

**ATN\_RF-16926-RG. Intensificación sostenible de sistemas ganaderos con leguminosas: plataforma de cooperación Latinoamericana y del Caribe**

**Producto 14.2: Estrategias de mitigación de las emisiones de óxido nitroso desde el suelo en sistemas pastoriles (alfalfa) e intensificados (silo de maíz) de producción bovina**

**Alvarez, C; Figuerola, ELM; Alves, BJR; Martínez Ferrer, J; Costantini, AO  
2024**



Ministry for Primary Industries  
Manatū Ahu Matua





Códigos JEL: Q16

FONTAGRO (Fondo Regional de Tecnología Agropecuaria) es un mecanismo único de cooperación técnica entre países de América Latina, el Caribe y España, que promueve la competitividad y la seguridad alimentaria. Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente reflejan el punto de vista del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), del Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), FONTAGRO, de sus Directorios Ejecutivos ni de los países que representan.

El presente documento ha sido preparado por Carolina Alvarez, Jorge Martínez Ferrer, Alejandro Costantini, investigadores de INTA Argentina, Eva Figuerola, investigadora del CONICET Argentina y Bruno Jose Rodrigues Alves, investigador de EMBRAPA Brasil.

Copyright © 2024 Banco Interamericano de Desarrollo. Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons IGO 3.0 Reconocimiento-NoComercial-SinObrasDerivadas (CC-IGO 3.0 BY-NC-ND) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/igo/legalcode>) y puede ser reproducida para cualquier uso no comercial otorgando el reconocimiento respectivo al BID. No se permiten obras derivadas. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras del BID que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la CNUDMI (UNCITRAL). El uso del nombre del BID para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia CC-IGO y requieren de un acuerdo de licencia adicional. Note que el enlace URL incluye términos y condiciones adicionales de esta licencia.

Esta publicación puede solicitarse a:

**FONTAGRO**

Correo electrónico: [fontagro@fontagro.org](mailto:fontagro@fontagro.org)

[www.fontagro.org](http://www.fontagro.org)



# Tabla de Contenidos

<b>Resumen.....</b>	<b>4</b>
<b>Palabras Clave: emisiones GEI, ganadería de carne, alfalfa, cría a corral, cría bajo pastoreo .....</b>	<b>4</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>5</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>6</b>
<b>Metodología de trabajo .....</b>	<b>9</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>11</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>15</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>15</b>
<b>Instituciones participantes.....</b>	<b>16</b>



## Resumen

El proceso de agriculturización sufrido en la región pampeana Argentina ha generado cambios profundos en la forma de producción ganadera. La intensificación de los sistemas indujo a una modificación en la formulación de las dietas animales y con ello un cambio en las emisiones de gases de efecto invernadero, a partir de las deyecciones (orina y heces) de los animales. Sumado a esto, la escasez de factores de emisión locales y la complejidad de los procesos microbiológicos que intervienen en la emisión de óxido nitroso ( $N_2O$ ) desde el suelo, genera incertidumbre ante un tema relevante en el plano global. Este trabajo tiene como objetivo principal estudiar de qué manera los cambios en la alimentación, en dos esquemas de producción ganadera contrastantes, afectan las emisiones de  $N_2O$  desde el suelo (actividad 2.4 “Emisión de Gases de Efecto Invernadero”). La alimentación de un sistema pastoril basado en alfalfa (*Medicago sativa* L.) genera menores emisiones de  $N_2O$  a partir de las deyecciones animales que aquellas producidas por un sistema a corral; la utilización de aditivos en un porcentaje de alrededor del (0.8-1%) en la dieta no alcanzó a reducir emisiones de  $N_2O$  desde el suelo.

**Palabras Clave:** emisiones GEI, ganadería de carne, alfalfa, cría a corral, cría bajo pastoreo



## ABSTRACT

The agriculturization process in the Argentine Pampas region has generated profound changes in the way livestock production is carried out. The intensification of the systems led to a modification in the formulation of animal diets and with it a change in greenhouse gas emissions from animal excrement (urine and feces). In addition, the scarcity of local emission factors and the complexity of the microbiological processes involved in the emission of nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) from the soil, generate uncertainty regarding a relevant issue on a global level. The main objective of this work is to study how changes in feeding, in two contrasting livestock production schemes, affect N<sub>2</sub>O emissions from the soil (activity 2.4 “Greenhouse Gas Emissions”). Feeding a grazing system based on alfalfa (*Medicago sativa L.*) generates lower N<sub>2</sub>O emissions from animal manure than those produced by a feedlot system, the use of additives in a percentage of around 0.8-1% in the diet did not reduce N<sub>2</sub>O emissions from the soil.

**Keywords:** GHG emissions, beef cattle, alfalfa, feedlot rearing, grazing rearing



## Introducción

Argentina se encuentra en el puesto 27 a nivel mundial respecto de la producción de emisiones totales de GEI (kt de equivalente de CO<sub>2</sub>) y 3º en Latinoamérica después de Brasil y México. En el marco de las acciones en materia de mitigación, Argentina presentó su Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC) en diciembre de 2016, planteando la meta de no exceder la emisión neta de 483.000 GgCO<sub>2</sub>eq en el año 2030. Las medidas de mitigación que el país está llevando a cabo se basan en políticas destinadas a mejorar aspectos clave de los sectores que representan las mayores emisiones. Algunas de ellas cuentan con normativa asociada y asistencia internacional. Según la Tercera Comunicación Nacional sobre el cambio climático el sector agropecuario argentino es la segunda actividad antrópica con mayor emisión de GEI después del sector energía, y el 95,2% de esas emisiones son de N<sub>2</sub>O, de las cuales el 31,1% provienen de excretas animales en sistemas ganaderos. Por lo que el sector ganadero tendrá que contribuir de manera importante en la mitigación de las emisiones de GEI y en la mejora de la seguridad alimentaria a nivel mundial (Rojas -Downing et al, 2017).



El avance de la frontera agrícola en la Argentina ha provocado que la ganadería bovina fuera desplazada de la estructura productiva tradicional en búsqueda de nuevas alternativas para su desarrollo, o bien la intensificación de los sistemas de producción (Tkachuk & Dossi, 2014). Los ciclos de recría y engorde fueron evolucionando a sistemas confinados e intensificados. Como consecuencia, cambió la distribución espacial de los animales y, por ende, la de sus deyecciones sobre el suelo.

Argentina posee más de 40 millones de cabezas de ganado bovino destinadas a la producción de carne y más del 70% se produce bajo sistemas de pastoreo, principalmente en condiciones extensivas con suplementación (Rearte & Pordomingo, 2014). Sin embargo, la producción derivada de sistemas a corral ha tenido una inserción significativa en la cadena de ganado y carne. Por esto, es necesario determinar el factor específico de emisión de  $N_2O$  para cada tipo de producción ganadera nacional y buscar posibles métodos de mitigación para contribuir a la sostenibilidad de la producción de carne bovina.

El óxido nitroso ( $N_2O$ ) es uno de los principales gases efecto invernadero junto con el dióxido de carbono y el metano ( $CH_4$ ). Como consecuencia es importante evaluar qué sucede en el suelo cuando se realizan los aportes de nitrógeno al sistema, que en un sistema ganadero son en forma de deyecciones (orina y heces). El principal componente de la orina excretada por los animales es urea, que cuando se deposita en el suelo, se hidroliza rápidamente a amonio ( $NH_4^+$ ) y puede transformarse en nitrato ( $NO_3^-$ ), ambos precursores de la producción de  $N_2O$  (Whitehead, 1995). Los parches de orina bovina se caracterizan por sus altas concentraciones de N fácilmente mineralizable (de 500 kg a 1000 kg de N  $ha^{-1}$ ) (Haynes & Williams, 1993), y el gran potencial de emisión de  $N_2O$  debido al agua depositada en el suelo en cada evento de deyección (Cardenas *et al.*, 2016). Las emisiones de  $N_2O$  pueden ocurrir por la nitrificación del amonio formado por la hidrólisis de urea en la orina, y/o por la desnitrificación del nitrito y nitrato resultante de la nitrificación del amonio (Kool *et al.*, 2006); el proceso dominante dependerá de las condiciones ambientales. El estiércol, por otra parte, es rico en carbono, además de nitrógeno (N), y



proporcionan energía para la respiración microbiana que estimula la emisión de  $N_2O$  a través de la desnitrificación.

A nivel mundial, los desechos de la ganadería contribuyen con el 11 % de las emisiones anuales de  $N_2O$  de los suelos agropecuarios. El sector agropecuario argentino es responsable del 49 % de la emisión total del país, siendo el sector ganadero el que genera el 30% del total nacional de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), con un aporte del 68 % proveniente del  $CH_4$  y del 32 % proveniente del  $N_2O$ . Según las directrices del *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), el factor de emisión de  $N_2O$  por defecto para estiércol y orina depositados en las pasturas, es el 2 % de N excretado (IPCC, 2019), y existe un amplio rango de pérdidas de N urinario como  $N_2O$  (del 0 % al 18 %) (Selbie et al, 2015).

Para mejorar la precisión de los inventarios nacionales de emisiones de GEI, que actualmente surgen de estimaciones, es necesario desarrollar los factores de emisión específicos de la región o del país, para el suelo, el clima y los sistemas ganaderos locales. La investigación pretende proporcionar los primeros datos para Argentina relacionados con las emisiones de  $N_2O$  provenientes de la deposición de orina y heces de ganado bovino en pastoreo en base pastura leguminosa alfalfa y a corral con base de alimentación silo de maíz.

Dada la escasa información sobre los factores de emisión locales y la complejidad de los procesos microbiológicos de emisión de  $N_2O$  del suelo, es de suma importancia conocer el impacto de la ganadería intensiva sobre las emisiones de  $N_2O$  en comparación con el sistema pastoril. Esta información permitirá avanzar en la definición de mejores estrategias de mitigación del impacto de la ganadería en la emisión de GEI. El objetivo de este trabajo fue examinar de qué manera los cambios en la alimentación en dos esquemas de producción bovina contrastantes afectan las emisiones de  $N_2O$  desde el suelo y algunos factores que las condicionan.





## Metodología de trabajo

El trabajo se llevó a cabo en la Estación Experimental Agropecuaria Manfredi de INTA situada en el centro de la provincia de Córdoba, Argentina (31,5° S, 63,5° O, 292 m.s.n.m.) sobre un suelo *Haplustol éntico*, Serie Oncativo. Para ello se realizaron cuatro ensayos a campo donde se midieron las emisiones de N<sub>2</sub>O del suelo sobre parches de orina y heces en las cuatro estaciones del año, durante el año 2020. Cada experimento estacional a campo tuvo un diseño anidado de tratamiento con dos factores; factor A con dos niveles Pastoril y Corral y el factor anidado B con tres niveles Estándar, Modificada y un Control sin aplicaciones al suelo, quedando los tratamientos conformados de la siguiente forma:

SISTEMA	DIETA	DEYECCIÓN	TRATAMIENTOS
PASTORIL	ESTÁNDAR	ORINA	PEO
		HECES	PEH
	MODIFICADA	ORINA	PMO
		HECES	PMH
	-	SIN APLICACIÓN DE DEYECCIÓN*	
CORRAL	ESTÁNDAR	ORINA	CEO
		HECES	CEH
	MODIFICADA	ORINA	CMO
		HECES	CMH
	-	SIN APLICACIÓN DE DEYECCIÓN*	

En el factor A-Pastoril, en el tratamiento PE la alimentación suministrada a los animales fue forraje fresco de triticales (*xTriticosecale* Wittmack) y alfalfa con suplementación estratégica de maíz molido (0,5 a 0,7% del peso vivo) en otoño y verano, respectivamente. En el tratamiento PM, se utilizaron granos como maíz (*Zea mays*) y el agregado de un aditivo (taninos condensados de quebracho) para reducir la degradación ruminal de la proteína. En el Factor A-Corral, la dieta para los animales de recría estuvo basada en ensilaje de maíz y engorde en base a grano de maíz, utilizando expeler de soja (*Glycine max*) y urea (CE); el nivel de N suplementario en función de los requerimientos animales, fue reemplazado parcialmente la fuente de N (expeler de soja y urea) por granos destilados de maíz y taninos (CM). En las estrategias de alimentación planteadas se



tuvieron en cuenta dos aspectos, una mayor eficiencia en la utilización del nitrógeno por parte del animal y/o una partición diferencial del N excretado entre la orina y las heces.

Cada tratamiento estuvo conformado por 4 ó 3 animales donde, a cada grupo se les suministró la dieta correspondiente. Los animales recibieron la alimentación propuesta durante todo su ciclo de crecimiento y engorde.

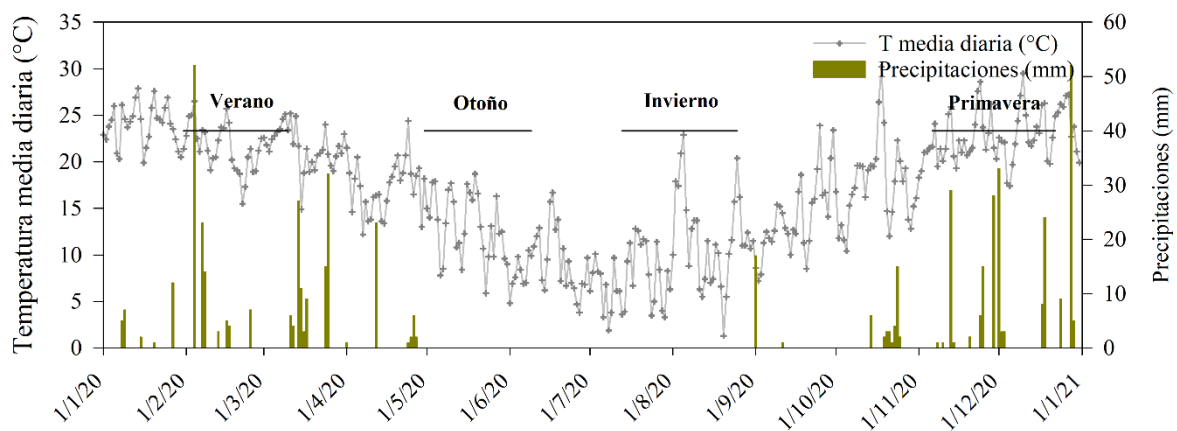


**Fotografía 1.** (a) área de muestreo de gases con heces y sitios destructivo; (b) área de muestreo de gases de orina

Las emisiones de  $N_2O$  se midieron en cuatro momentos del año, definidos por ser épocas representativas de las emisiones anuales. En cada época, la toma de muestras fue más frecuente en el período inmediatamente después de cada aplicación de las deyecciones: diariamente al inicio, dos veces a la semana en los 14 días subsiguientes y desde la cuarta hasta la sexta semana, una toma de muestra semanal, excepto situaciones extraordinarias que ameritaron lo contrario. La metodología de muestreo de gases fue a través de cámaras estáticas (Rochette & Eriksen-Hamel, 2008).

## Resultados

Las precipitaciones durante el período de medición de las emisiones de N<sub>2</sub>O fueron escasas (Gráfico 1), un 28% inferiores al promedio histórico, y como consecuencia la humedad del suelo durante todo el periodo de medición no alcanzó el 60 % del espacio poroso de suelo saturado con agua.

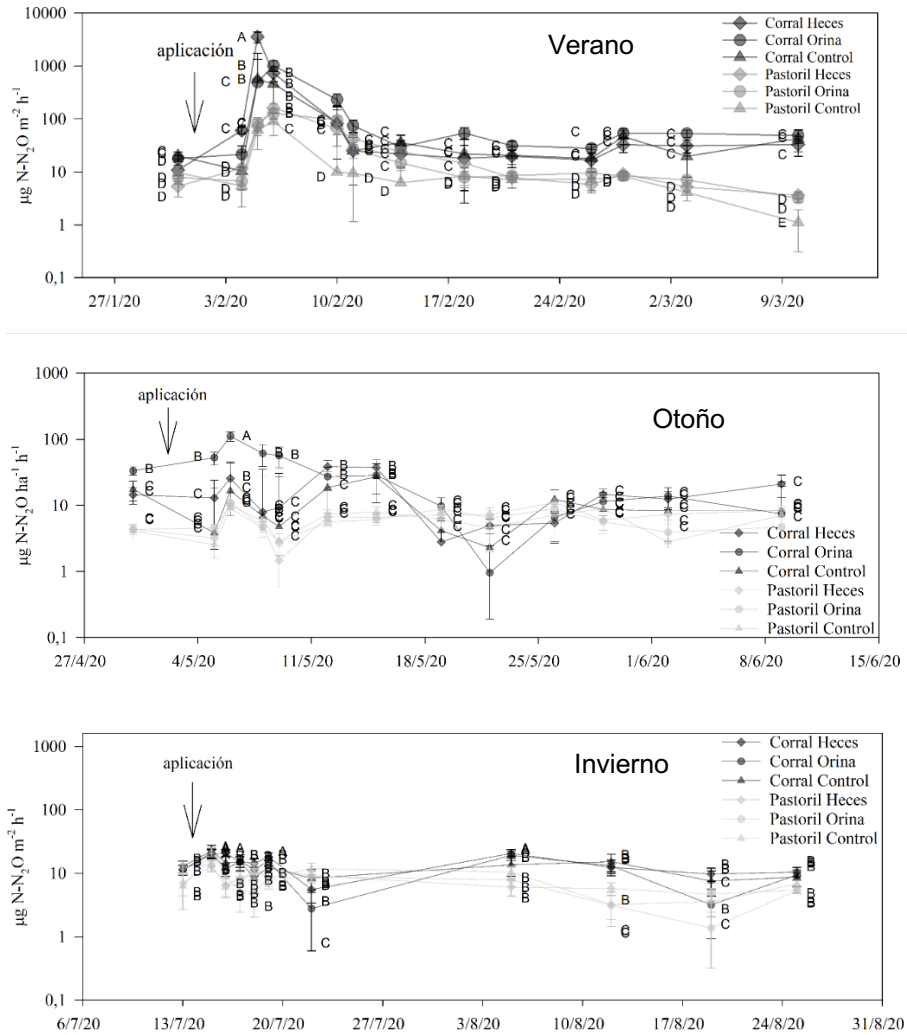


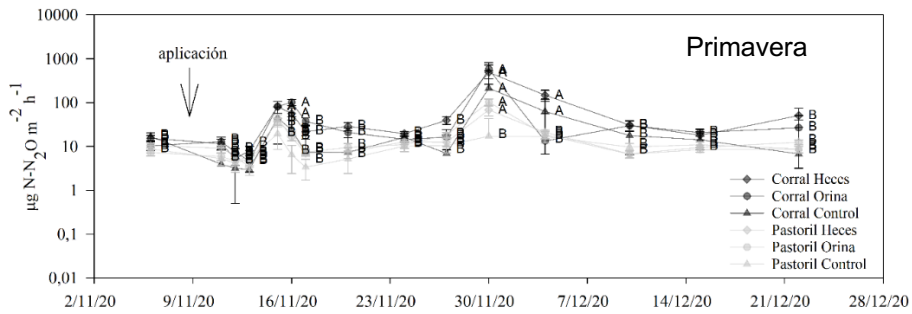
**Gráfico 1.** Precipitaciones diarias (mm) y temperaturas medias diarias (°C) durante el año 2020 en el sitio experimental. Con líneas negras continuas, se representan los periodos en que se realizaron los ensayos a campo durante el año 2020.

Como resultante de las condiciones ambientales las emisiones de N<sub>2</sub>O mostraron un comportamiento diferente en las distintas estaciones del año: en verano y primavera se registraron mayores emisiones y en otoño intermedias y durante el invierno fueron bajas (Gráfico 2). La evolución del flujo diario a lo largo de las estaciones del año mostró que sólo en verano y primavera se registraron picos de emisión coincidentes con eventos previos de precipitaciones, aunque de magnitudes que no superaron los 50 mm.



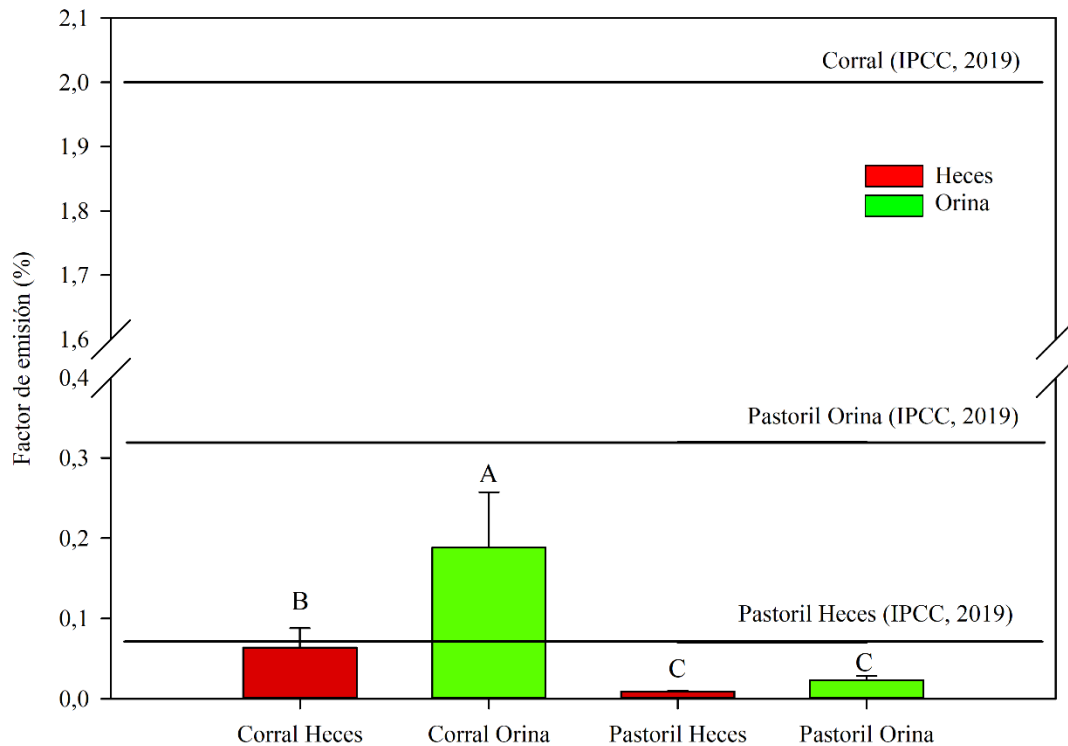
Además, cabe remarcar que el efecto del agregado de aditivos a las dietas de los sistemas pastoril (alfalfa) y corral no fueron significativos para reducir las emisiones de  $N_2O$ . Pudimos observar un efecto del sistema y el tipo de excreta respecto del control sin aplicaciones.





**Gráfico 2.** Emisiones de N-N<sub>2</sub>O en las cuatro estaciones para todas las deposiciones. Se utilizó la prueba DGC ( $p < 0,05$ ) para realizar las comparaciones de medias. Las diferentes letras indican diferencias estadísticas significativas. El eje y se graficó en escala logarítmica para fines visuales.

Cuando analizamos los factores de emisión (FE) observamos la misma tendencia encontrada en el flujo diario de las emisiones de N<sub>2</sub>O, donde el efecto de la dieta no fue significativo, pero sí encontramos diferencias entre sistema y tipo de excreta. Sin embargo, estos FE son muy inferiores a los propuestos por IPCC (IPCC, 2019).



**Gráfico 3.** Factores de emisión de cada sistema y deyección, y los propuestos por IPCC 2019. Las diferentes letras indican diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) a través de la prueba de comparación de medias LSD Fisher.

La contribución del suelo a las emisiones de GEI de los sistemas de producción de carne bovina en sistemas pastoriles y confinados generada en este estudio resulta información muy relevante, ya que no existía información local hasta el momento. Las estrategias de alimentación experimentadas, además de influenciar en la productividad de los sistemas, procuran encontrar estrategias de mitigación para una actividad que está siendo cuestionada por sus elevadas emisiones de GEI.



## Conclusiones

El cambio en la alimentación generada con la inclusión de taninos al nivel de 0,8-1% del PV, como aditivos en la dieta, reduce la concentración de N en las deyecciones, consistentemente en la orina, pero no es suficiente para generar una reducción significativa en las emisiones de N<sub>2</sub>O desde el suelo. La alimentación basada en alfalfa durante el ciclo de recría y engorde generó menores emisiones N-N<sub>2</sub>O que el sistema corral.

La estacionalidad de las emisiones y el sistema de manejo bovino (corral y pastoril) fueron los que marcaron los cambios en los flujos de emisión a lo largo del año siendo mayores en verano y primavera. En cuanto a los factores de emisión de N<sub>2</sub>O, el de orina y el de heces son mayores en el sistema corral respecto del pastoril basado en alfalfa. Sin embargo, los FE son significativamente inferiores a los valores por defecto propuestos por el IPCC, incluso en su actualización de 2019.

## Referencias bibliográficas

Cardenas, LM; TM Misselbrook; C Hodgson; N Donovan; S Gilhespy; KA Smith; MS Dhanoa; D Chadwick. 2016. Effect of the application of cattle urine with or without the nitrification inhibitor DCD, and dung on greenhouse gas emissions from a UK grassland soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*; 235: 229–241.

Haynes, RJ & PH Williams. 1993. Nutrient cycling and soil fertility in the grazed pasture ecosystem. *Advances in Agronomy* 49, 119-199.

IPCC (2019) N<sub>2</sub>O Emissions from Managed Soils, and CO<sub>2</sub> Emissions from Lime and Urea Application 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Chapter 11 pp. 11.1-11.48.

Kool, DM; E Hoffland; EWJ Hummelink; JW van Groenigen. 2006. Increased hippuric acid



content of urine can reduce soil N<sub>2</sub>O fluxes. *Soil Biol. Biochem.* 38, 1021–1027.

Rearte, DH & AJ Pordomingo. 2014. The relevance of methane emissions from beef production and the challenges of the Argentinean beef production platform. *Meat Sci.* 98, 355–360.

Rochette, P & NS Eriksen-Hamel. 2008. Chamber measurements of soil nitrous oxide flux: Are absolute values reliable? *Soil Sci. Soc. Am. J.* Volume 72, 2: 331-342.

Rojas-Downing, MM; AP Nejadhashemi; T Harrigan; SA Woznicki. 2017. Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Clim. Risk Manag.* 16, 145–163.

Selbie, DR; GJ Lanigan; RJ Laughlin; HJ Di; JL Moir; KC Cameron; TJ Clough; CJ Watson; J Grant; C Somers. 2015. Confirmation of co-denitrification in grazed grassland. *Sci Rep.* 5:17361. doi:10.1038/srep17361.

Tkachuk, M & M Dossi. 2014. Dinámica de la producción ganadera Argentina: análisis de variables intervinientes y de escenarios futuros. *APUNTES AGROECONÓMICOS, FAUBA.* Pag. 19.

Whitehead, DC. 1995. *Grassland nitrogen.* Editor: Whitehead, D. C. Department of Soil Science, University of Reading, Reading, RG1 5AQ, UK. 397 pp.

## Instituciones participantes



Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria



Secretaría Técnica Administrativa



Con el apoyo de:



[www.fontagro.org](http://www.fontagro.org)

Correo electrónico: [fontagro@fontagro.org](mailto:fontagro@fontagro.org)