas; y pecuarias por la fermentación entérica y el manejo del estiércol (Figura 1). Las mismas comprenden emisiones de metano y óxido nitroso, y gases precursores de ozono (NO<sub>x</sub> y CO).

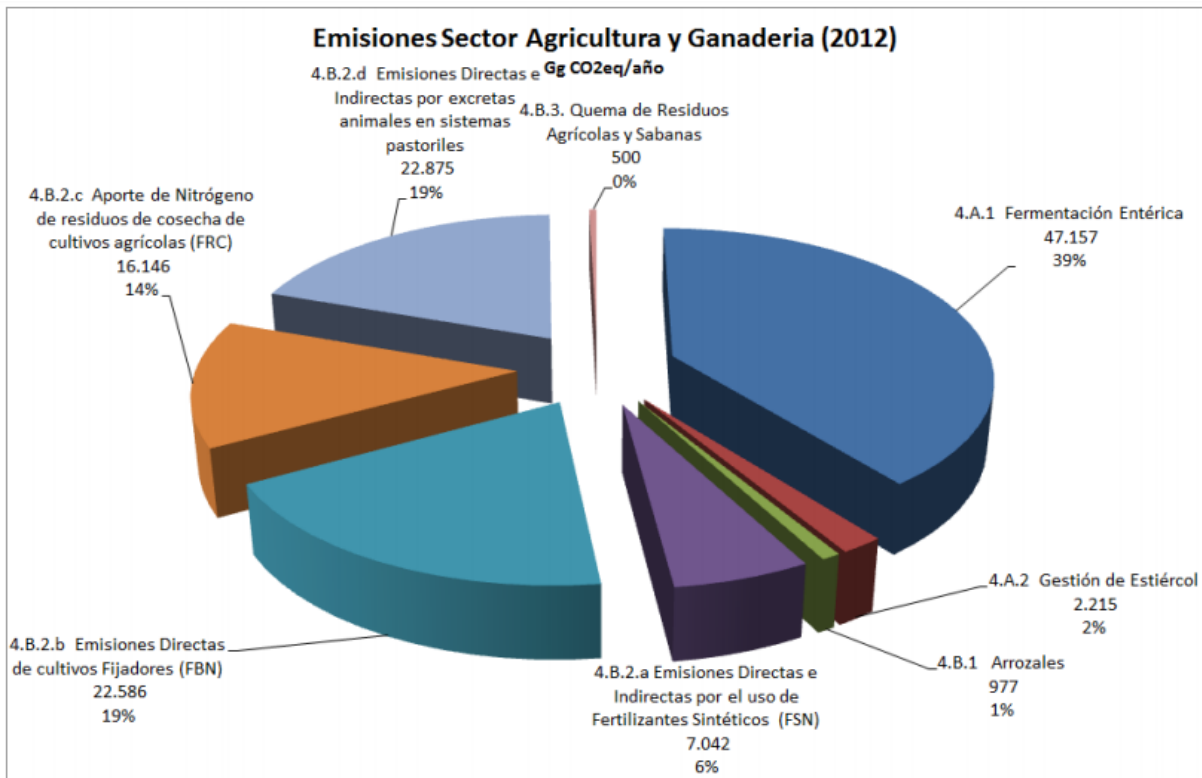


Figura 1: Emisiones del sector Agricultura y Ganadería correspondiente al año 2012, medidas en Gg CO<sub>2</sub>eq/año.

Fuente: (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015).

En las últimas décadas, la agricultura en Argentina ha experimentado un marcado crecimiento en la producción total, y éste crecimiento es explicado tanto por la expansión de la superficie cultivada así como por la adopción de nuevas tecnologías que se incorporaron a los sistemas productivos, las cuales generan una mayor eficiencia en el uso de los recursos (aumento en la productividad). Por otra parte, la ganadería, y en particular la producción de carne bovina nacional, ha tenido una dinámica diferente a la producción agrícola, presentando fluctuaciones aunque sin tendencias definidas (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015). Esto se ve reflejado en la evolución que han tenido tanto las existencias del stock ganadero, como el nivel de la faena de ganado bovino para el periodo 1990-2012 (ver más adelante en “Producción ganadera en Argentina”).

Analizando los números de emisiones de GEIs, el sector Agricultura y Ganadería generó 119.498 Gg de CO<sub>2</sub> eq en 2012; esta cantidad ubica al sector como el segundo mayor emisor de la República Argentina, aportando el 28% del Inventario de GEIs. Dentro del sector, el 59% corresponden a emisiones de N<sub>2</sub>O, mientras que el 41% restante corresponden a emisiones de CH<sub>4</sub> (Tabla 2), lo cual indica una relación directa con los porcentajes de contribución de la Agricultura y de la Ganadería (59% y 41% respectivamente).

Categoría		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>	CO
Ganadería	Fermentación entérica	-	47157,40	-	-	-
	Gestión del estiércol	-	823,43	1392,06	-	-
<b>Parcial Ganadería</b>		-	<b>47980,83</b>	<b>1392,06</b>	-	-
Agricultura	Arrozales	-	977,34	-	-	-
	Suelos agrícolas	-	-	68648,20	-	-
	Quema de residuos agri.	-	415,97	84,26	9,83	485,6
<b>Parcial agricultura</b>		-	<b>1393,31</b>	<b>68732,46</b>	<b>9,83</b>	<b>485,6</b>
		-	<b>49374,14</b>	<b>70124,52</b>	<b>9,83</b>	<b>485,6</b>

Tabla 2: Emisiones por categoría y gas de efecto invernadero del sector Agricultura y Ganadería en 2012 expresados en CO<sub>2</sub>eq. Fuente: (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015).

Se desprende de la Tabla 2 que la mayor contribución a la emisión de CH<sub>4</sub> de la ganadería Argentina se debe fundamentalmente a la fermentación entérica y en menor medida a la fermentación de las deyecciones ganaderas. De todas formas, si bien la contribución a las emisiones de CH<sub>4</sub> por deposición de excretas en pastoreo son menores, el manejo del estiércol no deja de ser un tema de importancia en sistemas de producción lechera y de carne en engorde a corral (Monteny et al., 2001).

Por otro lado, del total de N<sub>2</sub>O emitido a la atmósfera, los responsables del 98% son los suelos agrícolas, y el pequeño porcentaje restante proviene de la gestión del estiércol de ganado doméstico y de la quema de residuos agrícolas. En este sector también son generados precursores de GEIs como consecuencia de la combustión incompleta del combustible durante la quema de residuos agrícolas (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015).

Las excretas del ganado bovino, particularmente en los sistemas de engorde a corral, se disponen mediante sistemas de captación de efluentes líquidos o se recolectan y almacenan en forma sólida para su deposición final como abono. Ciertas variables presentes en el manejo de las mismas pueden favorecer las emisiones de los GEIs. En el caso del CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O las emisiones son afectadas por la humedad, la temperatura del suelo, la tasa de difusión, el nivel de oxígeno, el pH, la compactación y el drenaje del suelo (Willison et al., 1995; Sánchez Martín, 2008). Además la distribución no uniforme de las excretas incrementa la variabilidad espacial (van den Pol-van Dasselaar et al., 1998).

En este sentido, según el Inventario de GEIs de la Tercera Comunicación Nacional, las emisiones de CH<sub>4</sub> por fermentación entérica siguieron la dinámica evolutiva del stock total de

bovinos de carne, sin embargo, las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O del sector debido al manejo del estiércol, estuvieron relacionadas al desarrollo de los sistemas intensivos de engorde a corral.

#### 1.4 Producción ganadera en Argentina

A nivel nacional, el stock de ganado bovino más relevante es el destinado a la producción de carne, presentado en la Figura 2 desde el año 1990 hasta el 2012, junto con la evolución temporal de emisiones de GEIs. Se puede observar que ambas variables presentan una dinámica similar durante ese período. Tanto la faena como las existencias registran las variaciones propias de los ciclos productivos ganaderos; de esta forma se pueden ver el impacto producido por los cambios del negocio ganadero a partir del 2006 y una importante sequía durante 2008-2009, los que generaron una reducción del 20% del stock de bovinos en los años siguientes, con la consecuente caída en las emisiones (Figura 2) (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015).

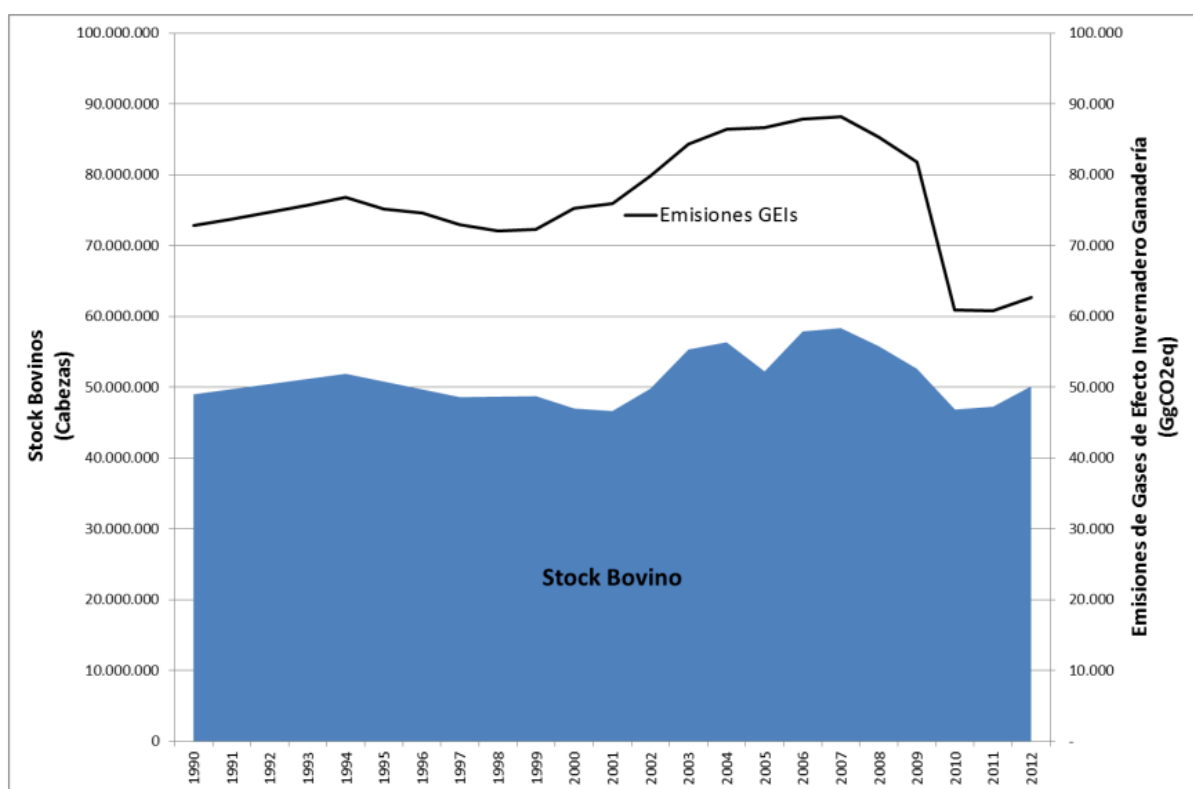


Figura 2: Existencias de ganado bovino de carne y las emisiones de GEIs provenientes de la ganadería (1990-2012). Fuente Emisiones: (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015); Stock: SENASA.

En la producción de carne, la principal categoría animal es la vaca de cría. Ésta se encuentra en sistemas pastoriles, tanto sobre pasturas implantadas como sobre pastizales y/o

campos naturales. Sin embargo, y dada las condiciones favorables de estos últimos años para la agricultura en la Argentina, los sistemas pastoriles de recría y engorde se han ido complementando con encierres parciales y totales de la hacienda. Las ventajas comparativas que presenta este tipo de sistema de producción (facilidad en el manejo de la alimentación, mayor velocidad de crecimiento, uniformidad en la terminación del animal), han llevado a difundir esta práctica de engorde a corral.

En Argentina, en el año 2008 un 10% de los bovinos enviados a faena eran alimentados en sistemas de engorde a corral (Robert et al., 2009). Actualmente, debido a la Cuota 481, la cual requiere 48.000 toneladas por año de cortes de calidad producidos a corral, concedida a nuestro país por la Comunidad Europea, se estima que cerca del 50% de la producción de carne de novillos y vaquillonas se están terminando en sistemas estabulados.

Por lo tanto, para alcanzar el escenario de crecimiento sectorial propuesto por el Ministerio de Economía y Finanzas Públicas (Feldkamp et al., 2015), la evolución de las emisiones del sector Ganadería para el 2030, tanto por fermentación entérica como por manejo de estiércol, mostrarían un incremento relacionado principalmente al aumento del stock de animales. Las proyecciones de 2013 a 2030 no incluyen variaciones abruptas y asumen una recuperación del stock a valores previos al 2008, así como una mejora en la eficiencia productiva, permitiendo alcanzar las estimaciones oficiales de crecimiento para este sector (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2015).

Muchos de los impactos sobre el clima pueden ser reducidos, retardados o evitados mediante medidas de mitigación. Los esfuerzos e inversiones en este sentido, durante los próximos dos o tres decenios determinarán, tal como se planteó en la cumbre de Río de 1992 y la última Cumbre de Lucha contra el Cambio Climático (COP21) en 2015, la oportunidad de reducir la concentración de GEIs en la atmósfera y disminuir las consecuencias no del todo conocidas del cambio climático. Dentro de las opciones técnicas que permiten mitigar las emisiones producidas por este sector, aparece la recuperación de carbono orgánico, el secuestro de carbono por medio de la agroforestación, el mejoramiento de las dietas en los animales y un mejor manejo del estiércol.

## 1.5 Motivación

En el marco actual de la preocupación existente por el cambio climático, aparece un genuino interés por identificar y cuantificar las fuentes y sumideros de los gases de efecto

invernadero, con el objetivo de implementar estrategias que permitan reducir su concentración atmosférica o, cuanto menos, impedir su aumento.

La República Argentina, como país en desarrollo, participa con un 0,6 % de las emisiones de GEIs mundiales, y por lo tanto no está obligada a cumplir las metas cuantitativas fijadas por el protocolo de Kyoto. Pese a ello, en el año 1994, Argentina revalidó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático mediante la Ley N° 24.295, y de la misma manera lo hizo, en el año 1997, con el protocolo de Kyoto. Más aún, en la COP21 realizada en París, Argentina se comprometió a disminuir para el 2030 un 15% de sus emisiones de GEIs proyectadas para ese mismo año. Esta decisión pone en evidencia el compromiso del país frente al Cambio Climático, con lo cual, el Gobierno de la República Argentina no sólo se comprometió a elaborar, actualizar y publicar periódicamente inventarios nacionales de las emisiones de todos los GEIs, sino a tomar las medidas necesarias para su mitigación.

Actualmente, los balances se calculan a partir inventarios locales de las distintas actividades y rubros (transporte, energía, agricultura, residuos, etc.), y de factores de emisión medidos en otros países, generados con información en otras condiciones ambientales y a otra escala espacial, ya que las mediciones del país no son suficientes para la elaboración de valores de factores de emisión propios.

## 1.6 Objetivo

A raíz de las necesidades concretas planteadas en la motivación, se busca cuantificar las emisiones de GEIs en las excretas bovinas de un sistema de engorde a corral.

El objetivo fundamental es lograr medir flujos de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, a partir de las deyecciones (orina y heces) de bovinos de carne confinados en sistemas de engordes a corral, ligadas al manejo de los efluentes del feedlot. Una vez determinados los distintos sitios de interés (corrales, sectores de acumulación de excretas, sectores de aplicación de excretas sobre el terreno, etc.), se pretende medir los flujos en el punto más conveniente. Además, analizar si existe alguna correlación entre los parámetros medidos y los valores de los flujos de GEIs encontrados.

## 2. Feedlot Vanguardia Sur

Las mediciones se realizaron en el establecimiento de engorde a corral “Vanguardia Sur”, que se encuentra emplazado en la localidad de Tandil, Buenos Aires. La capacidad máxima del feedlot permite albergar unas 23000 cabezas, aunque durante el momento de trabajo, sólo contaban con 13000 animales de diferentes razas. Durante el período de engorde, los bovinos están estabulados en corrales de, aproximadamente, 300 animales, siendo el período de permanencia de cada lote de unos 100 días.

En este sistema de engorde a corral, los animales son alimentados inicialmente con una dieta de adaptación, para finalmente utilizar una dieta con proporciones relativas al peso seco de silaje de maíz (55%), silaje de cebada (15%) y alimento balanceado (30%) compuesto por grano de maíz, burlanda, expeller de soja y complejo vitamínico-mineral.

Periódicamente las excretas producidas por los animales en los corrales, se van acumulando en cierto sector del corral; en relación a la fracción líquida, parte escurre debido a la inclinación del terreno hacia unas lagunas ubicadas en una zona más baja pensadas para este fin; la fracción sólida, en cambio, se acumula. Una vez que los corrales se vacían, las excretas son retiradas con un tractor con pala cargadora para ser transportadas y acumuladas en pilas a lo largo de los alambrados fijos, de no más de 0,8m de altura en diferentes potreros del sistema productivo, y luego de aproximadamente 2 años de estacionamiento y sin ningún tipo de tratamiento son dispersadas mediante un estercolero y utilizadas como fertilizante para los cultivos realizados en el establecimiento.

El lugar donde se depositaron las excretas de los animales y donde se realizó la toma de muestras, se encuentra marcado en la Figura 3 con un punto amarillo.



Figura 3: Vista satelital del predio del sistema de engorde a corral. El punto amarillo está localizado en la zona de medición.

### 3. Materiales y metodología

En muchos estudios medioambientales, los flujos de GEIs se cuantifican utilizando la metodología de medición en cámaras estáticas cerradas (Hutchinson et al., 2001). El principio básico de esta técnica es cubrir un área conocida de suelo con una cámara cerrada que permite el intercambio de gases entre el suelo debajo de la cámara y el espacio dentro de la misma. El cambio de la concentración de los gases a través del tiempo dentro de la cámara se cuantifica, y se traduce en una tasa, que representa el flujo que sale o entra al suelo. El grupo de trabajo dentro del cual realicé el entrenamiento, ya tenía experiencia en el uso de cámaras estáticas para la detección de metano desde materia fecal (Juliarena et al., 2014; Priano et al., 2014).

Debido a la gran variabilidad espacial y temporal de la producción y sumidero de GEIs en los suelos, a menudo se requiere un gran número de cámaras para obtener un promedio representativo del sistema medido. La ventaja de las cámaras estáticas es que se pueden construir utilizando materiales de bajo costo, lo cual permite instalar un gran número de réplicas (Pihlatiel et al., 2013). Para el presente estudio, se colocaron 5 cámaras sobre una pila de excretas extraída de un corral días previos a su colocación, y 2 sobre el suelo cercano para conocer los valores de referencia del lugar.

### 3.1 Dimensionamiento

Al momento de comenzar con la experiencia se eligió la pila de excretas más fresca, colocada la última semana de Agosto de 2015. Inicialmente se midió con una cinta métrica el perímetro de la pila de excretas, así como la altura en distintos puntos, para poder aproximar su volumen, el cual resultó ser de  $13\text{m}^3$  aproximadamente (Figura 4). El rectángulo marcado en la figura delimita la pila con sogas a partir de las cuales se tomaron las medidas, las líneas gruesas indican el contorno de la misma y las circunferencias marcan la posición de las cámaras colocadas sobre la pila, con sus respectivas alturas.

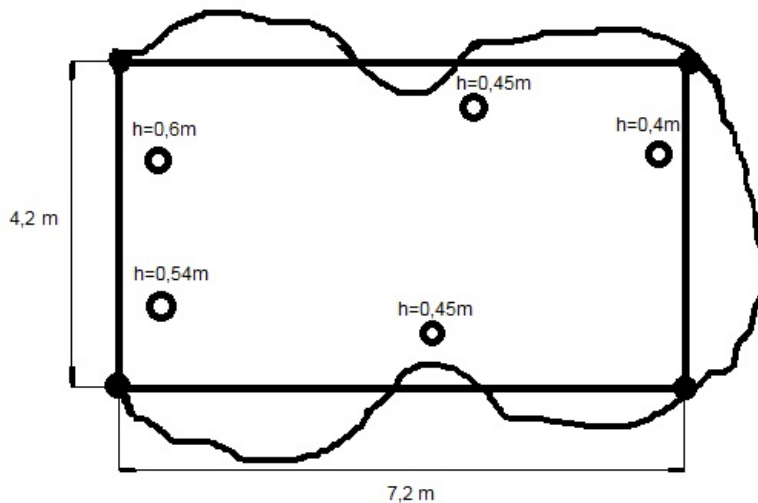


Figura 4: Croquis de la pila de excretas. Los círculos corresponden a la ubicación de las cámaras.

Como se mencionó anteriormente, para contener las muestras de aire de la pila de excretas se dispusieron 5 cámaras estáticas, distribuidas de forma aleatoria (Figura 5 A). Las cámaras fueron fabricadas con un cilindro recto de caño de plástico PVC, de 16 cm de diámetro y unos 20 cm de largo, el cual se enterró entre 5 y 10 centímetros sobre la pila de excretas. Por otra parte, se enclavaron 2 cámaras en suelo cercano libre de excretas, para obtener un valor de referencia del ambiente (Figura 5 B). Una vez colocadas, se nivelaron, y se midió la altura interna de cada una para estimar el volumen de gas que podrían contener.

Al momento de coleccionar las muestras de aire in situ, las cámaras se cerraron con una tapa del mismo material, la cual contaba con un ventilador adosado para homogeneizar el aire interno y una válvula que termina en una manguera, donde es posible acoplar una jeringa para extraer las muestras de aire secuenciadas. Para el funcionamiento del ventilador se conectaron los terminales pasantes de cada tapa a una batería de 12 V y 4 Am/hora (la cual permite trabajar durante períodos largos); el ventilador se mantuvo encendido durante todo el muestreo.



Figura 5 A: Distribución de las cámaras sobre la pila de excretas.



Figura 5 B: Distribución de las cámaras sobre el suelo cercano libre de excretas.

### 3.2 Muestreo

El ensayo tuvo una duración de 100 días, desde el 01 de Septiembre al 9 de Diciembre del 2015 coincidiendo con el período de primavera. Se realizaron 10 campañas de muestreo los días 1, 8, 15, 22, 29, 43, 57, 70, 85 y 100, siempre alrededor de las 10 de la mañana. Inicialmente, las campañas de medición se realizaron una vez por semana, para luego espaciarse a períodos de dos semanas. En cada una de las campañas se obtuvieron 4 muestras de aire secuenciales y equiespaciadas en el tiempo de cada una de las cámaras.

Para extraer las muestras gaseosas se utilizaron jeringas de plástico de 25 ml, con llaves de 3 vías las cuales fueron sometidas previamente a una doble limpieza con nitrógeno de calidad de alta pureza. Luego del proceso de limpieza, las jeringas quedaron cargadas con  $N_2$  hasta su utilización. Previo a la toma de muestras de aire del interior de la cámara, todas las jeringas fueron vaciadas in situ (eliminando el  $N_2$  de su interior). Una vez cerrada la cámara y encendido el ventilador, se conectaron las jeringas correspondientes a tiempo cero en la válvula de la tapa de cada cámara, y se realizó el enjuague de la jeringa (cargando y descargando el contenido de la jeringa tres veces sin retirarla de la válvula) hasta que, en la cuarta extracción se guardó la muestra. Inmediatamente, se cerró la jeringa y se desconectó de la tapa. Antes de retirar la jeringa se cerró la válvula de la cámara para que no se mezcle con el aire externo.

El intervalo de tiempo entre las muestras secuenciales depende de la ubicación de la cámara, del gas de interés y de la antigüedad de las excretas. Así, en las *cámaras de suelo desnudo*, se utilizaron intervalos de 15 minutos entre cada muestra (i.e. 0, 15, 30 y 45 minutos). Por otro lado, en las *cámaras de la pila de excretas*, inicialmente se realizaron extracciones cada 5 minutos, y en campañas posteriores el tiempo se redujo a 2 minutos, ya que las concentraciones resultaron ser lo suficientemente altas para definir un incremento notable en tiempos más reducidos.

En cada campaña se midió la temperatura ambiente ( $T_a$ ), la temperatura del aire dentro de una cámara de excretas ( $T_c$ ) y la temperatura del aire dentro de una cámara de suelo ( $T_s$ ), y finalmente la temperatura de la pila a 5 cm de profundidad dentro de una cámara ( $T_b$ ). En todas las tomas de temperaturas se tuvo el cuidado de que el termómetro no fuera irradiado directamente por el sol, y en el caso de la temperatura ambiente, siempre se tomó en la sombra y a una altura de 1,20 m respecto del suelo.

A su vez, se recolectaron 6 muestras aleatorias de excretas de la pila donde se realizó el muestreo, en bolsas de nylon, para estudiar el porcentaje de humedad. Es importante destacar que a medida que pasaba el tiempo entre campañas, la parte superficial de la pila de excretas iba perdiendo humedad y se endurecía, por lo tanto para poder acceder a la muestra húmeda se debía retirar dicha capa seca, que en cada campaña aumentaba más su grosor.

### 3.3 Análisis de gases

Para realizar el análisis de las muestras de aire y cuantificar la concentración de los gases en estudio se utilizó un cromatógrafo gaseoso Agilent 7890A con un detector de ionización de llama (FID) para el CH<sub>4</sub> y un detector de captura de electrones (ECD) para el N<sub>2</sub>O (ver en el anexo “Cromatógrafo de gases”).

La cuantificación utilizada fue la brindada por el software, el cual detecta el comienzo y el final de cada pico, integrando el área bajo la curva y trazando automáticamente la línea de base; luego correlaciona el área obtenida con la concentración según la curva de calibración para la misma sustancia. En los cromatogramas que presentaban picos agudos, simétricos y claramente definidos, los valores de concentración aceptados fueron los brindados por el software. Sin embargo, en los picos con algo de asimetría se verificó si los valores sugeridos por el integrador del software se asemejaban a los calculados manualmente. En la mayoría de los casos, este método proporcionó muy buenos resultados para picos de forma aproximadamente *gaussiana*, pero los resultados fueron menos satisfactorios para picos no simétricos o para aquellos parcialmente resueltos.

Para el metano, absolutamente todos los picos estaban claramente definidos. En contraposición, las curvas del óxido nitroso en general presentaron picos asimétricos y parcialmente resueltos, lo cual dificultó las integraciones del software que en algunos casos arrojaron valores poco confiables. Este problema, no obstante, se intentó resolver manualmente, visualizando la forma en que se integran los picos, para luego modificar las alturas o áreas y realizar una nueva integración. Las concentraciones para este gas en ciertas muestras no pudieron cuantificarse por la baja definición que presentaban los cromatogramas.

Para conocer flujo del intercambio neto superficie-atmósfera, en cada cámara, se procesaron las cuatro muestras secuenciales y posteriormente se graficaron las concentraciones para estudiar la dependencia de éstas con el tiempo de toma de muestra. Las curvas se ajustaron con una regresión lineal, obteniéndose de cada cámara cierto valor de pendiente  $m$ , acompañado de un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) que permitió definir qué tan representativa era la regresión, como muestra la Figura 6. Durante todo el ensayo se consideraron válidas aquellas regresiones que presentaron un  $R^2 > 0,7$ . Se distinguieron comportamientos de fuente o sumidero dependiendo de si la pendiente presentó valor positivo o negativo respectivamente.

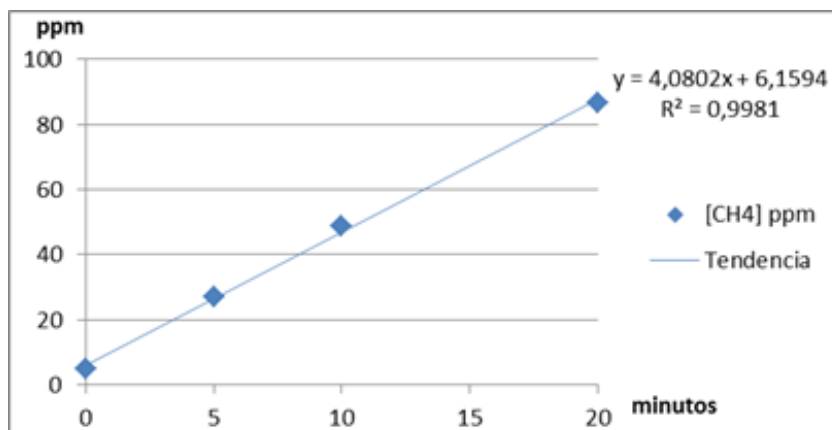


Figura 6: Concentración de metano vs tiempo de toma de muestra, con t=0 para la primer jeringa, con su regresión lineal, perteneciente a una cámara colocada sobre la pila de excretas.

Una vez obtenidas las pendientes en  $\left[\frac{ppm}{min}\right]$ , se realizó una serie de cálculos que incluyeron distintas variables, para finalmente conocer el intercambio neto de gas de cada cámara. Para iniciar los cálculos se utilizó la ecuación de gas ideal, la cual lleva a determinar el número de moles  $n$  del gas de interés, que varía en cada caso según la temperatura  $T_c$  del aire ( $^{\circ}K$ ) dentro de la cámara en cuestión. Esta temperatura se encuentra multiplicada por un factor de conversión  $FC$  derivado de la Ecuación 1.

$$n = \frac{P \times V}{R \times T_c}$$

$n$  = número de moles

$P$  = presión atmosférica = 1atm

$V$  = volumen de una ppm =  $10^{-6}cm^3$

$R$  = constante universal de los gases =  $0,08205746 \left[\frac{atm \ l}{mol \ ^{\circ}K}\right]$

$T_c$  = temperatura del aire dentro de la cámara

$$n = \frac{FC}{T_c} = \frac{1,22 \times 10^{-8}}{T_c} \times \frac{^{\circ}K \ mol}{ppm}$$

**Ecuación 1: Ecuación de gas ideal que deriva en el factor de conversión FC.**

Para obtener el flujo expresado en  $\left[\frac{mol}{min}\right]$ , se debió multiplicar el número de moles del gas de interés por la pendiente  $m$  hallada previamente. De esta manera, el flujo queda expresado en número de moléculas por unidad de tiempo, y para obtener la masa del gas que fluye en la cámara, debe multiplicarse por el peso molecular  $PM \left[\frac{gr}{mol}\right]$  de cada gas.

Hasta aquí, el flujo queda expresado en  $\left[\frac{gr}{min}\right]$ . Para obtener la masa total que se encuentra dentro de la cámara, se debe multiplicar por el volumen de cada una  $V = \pi \times r^2 \times H$  y al dividir por el área  $A = \pi \times r^2$  se puede conocer el intercambio por unidad de superficie. De esta forma, el flujo se expresa como unidades de masa por unidad de tiempo y área  $\left[\frac{gr}{min\ cm^2}\right]$ , como muestra la Ecuación 2.

$$FL \left[\frac{gr}{min\ cm^2}\right] = \frac{FC}{T_c} \times m \times PM \times \frac{V}{A} = \frac{FC}{T_c} \times m \times PM \times H$$

$FC = \text{factor de conversión}$

$m = \text{pendiente de la regresión lineal}$

$PM = \text{peso molecular del gas de interés}$

$$PM_{CH_4} = 16,04 \frac{gr}{mol}, \quad PM_{N_2O} = 44,013 \frac{gr}{mol}$$

$V = \text{volumen}, \quad A = \text{área}, \quad H = \text{altura interna de la cámara.}$

**Ecuación 2: Flujo gaseoso FL medido en  $gr\ min^{-1}\ cm^{-2}$ .**

Finalmente, se multiplicó en cada caso por otro factor de conversión constante igual a  $1,44 \times 10^7 \frac{min\ cm^2}{dia\ m^2}$ , para expresar el flujo en unidades de  $\left[\frac{gr}{m^2\ dia}\right]$  mostrado en la Ecuación 3.

$$Flujo \left[\frac{gr}{dia\ m^2}\right] = FL \left[\frac{gr}{min\ cm^2}\right] \times \frac{1440\ min}{dia} \times \frac{10^4\ cm^2}{m^2}$$

$$Flujo \left[\frac{gr}{dia\ m^2}\right] = FL \times 1,44 \times 10^7$$

Ecuación 3: Flujo final de la cámara expresado en  $gr\ m^{-2}\ dia^{-1}$

### 3.4 Análisis químicos

Las muestras de excretas extraídas de la pila en cada campaña se llevaron al laboratorio para determinar el porcentaje de masa seca (%MS). Para ello se pesaron las muestras, y posteriormente se colocaron en estufa a  $100^\circ C$ , el tiempo suficiente para que toda el agua presente se evapore y su peso sea constante. La diferencia entre los pesos inicial y final es el contenido de humedad.

Se esperó encontrar alguna relación entre el porcentaje de humedad de la pila y las precipitaciones del mismo período, que posteriormente se compararon con la emisión de la pila.

## 4. Resultados y análisis

### 4.1 Parámetros básicos

Con respecto al registro de lluvias, como no se contaba con los datos de un pluviómetro en el lugar, se consultaron los registros de precipitaciones de Tandil, provenientes de la estación ubicada en la Base Aérea con coordenadas: latitud  $-37,237$  y longitud  $-59,228$ , y una elevación de 175msnm (NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration).

Durante el mes de Septiembre prácticamente no se registraron precipitaciones, sólo unos milímetros sobre el final del mes. Sin embargo, Octubre y Noviembre (del día 30 al 90 del ensayo) presentaron un mayor número de días con precipitaciones, y más intensas. Observando las gráficas de la Figura 7 se puede ver la semejanza en el comportamiento de aumento de humedad de la pila con la presencia de las lluvias.

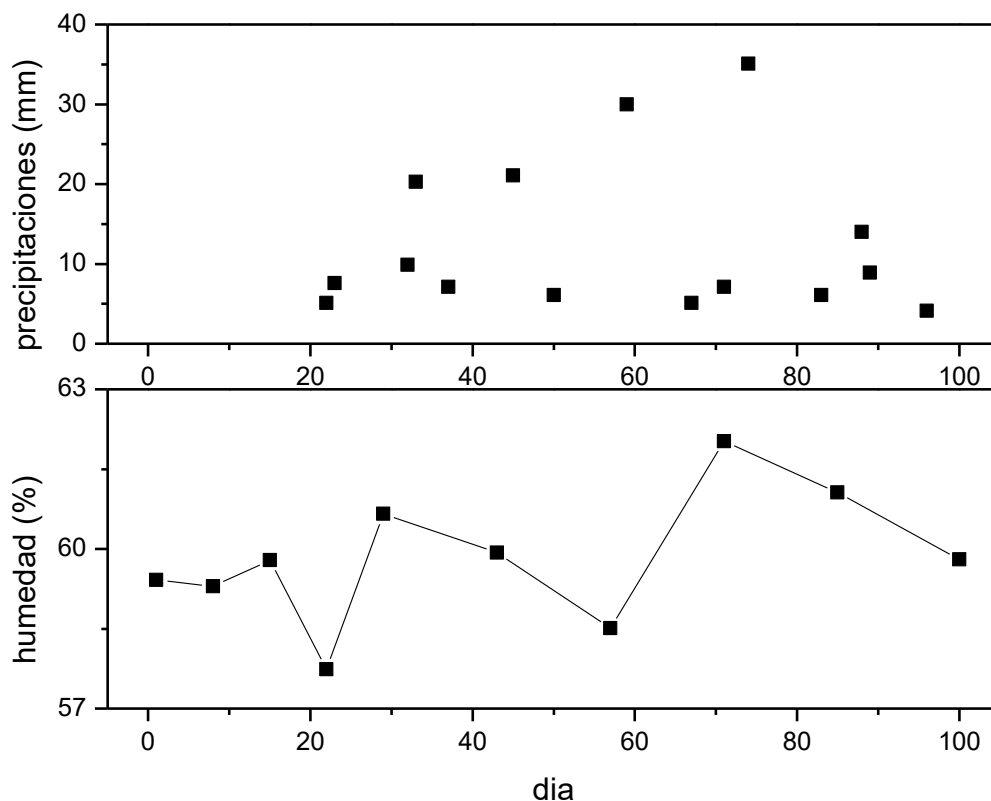


Figura 7: Precipitaciones en milímetros (arriba) y el porcentaje de humedad (abajo) en función de los días, dentro del período de medición.

Otra de las variables de gran importancia en la emisión de GEIs son las temperaturas medidas -del ambiente ( $T_a$ ), del aire dentro de la cámara sobre el suelo ( $T_s$ ) y sobre la pila ( $T_c$ ) y a 5 cm de profundidad en la pila de excretas ( $T_b$ )- en cada campaña. El comportamiento durante los primeros 30 días fue muy similar, para luego diferenciarse, tal como puede observarse en la Figura 8.

En general  $T_b$  fue la que presentó los valores de temperatura más bajos, con un comportamiento similar a la del suelo,  $T_s$ . La temperatura del aire dentro de las cámaras instaladas sobre la pila  $T_c$ , presentó los valores más altos, junto con  $T_s$ . La temperatura ambiente  $T_a$ , se mantuvo entre las temperaturas anteriormente mencionadas.

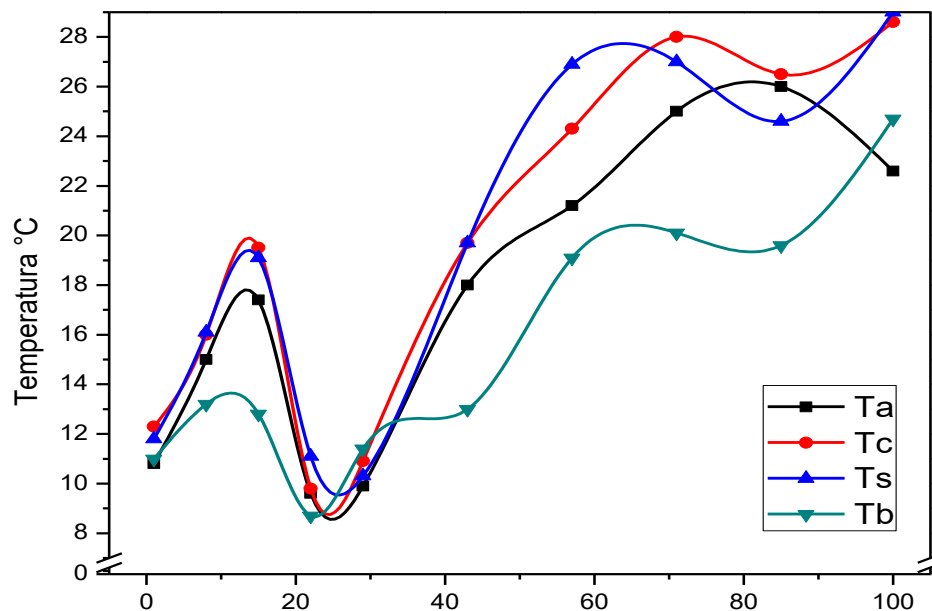


Figura 8: Datos obtenidos durante el período estudiado: temperatura ambiente ( $T_a$ ), temperatura del aire dentro de una cámara de excretas ( $T_c$ ) y una de suelo ( $T_s$ ), y la temperatura de la pila a 5 cm de profundidad ( $T_b$ ).

En términos generales, a medida que se desarrolló la experiencia y a pesar de que la capa superficial se secaba, las precipitaciones ocurridas acrecentaron el porcentaje de humedad interno de la pila de excretas, y las temperaturas medias aumentaron, ya que se acercaba el comienzo del verano. Éste comportamiento de ambas variables estableció las condiciones necesarias para que la emisión de ambos gases de efecto invernadero aumente, posiblemente por aumento en la actividad bacteriana.

## 4.2 Metano

Para el caso de este gas de efecto invernadero, se contaba con experiencia previa tanto en la determinación de flujos aire-suelo como materia fecal-aire, lo cual facilitó la elección de los tiempos de muestreo. El intervalo de tiempo entre cada muestreo dependió del tipo de superficie sobre la cual se trabajó, teniendo en cuenta que, para detectar una variación en la concentración de CH<sub>4</sub> dentro de la cámaras sobre suelo desnudo, se necesitarían tiempos de medición más extensos respecto de los utilizados para las cámaras colocadas sobre la pila de excretas.

### 4.2.1 Cámaras instaladas sobre el suelo

Para las dos cámaras colocadas en suelo cercano libre de excretas se utilizó un intervalo de tiempo entre las tomas de muestras de 15 minutos.

En cada una de las diez campañas realizadas, una vez obtenidas las muestras, fueron llevadas al laboratorio donde se analizó su concentración por cromatografía gaseosa, para finalmente calcular las regresiones lineales y obtener los flujos muestreados en cada cámara. Se consideraron válidas todas las pendientes resultantes de la regresión lineal ya que se obtuvieron errores muy bajos.

Finalmente, al obtener el flujo de cada una de las dos cámaras, se promediaron para obtener un valor medio por campaña. Los resultados se presentan en la Figura 9, mostrando emisiones de CH<sub>4</sub> de alrededor de  $10^{-4}$  grCH<sub>4</sub> d<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. En términos generales, al suelo cercano a la pila de excretas, bajo las condiciones mencionadas anteriormente en este período, no se lo pudo clasificar como fuente o sumidero de metano, ya que el intercambio neto entre el suelo y la atmósfera fue muy cercano a cero.

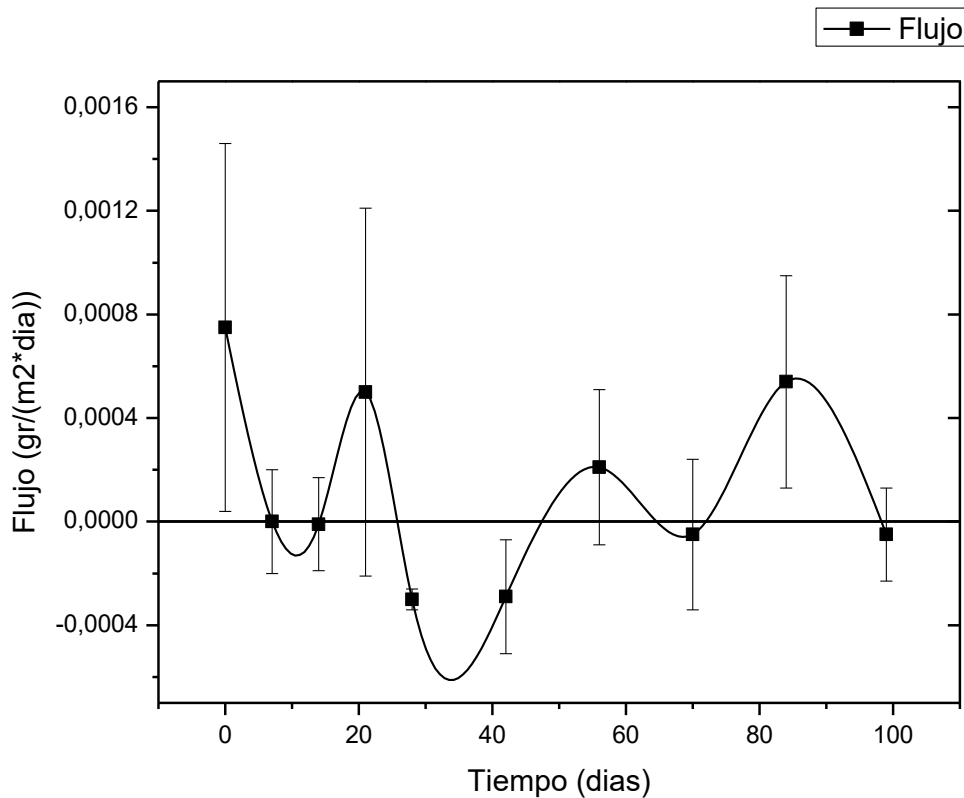


Figura 9: Flujo de CH<sub>4</sub> promedio en suelo cercano libre de excretas en gr m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Las líneas verticales muestran el rango de valores obtenidos.

#### 4.2.2 Cámaras instaladas sobre la pila

Se contó con 5 cámaras colocadas sobre la pila de excretas, para las cuales inicialmente se utilizó un intervalo de tiempo entre las tomas de muestra de 5 minutos. Más adelante, ese tiempo se redujo a 2 minutos, lo cual resultó ser más efectivo ya que las concentraciones de CH<sub>4</sub> eran lo suficientemente altas como para lograr una buena tasa de cambio en menor tiempo, permitiendo realizar ciclos más cortos de trabajo. Esta variación en la frecuencia de muestreo no alteró el valor del flujo ya que lo que se busca es una tasa de cambio en ppm min<sup>-1</sup>.

Al igual que las regresiones lineales realizadas para las cámaras sobre el suelo desnudo, los valores de las pendientes resultaron ser muy representativos, presentando coeficientes de determinación muy buenos, con  $R^2 > 0,7$ .

En cada campaña se obtuvieron cinco valores de flujo de metano, los cuales se promediaron. Los resultados se presentan en la Tabla 3, expresados en grCH<sub>4</sub> d<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, con

órdenes de magnitud 5 veces mayores a los registrados en el suelo, en un rango de 0,1 a 42  $\text{grCH}_4 \text{ d}^{-1} \text{ m}^{-2}$ . En la Figura 10 se muestra cómo es el incremento del flujo de  $\text{CH}_4$  con algunas fluctuaciones que lo acompañan a medida que transcurre el tiempo, y que finalizan con una marcada emisión el último día de campaña (sumado a una importante dispersión en los flujos obtenidos).

Día	Cámara 1	Cámara 3	Cámara 5	Cámara 6	Cámara 7	PROMEDIO
01.09.2015	0,20	0,25	0,10	0,24	0,49	0,3
08.09.2015	0,69	1,91	0,79	0,47	5,73	1,9
15.09.2015	1,18	1,00	0,46	0,41	0,65	0,7
22.09.2015	0,42	3,09	0,50	0,63	0,69	1,1
29.09.2015	2,00	1,02	0,85	0,36	2,78	1,4
13.10.2015	6,80	0,98	0,34	1,89	12,47	4,5
27.10.2015	0,70	1,84	2,34	1,55	8,56	3,0
10.11.2015	1,19	2,94	1,22	3,83	8,75	3,6
24.11.2015	3,25	1,14	1,86	0,77	5,35	2,5
09.12.2015	23,42	5,38	5,19	42,50	8,16	16,9

Tabla 3: Flujos de metano medidos en las cámaras sobre la pila de excretas, en  $\text{gr CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ .

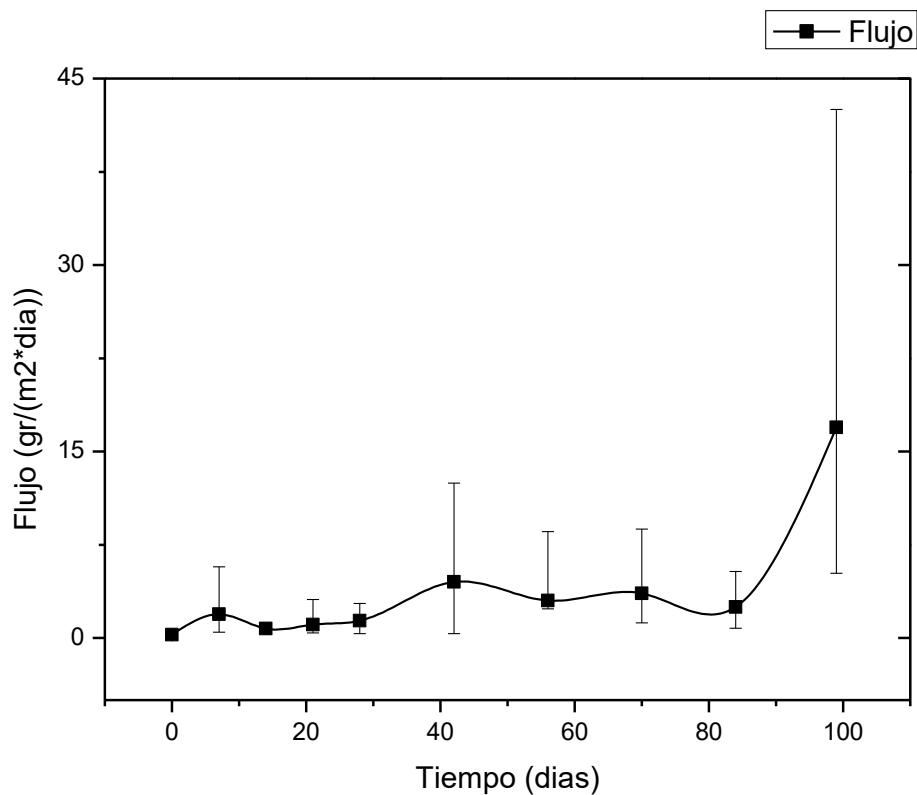


Figura 10: Flujo de metano promedio (■) en la pila de excretas en  $\text{gr CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ . Las líneas verticales indican el rango de valores obtenidos.

Los valores entre las cámaras variaban bastante entre sí, sin conocer su verdadera causa, lo cual podría adjudicarse a la cantidad de excretas por debajo de la columna de la cámara, a su composición heterogénea, a la humedad, a la cantidad de bacterias metanógenas, etc. Por esta razón, para verificar si existía algún tipo de relación entre la altura de la columna de excretas y la cantidad de CH<sub>4</sub> emitido, se dividieron los flujos de cada cámara por su altura. De esta forma, se obtuvo la emisión por metro cúbico de excretas, sin embargo, no se encontró relación entre la altura de la columna y los flujos del gas. Evidentemente, la información registrada no es la causa de la dispersión encontrada en los flujos.

### 4.3 Óxido nitroso

En cuanto al seguimiento de este gas en la pila de excretas y suelo sólo se realizaron mediciones en cuatro campañas, correspondientes a los días 1, 8, 15 y 100, ya que se presentaron diversas situaciones que dificultaron el seguimiento.

Una de las principales dificultades se encontró al momento de determinar las concentraciones de N<sub>2</sub>O a partir de los cromatogramas, los cuales presentaban curvas de concentración poco claras debido a sus picos no resueltos. Algunos cromatogramas se integraron de forma manual, aunque hubo casos en los que no se pudo encontrar la forma de resolver el área bajo la curva. La distorsión en la señal obtenida podía deberse a un buen número de factores, tanto instrumentales como cromatográficos, entre ellos, resolución incompleta de dos bandas, reacciones químicas del compuesto en la columna, volúmenes muertos en el sistema cromatográfico, técnicas de inyección incorrectas, etc. (Harris, 2007; Rubinson et al., 2001). Al no encontrar solución a este problema hubo muestreos que tuvieron que eliminarse de los datos registrados.

Por otra parte, luego de realizar las regresiones lineales en los casos que las curvas cromatográficas pudieron integrarse, ocurrió que las pendientes encontradas eran muy bajas y en general presentaron errores grandes, con  $R^2 < 0,7$ . Con lo cual, alrededor del 45% de los datos no eran totalmente representativos.

Como los tiempos de trabajo en el laboratorio al medir N<sub>2</sub>O se duplicaban, y en las primeras tres campañas los valores se obtuvieron alrededor de  $10^{-3}$  grN<sub>2</sub>O d<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, se optó por realizar el seguimiento de la experiencia únicamente midiendo CH<sub>4</sub>. No obstante, en la última campaña las muestras también fueron analizadas en el cromatógrafo para detectar óxido nitroso y se obtuvieron flujos de  $10^{-1}$  grN<sub>2</sub>O d<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, dos órdenes de magnitud mayor respecto

de las tres primeras campañas. Esto indicaría que la pila de excretas no emite  $N_2O$  desde el momento en que se depositó en el suelo sino que ese gas se comienza a generar más adelante en el tiempo (Montes et al., 2014). De todas formas, para confirmarlo y conocer la evolución completa, se debería cuantificar el flujo periódicamente durante un tiempo más largo y estudiar las variables que podrían ser causa de este comportamiento.

En cuanto a los muestreos, los intervalos de tiempo fueron los mismos que para la experiencia con el metano, ya que se utilizaba la misma muestra para cuantificar ambos gases; posiblemente esta también sea una variable a modificarse en futuros ensayos.

Se muestra en la Figura 11 los valores registrados para la emisión de  $N_2O$  tanto sobre la pila de excretas como en el suelo desnudo, contemplando todos los datos, inclusive aquellos que presentaban  $R^2 < 0,7$ , lo cual no asegura la representatividad de la emisión real.

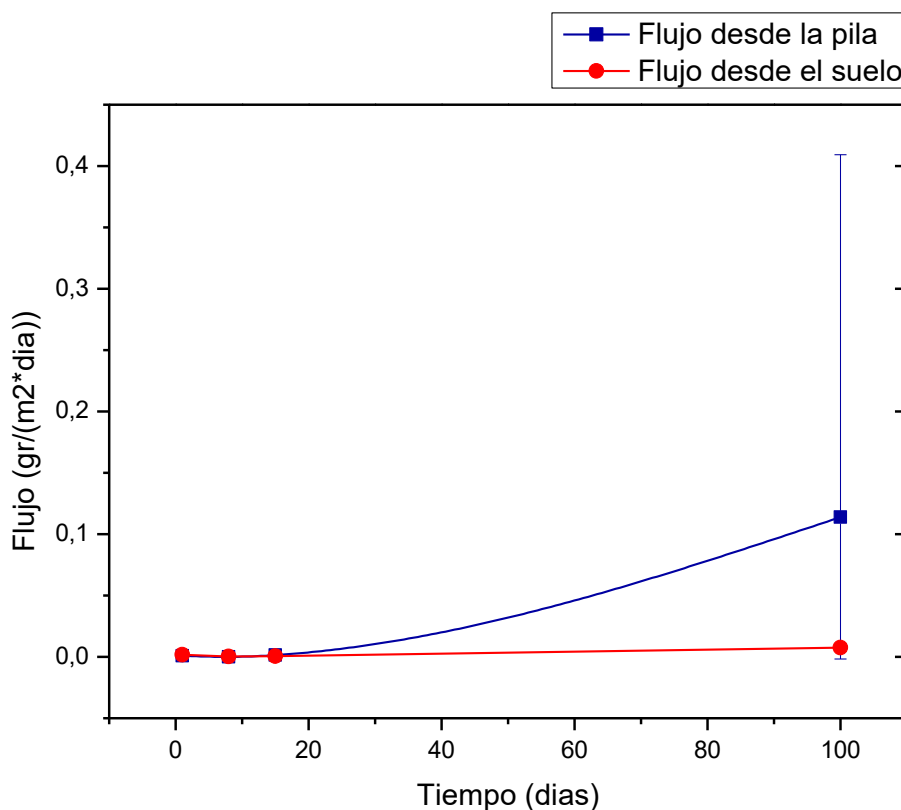


Figura 11: Emisión de  $N_2O$  promedio total (■) sobre la pila de excretas y (●) sobre el suelo ( $gr\ m^{-2}\ d^{-1}$ ). Las líneas verticales muestran el rango de valores obtenidos.

En una campaña se realizó una actividad complementaria para el óxido nitroso en la cual se tomaron muestras en una parcela que anteriormente había sido regada con el efluente líquido orina y agua de lluvia recolectadas por la misma pendiente del terreno en una laguna de decantación, del sistema de engorde a corral. Estas lagunas de decantación suelen ser

vaciadas con cierta regularidad mediante una bomba que descarga su contenido a través de un caño, utilizando dicho efluente como abono en varios potreros del sistema productivo. El lugar donde se realizó el muestreo había sido regado una semana antes con dicho efluente.

Se dispusieron 4 cámaras con la misma metodología desarrollada hasta el momento; una de ellas se colocó pendiente arriba de la boca de descarga de la bomba, funcionando como “control” mientras que, las otras tres cámaras fueron colocadas en línea, aguas abajo de la salida del líquido para evidenciar algún tipo de variación en el flujo del gas sobre el suelo. Nuevamente, como ocurrió con la experiencia de la pila de excretas, las curvas cromatográficas presentaron anomalías, y las regresiones lineales conducían a errores grandes.

#### 4.4 Un año después

Por diversas circunstancias que se presentaron posteriores al período de mediciones mostrado hasta aquí, no se pudo continuar con la cuantificación en un tiempo más prolongado. Sin embargo, las cámaras quedaron instaladas sobre la pila de excretas. A finales de Septiembre del 2016 se realizó una nueva visita al sistema productivo para recuperar dichas cámaras. A simple vista y luego de un año, la pila de excretas que había sido muestreada el año anterior, había reducido su altura notablemente, y su textura era similar a la tierra.

Suponiendo que la emisión de metano de la pila debería ser mínima, por curiosidad, se tomó una nueva serie de muestras puntuales en una única cámara antes de retirarlas. El resultado fue sorprendente, ya que se encontró una tasa de emisión de  $\text{CH}_4$  mayor a la promedio medida por última vez. Lo cual indicaría una larga duración del ciclo completo de emisión de GEIs de la pila.

No sólo eso, el óxido nitroso también pudo ser detectado sin inconvenientes, con un factor de emisión nuevamente más alto que el promedio del año pasado, y con un coeficiente de determinación de 0,97. Además, los cromatogramas se presentaron de forma clara y con los picos bien resueltos. Los valores pueden observarse en el anexo “Un año después”, junto con la Figura 15.

En un principio, se tuvo como objetivo seguir la emisión temporal completa de una pila para presentar en el Trabajo Final de la carrera, pero debido al extenso tiempo que

requeriría, de acuerdo con los resultados aquí presentados, se concluyó que un ensayo de ese tipo no era posible de hacerse en ese marco. De todas formas, y ante la imposibilidad de evaluar cualquier variable en condiciones reales de manejo de excretas, se decidió evaluar la afectación de las emisiones para distintas dietas provenientes de distintos sistemas de producción animal en condiciones simplificadas.

## 5. Conclusiones

Durante la Beca de Entrenamiento, adquirí las habilidades necesarias para la determinación de flujos gaseosos en una interfaz con la atmósfera, siguiendo la técnica de cámaras estáticas y el análisis por cromatografía gaseosa, además de aprender habilidades en diversas prácticas de laboratorio.

Se logró determinar valores absolutos de emisión de CH<sub>4</sub> en una pila de excretas (orina y heces) en condiciones reales de manejo, perteneciente a un sistema de engorde a corral de Tandil durante un período de 100 días en la primavera del 2015. No obstante, para el N<sub>2</sub>O no fue posible determinar el flujo ya que la mayoría de las lecturas del detector del cromatógrafo presentaron anomalías, dificultando la estimación de las concentraciones del gas en las muestras.

La emisión de CH<sub>4</sub> a partir de las cámaras colocadas en el suelo desnudo fue totalmente despreciable, en comparación con los valores de flujo de las cámaras pertenecientes a la pila de excretas, indicando que la emisión del gas es propia de las excretas. Se observó un incremento en el flujo de metano de la pila de excretas acompañado por el aumento de las temperaturas medias y de las precipitaciones registradas. Las dos variables mencionadas, se encuentran relacionadas con la humedad de la pila, la cual aumentó con algunas fluctuaciones entre el 58 y 62%. Sería recomendable modificar el muestreo, realizándolo a una profundidad constante.

En el último día de campaña, no sólo la emisión de CH<sub>4</sub> siguió siendo positiva, sino que presentó emisiones entre 3 y 6 veces mayores a la inmediatamente anterior registrada, por lo tanto sería recomendable continuar con la cuantificación del flujo para conocer la evolución completa a lo largo del tiempo, de manera de poder detectar el momento en el cual la emisión comienza a disminuir. Para un ensayo completo sería preferible reducir la frecuencia entre muestreos y sostenerlos en el tiempo hasta que la pila deje de emitir CH<sub>4</sub>. Al mismo tiempo, podrían contemplarse si existen variaciones estacionales.

También sería recomendable en próximos estudios aumentar el número de réplicas sobre la pila para mejorar las estimaciones minimizando el efecto de la variabilidad espacial que existe naturalmente en las mezclas heterogéneas, o considerar la homogeneización de las excretas previamente a ser depositadas. Además, realizar un seguimiento de distintos parámetros como la dieta ofrecida a los animales y otras variables con consecuencia en las características de la materia fecal (como fibra, almidón, proteína bruta, carbohidratos solubles, etc.).

En cuanto al óxido nitroso, y atendiendo a los resultados, es importante determinar cuál debe ser la frecuencia de muestreo adecuada, y desde luego, estudiar cuáles son los factores que desencadenan las anomalías en los cromatogramas. Las mediciones se realizaron en los días 1, 8, 15 y 100; en las primeras tres campañas los valores se obtuvieron alrededor de  $10^{-3}$  grN<sub>2</sub>O d<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>. Sin embargo, en la última campaña se obtuvieron flujos de  $10^{-1}$  grN<sub>2</sub>O d<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup>, o sea dos órdenes de magnitud mayor respecto de las tres primeras campañas. Esto indica que la pila de excretas no emite N<sub>2</sub>O desde el momento en que se deposita en el suelo, sino que es necesario que se consolide la cobertura seca para instalar cierta anaerobiosis; aunque para asegurarlo y conocer su evolución temporal debe extenderse el ensayo de cuantificación del flujo durante un período más largo.

Podemos concluir en que los resultados aquí presentados pueden utilizarse como punto de partida para el diseño de ensayos de cuantificación de flujos de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O desde pilas de excretas en condiciones reales de producción en la zona.

## 6. Bibliografía

**Crutzen P.J., Aselmann I. and Seiler W.** Methane production by domestic animals, wild ruminants, and other herbivorous fauna, and humans [Journal] // Tellus. - 1986. - pp. 271–284.

**Dutauril L. and Verchotl L. V.** A global inventory of the soil CH<sub>4</sub> sink [Journal] // Global Biogeochemical Cycles. - 2007. - Vol. 21.

**Dyer I. A. and O'mary C.** Engorde a corral (The Feedlot) [Book]. - [s.l.] : Hemisferio Sur, 1975.

**EPA.** Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 - 2013 [Report]. - Washington U.S. : [s.n.], 2015.

**Feldkamp C. [et al.]** Inventario de Gases de Efecto Invernadero en la República Argentina - Agricultura, Ganadería, CUSS y Silvicultura [Report]. - [s.l.] : 3er Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 2015.

**Harris D.** Análisis Químico Cuantitativo [Book]. - [s.l.] : Reverté, 2007.

**Hutchinson G. L. and Livingston G. P.** Vents and seals in non-steady-state chambers used for measuring gas exchange between soil and the atmosphere [Report]. - 2001.

**IPCC.** Cambio Climático 2013 - Bases Físicas [Informe]. - 2013.

**IPCC.** Cambio Climático 2014 - Mitigación del cambio climático [Libro]. - 2015.

**Juliarena M. P. [et al.]** Emisión de metano desde materia fecal de novillos con dietas con distinta relación forraje:grano [Conference] // Primer Conferencia de gases de efecto invernadero en sistemas Agropecuarios de Latinoamérica (GALA). - Osorno, Chile : [s.n.], 2014.

**Khalil M. A. K.** Atmospheric methane: an introduction [Journal] // Atmospheric methane. - 2000. - pp. 1-8.

**Lelieveld J., Crutzen P. J. and Dentener F. J.** Changing concentration, lifetime and climate forcing of atmospheric methane [Journal] // Tellus. - 1998. - pp. 128-150.

**Lucbert J., Le Gall A. and Hacala S.** Les ruminants et le réchauffement climatique [Journal] // Institut de l'Élevage. - 2006.

**Makkar H. P. S. and Vercoe P. E.** Measuring Methane Production from Ruminants [Report]. - Vienna, Austria. : Joint FAO/IAEA Division of Nuclear Techniques in Food and Agriculture. International Atomic Energy Agency, 2007.

**Marcott S. A. [et al.]** A reconstruction of regional and global temperature for the past 11,300 years [Journal] // Science. - 2013. - pp. 1197-1201.

**McCaughey W.P., Wittenberg K. and Corrigan D.** Methane production by steers on pasture [Journal] // Canadian journal of animal science. - 1997. - pp. 519-524.

**Monteny G.J., Groenestein C.M. and Hilhorst M.A.** Interactions and coupling between emissions of methane and nitrous oxide from animal husbandry [Journal] // Nutrient Cycling in Agroecosystems. - 2001. - pp. 123-132.

**Montes F. [et al.]** Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: A review of manure management mitigation options. [Journal] // American Society of Animal Science. - 2014.

**Moss A. R., Jouany J. P. and Newbold J.** Methane production by ruminants: its contribution to global warming [Journal] // Ann. Zootech. 49. - 2000. - pp. 231-253.

**NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration** Environmental information [En línea] // Hourly Observational Map. - Diciembre de 2015. - <http://gis.ncdc.noaa.gov/>.

**Pihlatiel M. [et al.]** Comparison of static chambers to measure N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub> and CO<sub>2</sub> fluxes from soils. [Report]. - 2013.

**Priano M. E. [et al.]** Strong differences in the CH<sub>4</sub> emission from dung of grazing calves submitted to different feeding schedules [Journal] // Animal Feed Science and Technology. - 2014. - Vol. 194. - pp. 145-150.

**Primavesi O. [et al.]** Técnica do gás traçador SF<sub>6</sub> para medição de campo do metano ruminal em bovinos: adaptações para o Brasil [Journal] // São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste. - 2004.

**Robert S. [et al.]** Estructura del feedlot en Argentina - Nivel de asociación entre la producción bovina a corral y los titulares de faena [Report]. - Buenos Aires : [s.n.], 2009.

**Rodhe H.** A comparison of the contribution of various gases to the greenhouse effect [Journal] // American Association for the Advancement of Science. - 1990. - pp. 1217-1219.

**Rubinson K. A. and Rubinson J. F.** Análisis Instrumental [Book]. - [s.l.] : Prentice Hall, 2001.

**Ruddiman W. F.** The anthropogenic greenhouse era began thousands of years ago [Journal] // Climate Change. - 2003. - pp. 261-293.

**Sánchez Martín L.** Mitigation strategies for nitrous oxide emissions based on fertilization management of irrigated crops in a Mediterranean climate [Report]. - Madrid : [s.n.], 2008.

**Secretaría de ambiente y desarrollo sustentable** 2da Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [Informe]. - 2006.

**Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación** 3era Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [Report]. - 2015.

**Skoog D. A., Holler F. J. and Nieman T. A.** Principios de Análisis Instrumental [Book]. - [s.l.] : Concepción Fernández Madrid, 2001.

**UNICEN** Mitigación de Emisiones a través de la reducción de las emisiones de metano entérico [Informe]. - Tandil : Segunda Comunicación Nacional Argentina - Cambio Climático, 2006.

**van den Pol-van Dasselaar A., van Beusichem M. L. and Oenema O.** Effects of soil moisture content and temperature on methane uptake by grasslands on sandy soils [Journal] // Plant and Soil. - 1998. - pp. 213-222.

**Willison T. W., Goulding K. W. T. and Powlson D. S.** Effect of land-use change and methane mixing ratio on methane uptake from United Kingdom soil [Journal] // Global Change Biology. - 1995. - pp. 209-212.

## 7. Anexo

### 7.1 Cromatógrafo de gases

Según la IUPAC, la cromatografía es un método físico de separación en el que los componentes a separar son distribuidos entre dos fases, una de las cuales permanece estacionaria mientras que la otra se mueve en una dirección determinada.

Tal como se puede observar en la Figura 12, un cromatógrafo de gases consta de los siguientes componentes básicos: un sistema de suministro del gas portador, un sistema de inyección de la muestra, la columna, el horno, un sistema de detección que puede contar con diversos sensores, y un sistema de registro y tratamiento de datos. (Rubinson et al., 2001)

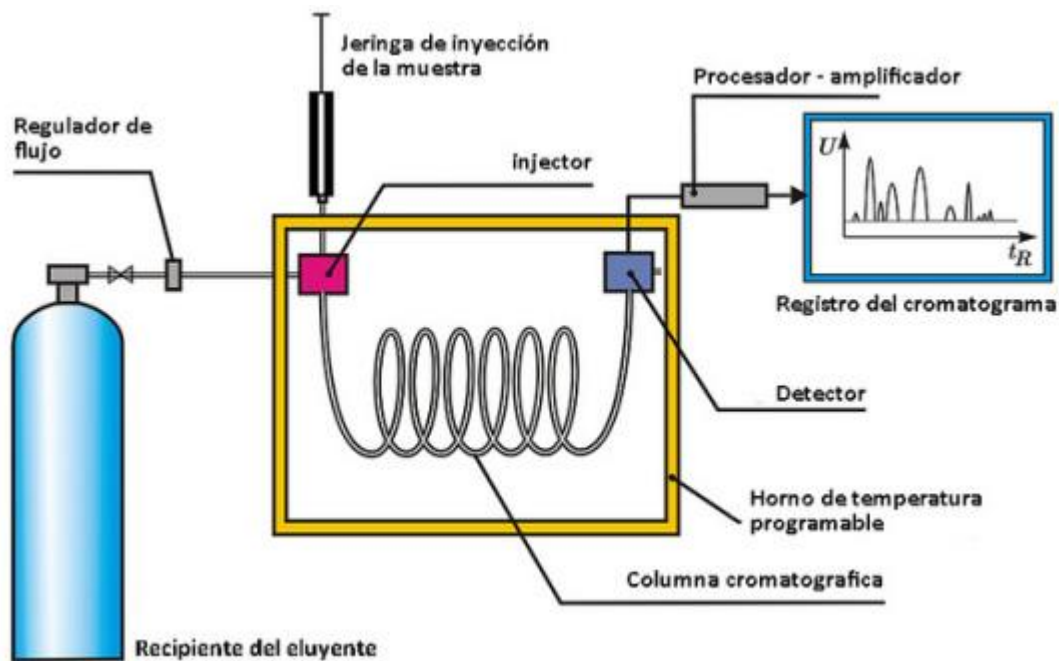


Figura 12: Esquema de un cromatógrafo de gases.

En cualquier proceso cromatográfico se distinguen: una *fase móvil* de gas inerte con la que se transporta la muestra disuelta, y una *fase estacionaria* inmisible, la cual se mantiene fija sobre una columna. Los componentes que son fuertemente retenidos por la fase estacionaria se mueven con mayor lentitud en la fase móvil, mientras que aquellos que se unen débilmente a la fase estacionaria se mueven con mayor rapidez. Esta diferencia de velocidades en el seno de la fase móvil permite la separación y el análisis cualitativo o cuantitativo de los componentes. (Skoog et al., 2001)

Al final de la columna hay un detector, que es el sistema encargado de poner de manifiesto la presencia de componentes de la muestra que abandonan la columna. Para ello

convierte la medida de una magnitud física, comparándola con la del propio gas portador puro, en una señal amplificada que indicará el momento en el que salen los componentes de la columna. De esta forma, se registra la concentración del analito en función del tiempo y se obtiene un cromatograma. (Harris, 2007)

Los análisis cromatográficos se realizaron en el cromatógrafo gaseoso (GC Agilent, 7890A - Figura 13) perteneciente al grupo de Fisicoquímica Ambiental (IFAS, UNCPBA), el CG tiene dos columnas, una adosada a cada detector. Por un lado, está equipado con un detector de ionización de llama (FID) y una columna 1-8 m Poropak Q (80/100 mesh), el cual utiliza temperaturas del horno, inyector y detector de 60 °C, 375 °C y 300 °C respectivamente. El flujo del gas carrier ( $N_2$ ) se mantiene a presión constante de 27 psi y los flujos de los gases inflamables ( $H_2$  y  $O_2$ ) son de 40 y 450 ml/min, respectivamente. Por otro lado, está equipado con un detector de captura electrónica (ECD), el cual trabaja con una temperatura de 280 °C y un flujo de gas carrier ( $Ar/CH_4$  (5%)), de 2 ml/min.



Figura 13: Cromatógrafo gaseoso GC Agilent 7890 A en el IFAS, UNCPBA

Los datos detectados finalmente ingresan al sistema de registro y tratamiento. Para realizar el cálculo de la composición, inicialmente se debe calibrar el equipo. Entonces, se inyecta una masa exacta del gas puro al cromatógrafo y se determina el área del componente a analizar que se muestra en el cromatograma. Se repite el procedimiento con distintas concentraciones y se realiza un gráfico que relaciona el área del espectro del pico con la concentración de la muestra. Se obtendrá entonces una curva de calibración que debe ser lineal y pasar por el origen. Finalmente, una vez procesada la muestra de interés, se obtienen

el área del pico cromatográfico y luego, a partir de la ecuación de calibración se puede conocer la concentración del analito en la muestra.

La posición de los picos en el eje del tiempo indica el tipo de componente que se analizó; para el CH<sub>4</sub> el máximo se presenta a los 3 minutos y para el N<sub>2</sub>O a los 8 minutos.

*Curvas de calibración:*

Área	CH <sub>4</sub> (ppm)
6,29866	0,20
17,30307	0,70
35,41881	1,44
56,98591	2,09
76,27680	3,07
170,28386	7,49
469,29962	20,19
1077,67188	46,00

Regresión lineal  
 $y = 0,0427x$   
 $R^2 = 0,9999$

Tabla 4: Curva de calibración del CH<sub>4</sub>.

Área	N <sub>2</sub> O (ppm)
567,80546	0,17
773,68874	0,23
1025,60132	0,32
1282,43917	0,41
1807,61743	0,58
2233,87500	0,72
4027,02279	1,38

Regresión lineal  
 $y = 0,0003x$   
 $R^2 = 0,9957$

Tabla 5: Curva de calibración del CH<sub>4</sub>.

## 7.2 Valores obtenidos

Se adjuntan en tablas los valores obtenidos de todas las cámaras en cada campaña. Las tablas contienen información sobre el tiempo (en minutos) entre cada muestreo, las concentraciones (ppm) medidas en cada jeringa, la regresión lineal a partir del análisis de curvas y el coeficiente de determinación. Las tablas negras corresponden al metano y las azules al óxido nitroso. En algunos casos, particularmente en las mediciones del óxido nitroso, aparece un asterisco (\*) junto al valor de la concentración obtenida; lo cual representa que ese valor tuvo que ser manualmente reintegrado ya que su curva cromatográfica no resultó clara.

Fecha					CAMPAÑA 1 - 1 de sep. de 2015				
CAMARA	TIEMPO min	[CH4] ppm	Regresión lineal	R2					
<b>1</b>	0	3,22	$Y = 1,6634x + 4,06$	0,9949					
	5	12,6							
	10	22,04							
	20	36,6							
<b>2 (suelo)</b>	0	2,25	$Y = 0,0003x + 2,2489$	0,0962					
	15	2,24							
	32	2,28							
	48	2,25							
<b>3</b>	0	4,584	$Y = 2,2169x + 6,1784$	0,9901					
	5	17,74							
	10	30,82							
	20	49,16							
<b>4 (suelo)</b>	0	2,134	$Y = 0,0097x + 2,134$	1					
	15	2,279							
	32	2,443							
	48	2,598							
<b>5</b>	0	3,36	$Y = 0,7757x + 3,868$	0,9941					
	5	8,06							
	10	12,17							
	20	19,03							
<b>6</b>	0	5,43	$Y = 2,0259x + 4,1358$	0,9954					
	5	13,003							
	10	23,7							
	20	45,317							
<b>7</b>	0	4,885	$Y = 4,0802x + 6,1594$	0,9981					
	5	26,924							
	10	48,965							
	20	86,671							

Fecha					CAMPAÑA 1 - 1 de sep. de 2015				
CAMARA	TIEMPO min	[N2O] ppm	Regresión lineal	R2					
<b>1</b>	0	0,364	$Y = 0,0013x + 0,378$	0,0414					
	5	0,349							
	10	0,473 *							
	20	0,373							
<b>2 (suelo)</b>	0	0,413	$Y = 0,0029x + 0,4187$	0,9894					
	15	0,47							
	32	*							
	48	0,554							
<b>3</b>	0	0,328 *	$Y = 0,0033x + 0,3318$	0,9851					
	5	0,352 *							
	10	0,367 *							
	20	0,396 *							
<b>4 (suelo)</b>	0	0,365 *	$Y = 0,006x + 0,3759$	0,9631					
	15	*							
	32	0,602							
	48	0,644 *							
<b>5</b>	0	0,37	$Y = 0,0069x + 0,4124$	0,2719					
	5	0,571 *							
	10	0,38							
	20	0,57 *							
<b>6</b>	0	0,34	$Y = 0,0001x + 0,4116$	0,0003					
	5	0,477 *							
	10	0,459 *							
	20	0,375							
<b>7</b>	0	0,328	$Y = 0,002x + 0,379$	0,0974					
	5	0,42 *							
	10	0,454 *							
	20	0,383 *							

Fecha		CAMPAÑA 2 - 8 de sep de 2015		
CAMARA	TIEMPO min	[CH4] ppm	Regresión lineal	R2
<b>1</b>	0	5,985	$Y = 6,1145x + 6,7796$	0,9897
	2,2	20,34		
	4	33,415		
	6	41,975		
<b>2 (suelo)</b>	0	2,09	$Y = -0,0021x + 2,096$	0,9156
	15	2,065		
	30	2,05		
	45	1,99		
<b>3</b>	0	64,27	$Y = 19,833x + 70,303$	0,9789
	2,2	119,765		
	4	156,655		
	6	182,48		
<b>4 (suelo)</b>	0	2,28	$Y = 0,002x + 2,283$	0,9857
	15	2,32		
	30	2,34		
	45	2,375		
<b>5</b>	0	40,255	$Y = 7,1122x + 41,438$	0,992
	2,2	57,99		
	4	71,715		
	6	82,56		
<b>6</b>	0	10,19	$Y = 4,6785x + 11,487$	0,9872
	2	22,48		
	4	30,82		
	6	38,6		
<b>7</b>	0	138,11	$Y = 57,099x + 170,6$	0,9443
	2	320,745		
	4	424,57		
	6	484,16		

Fecha		CAMPAÑA 2 - 8 de sep de 2015		
CAMARA	TIEMPO min	[N2O] ppm	Regresión lineal	R2
<b>1</b>	0	0,396	$Y = -0,0014x + 0,3951$	0,0373
	2,2	0,377 *		
	4	0,415 *		
	6	0,375		
<b>2 (suelo)</b>	0	0,6065 *	$Y = 7E-05x + 0,5078$	0,0001
	15	0,3955		
	30	0,44		
	45	0,595 *		
<b>3</b>	0	0,38	$Y = 0,0013x + 0,3775$	0,0149
	2,2	0,3575 *		
	4	0,4185 *		
	6	0,3695 *		
<b>4 (suelo)</b>	0	0,3395 *	$Y = 0,0036x + 0,3431$	0,987
	15	*		
	30	0,463 *		
	45	0,4995 *		
<b>5</b>	0	0,3675	$Y = -0,0018x + 0,3655$	0,7701
	2,2	0,3595 *		
	4	0,356		
	6	0,357 *		
<b>6</b>	0	0,4585 *	$Y = -0,0025x + 0,4478$	0,1631
	2	0,435 *		
	4	0,4215 *		
	6	0,4465		
<b>7</b>	0	0,4745 *	$Y = 0,0034x + 0,4718$	0,6827
	2	0,4785 *		
	4	0,477 *		
	6	0,4975 *		

Fecha		CAMPAÑA 3 - 15 de sep. de 2015		
CAMARA	TIEMPO min	[CH4] ppm	Regresión lineal	R2
<b>1</b>	0	18,87	$Y = 6,4857x + 36,237$	0,9316
	4	73,03		
	8	102,6		
	20	157,99		
<b>2 (suelo)</b>	0	2,1	$Y = -0,0017x + 2,089$	0,8048
	15	2,04		
	30	2,05		
	45	2,01		
<b>3</b>	0	9,02	$Y = 7,4993x + 20,758$	0,972
	4	55,92		
	8	93,43		
	20	164,64		
<b>4 (suelo)</b>	0	2,11	$Y = 0,0006x + 2,1143$	0,8622
	15	2,13		
	30	-		
	45	2,14		
<b>5</b>	0	6,31	$Y = 3,7584x + 7,836$	0,9963
	4	22,94		
	9,5	46,34		
	20	81,66		
<b>6</b>	0	9,54	$Y = 3,9961x + 11,381$	0,9975
	4	28,19		
	8	45,32		
	20	90,35		
<b>7</b>	0	7,78	$Y = 6,1832x + 9,0193$	0,9996
	4	34,45		
	8	59,62		
	20	132,09		

Fecha		CAMPAÑA 3 - 15 de sep. de 2015		
CAMARA	TIEMPO min	[N2O] ppm	Regresión lineal	R2
<b>1</b>	0	0,41	$Y = 0,0043x + 0,3988$	0,9266
	4	0,402		
	8	*		
	20	0,488 *		
<b>2 (suelo)</b>	0	0,383	$Y = 0,0015x + 0,3855$	0,9666
	15	0,408 *		
	30	0,438		
	45	0,448 *		
<b>3</b>	0	0,409	$Y = 0,0034x + 0,4033$	0,9344
	4	0,418 *		
	8	0,419		
	20	0,475 *		
<b>4 (suelo)</b>	0	0,365	$Y = 0,002x + 0,3699$	0,9649
	15	0,403 *		
	30	0,44 *		
	45	0,454 *		
<b>5</b>	0	0,4465 *	$Y = -0,0015x + 0,4539$	0,0841
	4	0,494 *		
	9,5	0,383		
	20	0,441		
<b>6</b>	0	0,446 *	$Y = -0,0019x + 0,4619$	0,2466
	4	0,494 *		
	8	0,42		
	20	0,426		
<b>7</b>	0	0,448 *	$Y = 0,0193x + 0,4563$	0,9937
	4	0,552 *		
	8	0,6 *		
	20	0,843 *		

Fecha						CAMPAÑA 4 - 22 de sep. de 2015					
CAMARA	TIEMPO min	[CH4] ppm	Regresión lineal	R2		CAMARA	TIEMPO min	[N2O] ppm	Regresión lineal	R2	
<b>1</b>	0	28,2				<b>1</b>	0	0,361			
	2	68,43					2,83	0,363			
	4	70,61	$Y = 3,5223x + 45,366$	0,3387			5,83	0,378	$Y = 0,0017x + 0,3617$	0,7767	
	7,66	62,34					11,83	0,379 *			
<b>2 (suelo)</b>	0	-				<b>2</b>	0	0,377 *			
	15	2,21					2,83	0,356			
	30	2,13	$Y = -0,0063x + 2,31$	0,9918			5,83	0,391	$Y = 0,002x + 0,3686$	0,3654	
	45	2,02					11,83	0,391			
<b>3</b>	0	133				<b>3</b>	0	0,35			
	2	293,16					2,83	0,39 *			
	4	218,3	$Y = 30,679x + 157,62$	0,7651			5,83	0,377 *	$Y = 0,0027x + 0,3633$	0,5059	
	8	415,52					11,83	0,392			
<b>4 (suelo)</b>	0	2,17				<b>4 (blanco)</b>	0	0,353 *			
	15	2,36					10	0,345	$Y = 0,0002x + 0,3515$	0,0712	
	30	2,55	$Y = 0,0121x + 2,176$	0,9984			20	0,368			
	45	2,71					30	0,352			
<b>5</b>	0	14,32				<b>5</b>	0	0,353 *			
	1,83	35,51					10	0,345	$Y = 0,0002x + 0,3515$	0,0712	
	4	47,33	$Y = 5,193x + 20,983$	0,8918			20	0,368			
	8	58,59					30	0,352			
<b>6</b>	0	2,96				<b>6</b>	0	0,353 *			
	2	20,89					10	0,345	$Y = 0,0002x + 0,3515$	0,0712	
	4	27,51	$Y = 6,2597x + 4,6582$	0,9832			20	0,368			
	7,66	52,78					30	0,352			
<b>7</b>	0	13,06				<b>7</b>	0	0,353 *			
	2	33,05					10	0,345	$Y = 0,0002x + 0,3515$	0,0712	
	4	45,94	$Y = 7,0637x + 16,042$	0,9874			20	0,368			
	8	71,01					30	0,352			

La campaña 4 de óxido nítrico del 22 de Septiembre corresponde a la experiencia complementaria realizada sobre el regado de los efluentes líquidos en un potrero cercano.

Fecha						CAMPAÑA 4 - 22 de sep. de 2015					
CAMARA	TIEMPO min	[N2O] ppm	Regresión lineal	R2		CAMARA	TIEMPO min	[N2O] ppm	Regresión lineal	R2	
<b>1</b>	0	0,361				<b>1</b>	0	0,361			
	2,83	0,363					2,83	0,363			
	5,83	0,378	$Y = 0,0017x + 0,3617$	0,7767			5,83	0,378	$Y = 0,0017x + 0,3617$	0,7767	
	11,83	0,379 *					11,83	0,379 *			
<b>2</b>	0	0,377 *				<b>2</b>	0	0,377 *			
	2,83	0,356					2,83	0,356			
	5,83	0,391	$Y = 0,002x + 0,3686$	0,3654			5,83	0,391	$Y = 0,002x + 0,3686$	0,3654	
	11,83	0,391					11,83	0,391			
<b>3</b>	0	0,35				<b>3</b>	0	0,35			
	2,83	0,39 *					2,83	0,39 *			
	5,83	0,377 *	$Y = 0,0027x + 0,3633$	0,5059			5,83	0,377 *	$Y = 0,0027x + 0,3633$	0,5059	
	11,83	0,392					11,83	0,392			
<b>4 (blanco)</b>	0	0,353 *				<b>4 (blanco)</b>	0	0,353 *			
	10	0,345	$Y = 0,0002x + 0,3515$	0,0712			10	0,345	$Y = 0,0002x + 0,3515$	0,0712	
	20	0,368					20	0,368			
	30	0,352					30	0,352			

Fecha		CAMPANA 5 - 29 de sep. de 2015		
CAMARA	TIEMPO min	[CH4] ppm	Regresión lineal	R2
<b>1</b>	0	11,88	$Y = 16,97x + 17,612$	0,9852
	2	52,85		
	4	95,01		
	8	148,29		
<b>2 (suelo)</b>	0	2,39	$Y = -0,003x + 2,375$	0,7627
	15	2,29		
	30	2,32		
	45	2,23		
<b>3</b>	0	9,97	$Y = 8,1505x + 16,232$	0,944
	1,75	33,24		
	3,75	54,81		
	7,75	74,9		
<b>4 (suelo)</b>	0	2,46	$Y = -0,0026x + 2,451$	0,8973
	15	2,39		
	30	2,39		
	45	2,33		
<b>5</b>	0	5,63	$Y = 7,2351x + 6,8439$	0,9943
	1,75	19,31		
	3,75	36,62		
	7,75	61,68		
<b>6</b>	0	3,74	$Y = 2,6041x + 4,048$	0,999
	2	9,53		
	4	14,67		
	8	24,71		
<b>7</b>	0	61,94	$Y = 20,115x + 66,358$	0,994
	1,75	102,66		
	3,75	148,7		
	7,75	218,66		

Fecha		CAMPANA 6 - 13 de oct de 2015		
CAMARA	TIEMPO min	[CH4] ppm	Regresión lineal	R2
<b>1</b>	0	37,7	$Y = 66,141x + 71,737$	0,9798
	1,75	211,92		
	3,75	349,06		
	7,75	564,64		
<b>2 (suelo)</b>	0	2,19	$Y = -0,0042x + 2,197$	0,9788
	15	2,15		
	30	2,06		
	45	2,01		
<b>3</b>	0	7,75	$Y = 8,5894x + 8,7151$	0,9942
	1,75	22,81		
	3,75	44,2		
	7,75	73,91		
<b>4 (suelo)</b>	0	2,22	$Y = -0,0007x + 2,224$	0,8963
	15	2,22		
	30	2,2		
	45	2,19		
<b>5</b>	0	15,07	$Y = 2,9531x + 15,75$	0,9956
	1,75	21,34		
	3,75	27,51		
	7,75	38,21		
<b>6</b>	0	10,95	$Y = 14,226x + 17,496$	0,9815
	2	49,75		
	4	81,79		
	8	126,66		
<b>7</b>	0	211,92	$Y = 92,836x + 286,11$	0,9528
	2	527,62		
	4	722,06		
	8	982,53		

CAMPAÑA 7 - 27 de oct de 2015				
Fecha	CAMARA	TIEMPO min	[CH4] ppm	R2
<b>1</b>		0	35,62	$y = 7,5473x + 38,516$
		1,75	55,4	
		3,75	67,79	
		5,75	80,16	
<b>2 (suelo)</b>		0	2,12	$y = -0,0009x + 2,126$
		15	2,12072	
		30		
		45	2,08031	
<b>3</b>		0	248,67	$y = 17,489x + 252,3$
		1,75	284,49	
		3,75	325,18	
		5,75	347,63	
<b>4 (suelo)</b>		0	2,12	$y = 0,0057x + 2,086$
		15	2,17	
		30	2,16	
		45	2,41	
<b>5</b>		0	96,16	$y = 23,269x + 85,628$
		2	108,95	
		4	193,54	
		6	223,09	
<b>6</b>		0	56,23	$y = 16,788x + 68,273$
		1,75	113,06	
		3,74	134,85	
		5,75	157,65	
<b>7</b>		0	118,31	$y = 80,372x + 141,42$
		2	333,2	
		4	470,19	
		6	608,46	

CAMPAÑA 8 - 10 de nov de 2015				
Fecha	CAMARA	TIEMPO min	[CH4] ppm	R2
<b>1</b>		0	61,19	$y = 14,281x + 65,072$
		2	97,38	
		4	126,35	
		6	146,74	
<b>2 (suelo)</b>		0	2,39	$y = -0,0037x + 2,385$
		15	2,32	
		30	2,28	
		45	-	
<b>3</b>		0	79,9	$y = 33,244x + 63,133$
		2	111,5	
		4	182,05	
		6	278,01	
<b>4 (suelo)</b>		0	2,31	$y = 0,0026x + 2,3386$
		15	2,42	
		30	-	
		45	2,44	
<b>5</b>		0	24,6	$y = 14,761x + 27,939$
		2	-	
		4	97	
		6	109,83	
<b>6</b>		0	17,62	$y = 50,136x + 26,842$
		2	136,26	
		4	236,76	
		6	318,36	
<b>7</b>		0	46,79	$y = 96,747x + 53,593$
		2	243,32	
		4	468,52	
		6	616,7	

Fecha					CAMPAÑA 9 - 24 de nov de 2015				
CAMARA	TIEMPO min	[CH4] ppm	Regresión lineal	R2					
<b>1</b>	0	29,14		$Y = 35,519x + 39,288$	0,9849				
	2	121,18							
	4	190,1							
	6	242,96							
<b>2 (suelo)</b>	0	2,12		$Y = 0,0013x + 2,1233$	0,9231				
	15	2,15							
	30	2,16							
	45	-							
<b>3</b>	0	10,52		$Y = 10,915x + 13,144$	0,9904				
	2	38,27							
	4	58,08							
	6	76,68							
<b>4 (suelo)</b>	0	2,11		$Y = 0,0103x + 2,0817$	0,9089				
	15	2,18							
	30	2,42							
	45	-							
<b>5</b>	0	162,97		$Y = 22,671x + 173,28$	0,9644				
	2	230,33							
	4	271,48							
	6	300,39							
<b>6</b>	0	17,65		$Y = 7,1685x + 19,752$	0,9855				
	2	36,64							
	4	49,63							
	6	61,11							
<b>7</b>	0	93,6		$Y = 49,748x + 96,34$	0,9989				
	2	197,25							
	4	300,72							
	6	390,76							

Fecha		CAMPAÑA 10 - 9 de dic de 2015		
CAMARA	TIEMPO min	[CH4] ppm	Regresión lineal	R2
<b>1</b>	0	977,2		
	2	1695,13	$Y = 262,25x + 1064,7$	0,9813
	4	2164,09		
	6	2569,19		
0	2,56			
<b>2 (suelo)</b>	15	2,53	$Y = -0,0024x + 2,564$	0,9818
	30	2,5		
	45	2,45		
	0	712,86		
<b>3</b>	2	814,48	$Y = 55,972x + 707,7$	0,9983
	4	926,46		
	6	1048,68		
	0	2,5		
<b>4 (suelo)</b>	15	2,54	$Y = 0,0013x + 2,505$	0,8
	30	2,53		
	45	2,57		
	0	19,55		
<b>5</b>	2	36,81	$Y = 73,055x - 17,685$	0,8754
	4	346,06		
	6	403,5		
	0	1333,89		
<b>6</b>	2	2629,83	$Y = 400,56x + 1563,1$	0,9455
	4	3322		
	6	3773,55		
	0	1036,11		
<b>7</b>	2	1309,26	$Y = 52,982x + 1103,4$	0,7812
	4	1317,63		
	6	1386,53		

Fecha		CAMPAÑA 10 - 9 de dic de 2015		
CAMARA	TIEMPO min	[N2O] ppm	Regresión lineal	R2
<b>1</b>	0	*	No se pudo integrar ninguno	-
	2	*		
	4	*		
	6	*		
<b>2 (suelo)</b>	0	0,424	$Y = 0,0176x + 0,4325$	0,9985
	15	0,714		
	30	0,949		
	45	1,224		
<b>3</b>	0	0,409	$Y = -0,004x + 0,477$	0,4878
	2	0,418 *		
	4	0,419		
	6	0,475 *		
<b>4 (suelo)</b>	0	0,44	$Y = 0,0412x + 0,44$	1
	15	*		
	30	*		
	45	2,294		
<b>5</b>	0	0,446	$Y = 0,1605x + 0,3417$	0,7593
	2	0,454		
	4	1,088		
	6	*		
<b>6</b>	0	0,527	$Y = -0,006x + 0,517$	0,6818
	2	0,491 *		
	4	0,491 *		
	6	0,487 *		
<b>7</b>	0	3,642	$Y = 1,523x + 3,6905$	0,9933
	2	7,027		
	4	9,347		
	6	13,022		

### 7.3 Un año después

Se adjuntan en tablas los valores obtenidos de una única cámara puntual, pasado un año del comienzo de la Beca de Entrenamiento. La tabla negra corresponde a los valores de flujo obtenidos del metano y la azul al óxido nitroso.

Fecha 29 de sep. de 2015				
CAMARA	TIEMPO min	[CH4] ppm	Regresión lineal	R2
1	0	3339,07	$y = 279,71x + 3295,3$	0,9993
	8	5454,13		
	18	8365,11		

Fecha 29 de sep. de 2015				
CAMARA	TIEMPO min	[N2O] ppm	Regresión lineal	R2
1	0	1,767	$y = 0,7657x + 2,4531$	0,9765
	8	9,815		
	18	15,687		

Tabla 6: Valores obtenidos en la única cámara puntual. La tabla negra corresponde al CH<sub>4</sub> y la azul al N<sub>2</sub>O.

En el siguiente gráfico puede verse el promedio de los flujos obtenidos de metano, con su rango de valores, y un punto aislado a la derecha que corresponde al valor puntual encontrado.

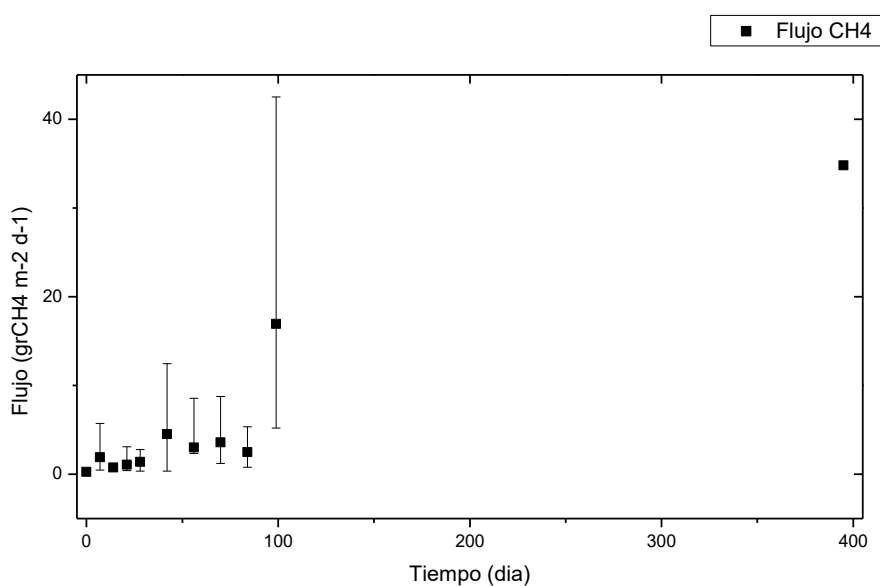


Figura 14: Promedio de los flujos de metano en gr m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>.

En el segundo grafico puede verse los flujos de óxido nitroso cuantificados, siendo el punto aislado de la derecha el valor encontrado luego de un año.

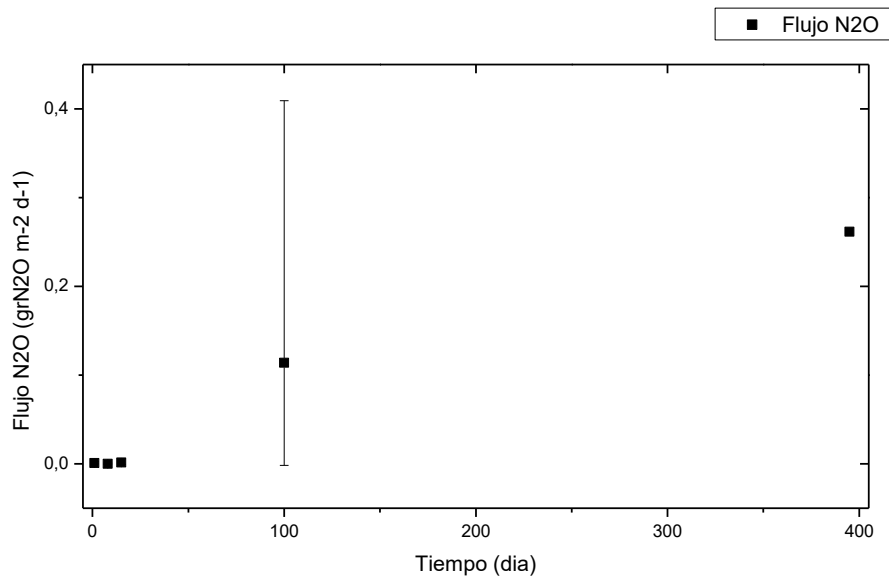


Figura 15: Promedio de los flujos de óxido nitroso en  $\text{gr m}^{-2} \text{d}^{-1}$ .